

BUKU REFERENSI



Sinergi Teknologi dan Tradisi dalam Peringatan Dini Tsunami



Dr. Bambang Pujiyono, M.M., M.Si
Dr. Rusdiyanta, S.Ip, SE, M.Si

Sinergi Teknologi dan Tradisi dalam Peringatan Dini Tsunami

Penulis:

Dr. Bambang Pujiyono, M.M., M.Si

Dr. Rusdiyanta, S.Ip, SE, M.Si



DRA CIPTA KREASI

Sinergi Teknologi dan Tradisi dalam Peringatan Dini Tsunami

Penulis:

Dr. Bambang Pujiyono, M.M., M.Si

Dr. Rusdiyanta, S.Ip, SE, M.Si

Desainer:

Tim DRA Cipta Kreasi

Sumber Gambar Cover:

www.magnific.com

ISBN:

978-634-97040-6-9

ANGGOTA IKAPI

655/DKI/2025

Cetakan Pertama:

Juni 2026

Hak Cipta Dilindungi oleh Undang-undang. Dilarang menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit.

DRA CIPTA KREASI

Palma One Building Lantai 7 Suite 7-03, Jl. H.R Rasuna Said Kav X-2 No 4,
Kuningan Timur, Setiabudi, Jakarta Selatan, DKI Jakarta 12950

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulisan buku referensi yang berjudul "*Sinergi Teknologi dan Tradisi dalam Peringatan Dini Tsunami*" ini dapat diselesaikan dengan baik. Buku ini lahir dari sebuah perenungan panjang dan kegelisahan akademis melihat realitas kebencanaan di Indonesia. Sebagai negara yang berdiri di atas sabuk tektonik paling dinamis di dunia,

ancaman *megathrust* dan tsunami bukanlah sebuah fiksi ilmiah, melainkan keniscayaan geologis yang mengintai setiap jengkal garis pantai nusantara.

Selama beberapa dekade terakhir, paradigma mitigasi bencana kita terlalu bertumpu pada pendekatan teknokratis yang sentralistik. Kita membangun menara sirene yang megah dan memasang sensor *buoy* bernilai triliunan rupiah, namun sering kali melupakan bahwa teknologi tersebut harus berdialog dengan realitas sosiokultural masyarakat penggunanya. Buku ini hadir untuk menjembatani kesenjangan tersebut. Melalui gagasan "Sistem Peringatan Dini Hibrida", karya ini menawarkan sintesis teoretis dan operasional yang mengawinkan kecanggihan teknologi modern dengan kedalaman kearifan lokal, seperti tradisi *Smong*, instrumen kentongan, dan modal sosial komunitas pesisir.

Penyusunan karya ensiklopedis ini tentu tidak lepas dari dukungan berbagai pihak. Penulis menyampaikan apresiasi dan rasa terima kasih yang tak terhingga kepada Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), serta rekan-rekan sejawat di perguruan tinggi yang senantiasa menjadi teman diskusi yang kritis. Penghormatan tertinggi penulis dedikasikan kepada para relawan Kampung Siaga Bencana (KSB), tokoh adat, dan masyarakat penyintas di berbagai pesisir Indonesia. Ketangguhan dan kearifan merekalah yang menjadi ruh utama dari setiap argumen yang tertuang dalam buku ini.

Penulis menyadari bahwa buku ini bukanlah kata akhir dalam diskursus manajemen bencana, melainkan sebuah pemantik bagi riset-riset lanjutan di masa depan. Harapan terbesar penulis adalah agar buku ini dapat menjadi kompas navigasi bagi para akademisi, pengambil kebijakan, dan praktisi di lapangan dalam merumuskan strategi mitigasi yang lebih inklusif, adaptif, dan membumi. Semoga karya ini memberikan kontribusi nyata dalam mewujudkan peradaban pesisir Indonesia yang tangguh dan senantiasa harmoni dengan alam.

Juni 2026

Penulis

DAFTAR ISI

PRAKATA.....	0
DAFTAR ISI	4
KATA PENGANTAR	8
BAB 1	9
DINAMIKA RISIKO BENCANA DAN URGENSI MITIGASI DI INDONESIA	9
1.1 Lanskap Geologis dan Kerentanan Bencana Nasional	10
1.2 Evolusi Kebijakan Penanggulangan Bencana di Indonesia	15
1.3 Kerangka Kerja Pengurangan Risiko Bencana (PRB)	20
1.4 Urgensi Diseminasi Informasi Peringatan Dini	24
BAB 2	31
TEORI KELEMBAGAAN DALAM MANAJEMEN KRISIS	31
2.1 Fundamental Institusi dan Kapasitas Kebijakan	32
2.2 Collaborative Governance dalam Mitigasi Bencana	36
2.3 Penguatan Kelembagaan Tingkat Lokal dan Desa	41
2.4 Hambatan Institusional dalam Implementasi Kebijakan	46
BAB 3	52
KEARIFAN LOKAL SEBAGAI INSTRUMEN MITIGASI TRADISIONAL	52
3.1 Ontologi Kearifan Lokal dalam Pengetahuan Bencana	53
3.2 Studi Kasus Keberhasilan Kearifan Lokal di Indonesia	57
3.3 Modal Sosial dan Solidaritas Komunitas	62
3.4 Ancaman Erosi Kearifan Lokal di Era Modern	66
BAB 4	73
PROFIL RISIKO TSUNAMI DI KAWASAN PESISIR INDONESIA	73
4.1 Karakteristik Geografis dan Demografis Wilayah Pesisir	74
4.2 Ancaman Aktivitas Vulkanik dan Tektonik	79
4.3 Evaluasi Dampak Tsunami dan Pembelajaran	83

4.4 Kebijakan Tata Ruang Berbasis Risiko Bencana	87
BAB 5	94
TEKNOLOGI TSUNAMI EARLY WARNING SYSTEM (TEWS)	94
5.1 Arsitektur Teknologi Peringatan Dini Modern	95
5.2 Implementasi Sirene Tsunami di Tingkat Lokal	100
5.3 Inovasi Komunikasi Digital dan Mobile	105
5.4 Kendala Teknis dan Tantangan Operasional TEWS	109
BAB 6	116
PENGUATAN KAPASITAS KELEMBAGAAN LOKAL UNTUK MITIGASI BENCANA	116
6.1 Tipologi Kelembagaan Lokal Penanggulangan Bencana	117
6.2 Evaluasi Kapasitas Kelembagaan di Tingkat Basis	121
6.3 Manajemen Sumber Daya dan Anggaran Lokal	125
6.4 Kepemimpinan Lokal dan Koordinasi dalam Manajemen Bencana	129
BAB 7	136
IDENTIFIKASI DAN REVITALISASI KEARIFAN LOKAL MITIGASI BENCANA	136
7.1 Pengetahuan Tradisional tentang Tanda-Tanda Alam	137
7.2 Alat Komunikasi Tradisional dan Fungsinya	141
7.3 Struktur Sosial dan Sistem Nilai Masyarakat Pesisir	145
7.4 Integrasi Nilai Religi dan Budaya dalam Kesiapsiagaan	149
BAB 8	156
SINERGI TEKNOLOGI DAN KEARIFAN LOKAL (HYBRID SYSTEM) DALAM PERINGATAN DINI	156
8.1 Konsep Integrasi Teknologi-Tradisi dalam Mitigasi	157
8.2 Digitalisasi dan Dokumentasi Pengetahuan Lokal	161
8.3 Modernisasi Alat Komunikasi Tradisional	165

8.4 Strategi Komunikasi Risiko yang Efektif dan Adaptif.....	169
BAB 9	176
PERENCANAAN DAN DESAIN SISTEM PERINGATAN DINI TSUNAMI ADAPTIF.....	176
9.1 Prinsip Dasar Perencanaan TEWS yang Efektif	177
9.2 Komponen Teknis dan Infrastruktur Pendukung	181
9.3 Pengembangan Protokol dan Prosedur Operasional Standar (SOP)	185
9.4 Aspek Keberlanjutan dan Skalabilitas Sistem.....	189
BAB 10	195
PENINGKATAN EFEKTIVITAS DISEMINASI PERINGATAN DINI TSUNAMI	195
10.1 Analisis Faktor Penentu Efektivitas Diseminasi.....	196
10.2 Strategi Komunikasi Risiko Berbasis Komunitas.....	200
10.3 Peningkatan Kapasitas Respons dan Evakuasi	204
10.4 Inovasi dan Tren Masa Depan dalam Diseminasi Peringatan Dini	208
BAB 11	214
REKOMENDASI KEBIJAKAN DAN MODEL KOLABORASI MULTI-PIHAK .	214
11.1 Strategi Peningkatan Kapasitas Kelembagaan Nasional dan Lokal	215
11.2 Revitalisasi Kearifan Lokal dalam Kebijakan Publik	219
11.3 Model Kolaborasi Pentahelix untuk Mitigasi Bencana	223
11.4 Rencana Aksi (Roadmap) Mitigasi Jangka Panjang	228
BAB 12	234
PENUTUP: MENUJU MASYARAKAT TANGGUH TSUNAMI	234
12.1 Sintesis Hasil Penelitian dan Pemikiran	235
12.2 Refleksi Kemanusiaan dalam Konteks Bencana	239

12.3 Keterbatasan dan Arah Riset Masa Depan	243
12.4 Kata Penutup dan Harapan untuk Indonesia yang Tangguh	247
GLOSARIUM ISTILAH KUNCI.....	253
DAFTAR PUSTAKA.....	257
INDEKS.....	266
SINOPSIS	269

KATA PENGANTAR

Indonesia adalah laboratorium alam terbesar bagi ilmu kebumian dan kebencanaan. Posisi geografis kita yang diapit oleh lempeng-lempeng tektonik aktif menempatkan bangsa ini pada garis depan kerentanan global. Dalam menghadapi ancaman katastrofik seperti tsunami, waktu adalah nyawa. Setiap detik keterlambatan dalam mendiseminasikan informasi peringatan dini memiliki konsekuensi yang sangat fatal bagi keselamatan masyarakat pesisir. Oleh karena itu, inovasi dalam sistem peringatan dini bukan sekadar tuntutan akademis, melainkan sebuah mandat kemanusiaan yang absolut.

Di tengah derasny arus modernisasi dan digitalisasi sistem mitigasi, buku "*Sinergi Teknologi dan Tradisi dalam Peringatan Dini Tsunami*" hadir membawa angin segar dan paradigma yang sangat relevan. Penulis dengan sangat cerdas berhasil mendekonstruksi pandangan usang yang mempertentangkan antara sains modern dan pengetahuan tradisional. Buku ini membuktikan secara empiris dan teoretis bahwa kearifan lokal bukanlah artefak masa lalu yang tertinggal zaman, melainkan perangkat lunak (*software*) kultural yang mampu memberikan nyawa dan legitimasi bagi infrastruktur teknologi (*hardware*) yang dibangun oleh negara.

Saya menyambut baik dan memberikan apresiasi yang setinggi-tingginya atas terbitnya buku referensi ini. Pemaparan mengenai model kolaborasi Pentahelix, formalisasi peran desa, hingga integrasi Kecerdasan Buatan (AI) dengan instrumen komunikasi tradisional disajikan dengan kerangka analisis yang sangat tajam dan aplikatif. Karya ini tidak hanya memperkaya khazanah literatur sosiologi bencana di Indonesia, tetapi juga menyajikan Rencana Aksi (*Roadmap*) yang sangat dibutuhkan oleh para pembuat kebijakan di tingkat pusat maupun daerah.

Saya sangat merekomendasikan buku ini untuk dibaca oleh para akademisi, mahasiswa, birokrat, relawan kemanusiaan, dan seluruh elemen masyarakat yang peduli pada isu pengurangan risiko bencana. Semoga gagasan-gagasan bernas yang tertuang di dalamnya dapat segera ditransformasikan menjadi kebijakan publik yang nyata, demi mewujudkan visi besar kita bersama: Indonesia yang tangguh, tangkas, dan resiliensi dalam menghadapi segala bentuk ancaman bencana.

BAB 1

DINAMIKA RISIKO BENCANA DAN URGENSI MITIGASI DI INDONESIA

Pendahuluan

Diskursus mengenai manajemen risiko bencana di Indonesia menempati posisi krusial dalam konstelasi keilmuan geografi lingkungan, sosiologi bencana, dan studi kebijakan publik. Secara teoretis, pemahaman terhadap dinamika kebencanaan tidak lagi dapat direduksi semata-mata sebagai fenomena alamiah yang deterministik, melainkan harus dikonseptualisasikan sebagai produk interaksi kompleks antara bahaya geologis, kerentanan struktural, dan kapasitas institusional. Bab ini memetakan lanskap risiko bencana nasional dengan meletakkan fondasi epistemologis yang menghubungkan realitas ancaman tektonik dengan evolusi arsitektur kebijakan penanggulangan bencana. Melalui pendekatan multidisipliner, pembahasan ini mengintegrasikan analisis spasial terhadap potensi *mega-disaster* dengan evaluasi kritis terhadap kerangka kerja institusional yang ada, sehingga memberikan pijakan komprehensif bagi pengembangan sistem peringatan dini yang lebih adaptif.

Meskipun literatur kontemporer telah banyak mengupas transisi paradigma penanggulangan bencana dari pendekatan reaktif menuju preventif, masih terdapat *research gap* yang signifikan terkait sejauh mana kebijakan makro mampu beresonansi dengan realitas kerentanan di tingkat mikro. Banyak studi sebelumnya cenderung mendikotomikan antara analisis bahaya fisik (seperti probabilitas gempa dan tsunami) dengan evaluasi kapasitas kelembagaan, sehingga menghasilkan rekomendasi mitigasi yang terfragmentasi. Celah akademis ini menuntut adanya sintesis teoretis yang mampu menjembatani data kuantitatif tren kebencanaan dengan analisis kualitatif mengenai efektivitas regulasi dan struktur komando nasional. Tanpa adanya integrasi analitis ini, investasi pada teknologi peringatan dini berisiko menjadi artefak teknis yang teralienasi dari konteks sosial-politik.

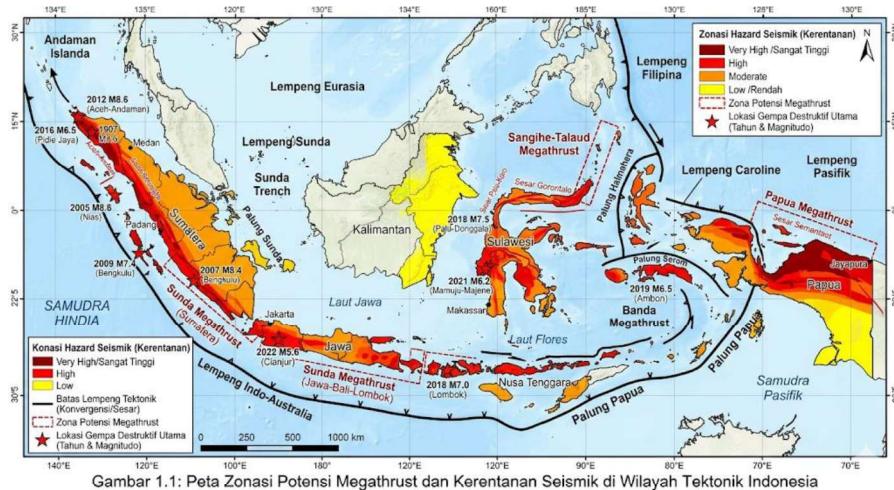
Berangkat dari identifikasi celah penelitian tersebut, bab ini dirancang untuk menjawab tiga pertanyaan penelitian utama. Pertama, bagaimana

konfigurasi geologis Indonesia membentuk profil kerentanan nasional dan memengaruhi tren bencana selama dekade terakhir? Kedua, sejauh mana evolusi kebijakan penanggulangan bencana, khususnya pasca-pengesahan regulasi fundamental, berhasil mentransformasi paradigma mitigasi di Indonesia? Ketiga, apa saja tantangan institusional dan struktural yang masih menghambat sinkronisasi antara komitmen global dengan implementasi pengurangan risiko bencana di tingkat lokal? Melalui elaborasi atas pertanyaan-pertanyaan ini, bab ini diharapkan mampu menyajikan dekonstruksi kritis terhadap status quo manajemen krisis di Indonesia.

1.1 Lanskap Geologis dan Kerentanan Bencana Nasional

Kondisi geomorfologis dan tektonik Kepulauan Nusantara menempatkan Indonesia sebagai salah satu wilayah dengan tingkat kerentanan bencana tertinggi di dunia. Secara spasial, kepulauan ini terbentuk dari konvergensi lempeng-lempeng tektonik utama yang menciptakan sabuk vulkanik dan zona subduksi yang sangat aktif. Realitas geologis ini bukan sekadar atribut geografis pasif, melainkan mesin penggerak utama bagi siklus kebencanaan yang terus berulang. Pemahaman yang komprehensif terhadap lanskap ini merupakan prasyarat mutlak dalam merumuskan strategi mitigasi, karena setiap karakteristik patahan dan topografi membawa implikasi spesifik terhadap jenis, magnitudo, dan frekuensi ancaman yang mungkin terjadi.

Lebih jauh, kerentanan bencana nasional tidak hanya ditentukan oleh faktor bahaya alamiah (*natural hazard*), tetapi juga teramplifikasi oleh dinamika demografis dan degradasi lingkungan. Interseksi antara ancaman geologis dengan ekspansi permukiman di kawasan rawan bencana menciptakan eskalasi risiko yang eksponensial. Oleh karena itu, analisis terhadap lanskap geologis harus senantiasa dikontekstualisasikan dengan data empiris mengenai tren kejadian bencana dan dampaknya terhadap populasi. Pendekatan ini memungkinkan para perumus kebijakan untuk memetakan tidak hanya di mana bencana berpotensi terjadi, tetapi juga seberapa besar daya rusak yang dapat ditimbulkannya terhadap struktur sosial dan ekonomi masyarakat.



Gambar 1.1: Peta Zonasi Potensi Megathrust dan Kerentanan Seismik di Wilayah Tektonik Indonesia

Gambar 1.1: Peta Zonasi Potensi Megathrust dan Kerentanan Seismik di Wilayah Tektonik Indonesia, mengilustrasikan titik-titik konvergensi lempeng utama dan riwayat gempa destruktif.

1.1.1 Posisi Tektonik Indonesia dan Potensi Mega-Disaster

Secara geologis, Kepulauan Indonesia merupakan produk dari interaksi dinamis tiga lempeng tektonik raksasa: Lempeng Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik, serta didukung oleh pergerakan lempeng minor Filipina. Konvergensi lempeng-lempeng ini menciptakan zona subduksi yang membentang ribuan kilometer dari barat Sumatera, selatan Jawa, hingga ke kawasan timur Indonesia. Gesekan antar lempeng di zona subduksi ini mengakumulasi energi regangan tektonik yang masif selama ratusan tahun. Ketika batas elastisitas batuan terlampaui, pelepasan energi yang terjadi memicu gempa bumi tektonik berskala besar. Prabowo dan Hidayat (2022) menegaskan bahwa analisis kerentanan seismik di kawasan ini menunjukkan adanya segmen-segmen patahan yang mengalami *seismic gap* atau kekosongan aktivitas gempa dalam waktu lama, yang secara teoretis meningkatkan probabilitas terjadinya gempa bumi *megathrust* dengan magnitudo di atas 8.0 Skala Richter.

Potensi *mega-disaster* yang bersumber dari zona *megathrust* ini membawa ancaman ganda yang sangat destruktif, yakni guncangan seismik ekstrem dan probabilitas tsunami katastrofik. Deformasi dasar

laut yang terjadi secara tiba-tiba akibat patahan naik (*thrust fault*) dapat memindahkan volume air laut dalam jumlah raksasa, menciptakan gelombang tsunami yang mampu menyapu kawasan pesisir dalam hitungan menit. Karakteristik batimetri perairan Indonesia yang curam di beberapa wilayah pesisir semakin memperkuat amplifikasi gelombang saat mendekati daratan. Ancaman ini tidak bersifat hipotetis; rekam jejak paleoseismologi dan sejarah kebencanaan mencatat bahwa siklus *megathrust* adalah keniscayaan geologis yang menuntut kesiapsiagaan absolut dari seluruh elemen negara.

Menghadapi realitas ancaman *mega-disaster* ini, paradigma mitigasi tidak dapat lagi bergantung pada skenario bencana skala menengah. Perencanaan tata ruang, desain infrastruktur kritis, dan sistem peringatan dini harus dikalibrasi ulang untuk mengantisipasi *worst-case scenario* (skenario terburuk). Hal ini mencakup pemetaan mikrozonasi seismik yang presisi untuk mengidentifikasi area dengan potensi likuifaksi dan amplifikasi guncangan, serta pemodelan inundasi tsunami yang memperhitungkan berbagai variasi sumber gempa. Tanpa pemahaman ontologis yang mendalam mengenai posisi tektonik ini, intervensi kebijakan akan cenderung bersifat superfisial dan gagal memberikan perlindungan substansial bagi jutaan jiwa yang bermukim di sepanjang zona merah kerentanan seismik.

1.1.2 Statistik dan Tren Bencana Hidrometeorologi vs Geologi (2013-2022)

Analisis terhadap basis data kebencanaan nasional selama dekade 2013 hingga 2022 mengungkapkan polarisasi yang menarik antara frekuensi kejadian bencana hidrometeorologi dan bencana geologi. Secara kuantitatif, bencana hidrometeorologi—seperti banjir, tanah longsor, cuaca ekstrem, dan kekeringan—mendominasi lebih dari 90% total insiden bencana di Indonesia. Tren ini menunjukkan kurva yang terus menanjak dari tahun ke tahun, sebuah fenomena yang secara langsung berkorelasi dengan anomali iklim global, degradasi daerah aliran sungai (DAS), dan alih fungsi lahan yang masif. Shalih dan Nugroho (2021) dalam analisis perbandingannya menyoroti bahwa tingginya frekuensi bencana hidrometeorologi menjadikannya sebagai ancaman kronis yang secara

persisten menggerus ketahanan ekonomi masyarakat, terutama di sektor agrikultur dan infrastruktur lokal.

Di sisi lain, meskipun bencana geologi seperti gempa bumi, erupsi gunung api, dan tsunami memiliki persentase frekuensi yang jauh lebih kecil (kurang dari 10%), karakteristik destruksinya bersifat akut dan masif. Bencana geologi sering kali terjadi tanpa prekursor yang memberikan waktu jeda yang cukup untuk evakuasi, sehingga menciptakan efek kejutan yang melumpuhkan sistem sosial seketika. Tren selama periode 2013-2022 menunjukkan bahwa meskipun jumlah kejadiannya fluktuatif, letupan bencana geologi-seperti rangkaian gempa Lombok dan likuifaksi Palu pada 2018-mampu mendistorsi kurva kerugian nasional secara drastis. Perbedaan fundamental dalam pola kemunculan ini menuntut arsitektur penanganan yang berbeda; jika bencana hidrometeorologi membutuhkan intervensi ekologis dan tata ruang jangka panjang, bencana geologi mutlak mensyaratkan keandalan teknologi peringatan dini dan infrastruktur tahan gempa.

Komparasi statistik antara kedua tipologi bencana ini memberikan wawasan strategis bagi alokasi sumber daya mitigasi. Dominasi bencana hidrometeorologi sering kali menyedot sebagian besar anggaran tanggap darurat dan pemulihan rutin pemerintah daerah, yang berpotensi menciptakan kelelahan institusional (*institutional fatigue*). Akibatnya, investasi untuk mitigasi bencana geologi yang bersifat *low-frequency, high-impact* kerap terpinggirkan dalam prioritas pembangunan. Oleh karena itu, pembacaan kritis terhadap tren dekadal ini harus bermuara pada rekalisasi kebijakan fiskal kebencanaan, di mana proporsi pendanaan tidak hanya didasarkan pada frekuensi historis, tetapi juga pada proyeksi risiko katastrofik yang tersembunyi di balik patahan tektonik dan dapur magma Nusantara.

1.1.3 Analisis Rasio Insiden terhadap Dampak Korban Jiwa

Eksplorasi lebih dalam terhadap data kebencanaan menyingkap paradoks yang krusial ketika membandingkan rasio jumlah insiden dengan tingkat fatalitas atau korban jiwa. Meskipun bencana hidrometeorologi mencatat puluhan ribu kejadian selama satu dekade terakhir, akumulasi korban jiwa yang ditimbulkannya relatif lebih rendah jika dibandingkan dengan

dampak mematikan dari segelintir bencana geologi. Shalih dan Nugroho (2021) menggarisbawahi bahwa bencana geologi, khususnya gempa bumi yang memicu tsunami atau likuifaksi, menyumbang persentase terbesar dalam grafik mortalitas bencana nasional. Ketimpangan rasio ini mengindikasikan bahwa tingkat letalitas sebuah bencana sangat ditentukan oleh kecepatan eskalasi ancaman dan ketersediaan *golden time* untuk penyelamatan diri.

Tingginya angka korban jiwa pada bencana geologi merefleksikan adanya kerentanan struktural yang akut dalam ekosistem permukiman di Indonesia. Kegagalan struktur bangunan akibat guncangan seismik tetap menjadi agen pembunuh utama (*the building kills, not the earthquake*), yang diperparah oleh kegagalan sistem peringatan dini dalam menjangkau populasi di area *blind spot* secara *real-time*. Sebaliknya, pada bencana hidrometeorologi seperti banjir, masyarakat umumnya memiliki *lead time* atau waktu tunggu yang lebih panjang untuk merespons tanda-tanda alam, sehingga evakuasi mandiri dapat dilakukan sebelum kondisi mencapai titik kritis. Analisis rasio ini secara empiris membuktikan bahwa metrik keberhasilan mitigasi tidak boleh hanya diukur dari penurunan jumlah kejadian bencana, melainkan dari kemampuan sistem mereduksi angka fatalitas pada skenario bencana paling ekstrem.

Implikasi teoretis dari analisis rasio insiden terhadap korban jiwa ini menuntut adanya pergeseran fokus dalam manajemen risiko. Penurunan angka mortalitas akibat bencana geologi tidak dapat dicapai hanya melalui sosialisasi sporadis, melainkan membutuhkan intervensi radikal berupa audit kelayakan struktur bangunan secara masif dan penguatan rantai komando peringatan dini hingga ke tingkat tapak. Selain itu, tingginya korban jiwa juga mencerminkan disparitas kapasitas adaptif antar-wilayah; daerah dengan literasi kebencanaan yang rendah dan infrastruktur evakuasi yang minim secara konsisten menyumbang angka fatalitas tertinggi. Oleh sebab itu, analisis rasio ini harus dijadikan instrumen advokasi untuk mendorong kebijakan mitigasi yang lebih presisi, berkeadilan, dan berorientasi pada perlindungan hak hidup warga negara.

1.2 Evolusi Kebijakan Penanggulangan Bencana di Indonesia

Sejarah penanggulangan bencana di Indonesia merupakan narasi panjang mengenai transformasi kelembagaan yang dipicu oleh serangkaian krisis kemanusiaan. Sebelum dekade 2000-an, arsitektur kebijakan kebencanaan nasional sangat kental dengan nuansa reaktif-karitatif, di mana intervensi negara baru termanifestasi pasca-terjadinya malapetaka. Penanganan bencana pada era tersebut sering kali dipandang sebagai domain eksklusif departemen sosial yang berfokus pada penyaluran bantuan logistik darurat, tanpa adanya kerangka kerja sistematis untuk mengelola risiko sebelum bencana terjadi. Pendekatan ad-hoc ini terbukti tidak memadai ketika dihadapkan pada eskalasi ancaman yang semakin kompleks dan destruktif.

Titik balik fundamental dalam diskursus kebijakan publik terjadi pasca-tsunami Samudra Hindia tahun 2004, yang memaksa negara untuk mendekonstruksi dan merekonstruksi seluruh sistem manajemen krisis. Tragedi tersebut menjadi katalisator bagi lahirnya kesadaran kolektif bahwa bencana adalah persoalan multidimensi yang membutuhkan payung hukum komprehensif dan institusi permanen yang berdedikasi. Evolusi kebijakan ini tidak hanya mengubah nomenklatur dan struktur birokrasi, tetapi juga merepresentasikan pergeseran filosofis dalam memandang keselamatan warga negara sebagai hak asasi yang wajib dijamin oleh konstitusi melalui upaya mitigasi yang terencana, terukur, dan berkelanjutan.

1.2.1 Implementasi UU No. 24 Tahun 2007: Capaian dan Tantangan

Pengesahan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana menandai tonggak sejarah (*milestone*) paling krusial dalam reformasi tata kelola kebencanaan nasional. Regulasi ini memberikan landasan yuridis yang kokoh bagi penyelenggaraan penanggulangan bencana yang terencana, terpadu, dan terkoordinasi. Salah satu capaian monumental dari implementasi undang-undang ini adalah pengakuan secara legal bahwa penanggulangan bencana bukan sekadar urusan tanggap darurat, melainkan mencakup fase prabencana, saat tanggap darurat, dan pascabencana. Desderius dan Nugrah (2023) mencatat bahwa regulasi ini berhasil meletakkan fondasi bagi

desentralisasi manajemen bencana, memberikan mandat yang jelas kepada pemerintah daerah untuk mengambil peran proaktif dalam melindungi warganya melalui penyusunan Rencana Penanggulangan Bencana (RPB) di tingkat lokal.

Meskipun secara normatif UU No. 24 Tahun 2007 telah menghadirkan kerangka kerja yang ideal, implementasinya di lapangan masih diwarnai oleh berbagai tantangan struktural dan kultural. Salah satu kendala utama adalah disparitas kapasitas fiskal dan sumber daya manusia antar-daerah, yang menyebabkan standar pelayanan minimal (SPM) di bidang kebencanaan tidak terpenuhi secara merata. Banyak pemerintah daerah yang masih memandang alokasi anggaran untuk mitigasi prabencana sebagai *sunk cost* (biaya hangus) yang tidak memberikan *return of investment* secara politis, sehingga pendanaan tetap bias pada fase tanggap darurat. Selain itu, harmonisasi antara regulasi kebencanaan dengan undang-undang sektoral lainnya, seperti tata ruang dan kehutanan, kerap memicu tumpang tindih kewenangan yang menghambat eksekusi kebijakan di tingkat tapak.

Tantangan lainnya terletak pada penegakan hukum (*law enforcement*) terhadap pelanggaran tata ruang di kawasan rawan bencana. Meskipun undang-undang telah mengamanatkan sanksi pidana bagi pihak yang mengabaikan standar keselamatan, penindakannya sering kali tumpul akibat benturan dengan kepentingan ekonomi dan investasi. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan instrumen hukum yang progresif belum sepenuhnya diimbangi oleh kultur kepatuhan institusional dan kemauan politik (*political will*) yang kuat. Oleh karena itu, evaluasi kritis terhadap lebih dari satu setengah dekade implementasi UU No. 24/2007 menuntut adanya revisi strategis yang tidak hanya memperkuat aspek sanksi, tetapi juga menciptakan skema insentif bagi daerah dan korporasi yang berhasil mengintegrasikan prinsip pengurangan risiko bencana dalam proses bisnis dan pembangunannya.

1.2.2 Transformasi Paradigma dari Responsif ke Preventif

Pergeseran paradigma dari pendekatan responsif-fatalistik menuju preventif-antisipatif merupakan inti dari modernisasi manajemen bencana di Indonesia. Secara konseptual, transformasi ini mengubah cara pandang

negara dan masyarakat dalam mendefinisikan bencana; dari yang semula dianggap sebagai takdir atau hukuman alam yang tidak dapat dihindari (*act of God*), menjadi sebuah risiko yang probabilitas dan dampaknya dapat dikalkulasi, direduksi, dan dimitigasi (*manageable risk*). Paradigma preventif ini meletakkan investasi pada fase prabencana-seperti edukasi publik, penguatan infrastruktur, dan pengembangan sistem peringatan dini-sebagai strategi utama untuk memutus mata rantai kerugian sosial-ekonomi yang masif.

Manifestasi dari transformasi paradigma ini terlihat pada upaya pengarusutamaan (*mainstreaming*) pengurangan risiko bencana ke dalam Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) dan daerah. Kebijakan pembangunan tidak lagi diizinkan berjalan secara eksklusif tanpa mempertimbangkan variabel risiko lingkungan. Pendekatan ini menuntut adanya analisis risiko bencana sebagai prasyarat mutlak dalam setiap penerbitan izin mendirikan bangunan dan proyek infrastruktur strategis. Lebih jauh, paradigma preventif juga mendorong demokratisasi pengetahuan kebencanaan, di mana masyarakat tidak lagi diposisikan sebagai objek pasif penerima bantuan, melainkan diberdayakan sebagai subjek aktif yang memiliki kapasitas untuk mengidentifikasi ancaman dan merumuskan strategi resiliensi di lingkungannya sendiri.

Namun demikian, internalisasi paradigma preventif ini ke dalam kultur birokrasi dan perilaku masyarakat masih menghadapi resistensi yang signifikan. Mengubah *mindset* yang telah mengakar selama puluhan tahun membutuhkan rekayasa sosial yang sistematis dan berkelanjutan. Sering kali, euforia kesiapsiagaan hanya muncul sesaat pasca-terjadinya bencana besar, dan perlahan memudar seiring berjalannya waktu (*disaster amnesia*). Oleh karena itu, menjaga momentum transformasi paradigma ini mensyaratkan adanya inovasi dalam komunikasi risiko, integrasi kurikulum kebencanaan dalam sistem pendidikan formal, serta pelembagaan simulasi evakuasi sebagai rutinitas kultural, guna memastikan bahwa kesadaran preventif bertransformasi menjadi memori otot (*muscle memory*) kolektif bangsa.

1.2.3 Peran BNPB dan BPBD dalam Struktur Komando Nasional

Pembentukan Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) di tingkat pusat dan Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) di tingkat provinsi serta kabupaten/kota merupakan manifestasi kelembagaan dari UU No. 24 Tahun 2007. Secara arsitektural, BNPB didesain sebagai lembaga non-kementerian setingkat menteri yang memiliki fungsi komando, koordinasi, dan pelaksana dalam penanggulangan bencana. Keberadaan fungsi komando ini sangat krusial, terutama pada fase tanggap darurat, untuk memotong rantai birokrasi yang berbelit dan memastikan mobilisasi sumber daya nasional-termasuk pelibatan TNI dan Polri-dapat dieksekusi secara cepat dan presisi. Struktur ini menempatkan BNPB sebagai dirigen utama yang menyelaraskan berbagai instrumen negara dalam satu orkestrasi penanganan krisis.

Di tingkat lokal, BPBD memegang peranan sebagai ujung tombak (*vanguard*) dalam eksekusi kebijakan mitigasi dan respons bencana. Aji et al. (2022) dalam analisisnya menekankan bahwa efektivitas BPBD sangat bergantung pada kapasitas kelembagaannya dalam memetakan risiko hidrometeorologi dan geologi spesifik di wilayahnya, serta kemampuannya mengoordinasikan organisasi perangkat daerah (OPD) terkait. Sebagai *leading sector*, BPBD dituntut untuk tidak hanya cakap dalam manajemen logistik darurat, tetapi juga memiliki kompetensi teknis dalam menyusun dokumen kontinjensi, mengelola pusat pengendalian operasi (Pusdalops), dan mendiseminasikan peringatan dini secara *real-time* kepada masyarakat di kawasan rawan.

Meskipun desain strukturalnya telah terlembaga, relasi fungsional antara BNPB dan BPBD kerap diwarnai oleh dinamika desentralisasi yang kompleks. BPBD secara struktural bertanggung jawab kepada Kepala Daerah (Gubernur/Bupati/Wali Kota), bukan subordinat langsung dari BNPB. Kondisi ini sering kali menciptakan asimetri dalam implementasi kebijakan nasional di tingkat daerah, terutama jika isu kebencanaan tidak menjadi prioritas politik kepala daerah setempat. Akibatnya, banyak BPBD yang mengalami marginalisasi dalam alokasi Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah (APBD) serta diisi oleh sumber daya manusia yang tidak memiliki latar belakang kompetensi kebencanaan. Mengatasi hambatan struktural ini memerlukan penguatan regulasi yang mengikat standar

kualifikasi personel BPBD dan mewajibkan persentase minimal alokasi APBD untuk program pengurangan risiko bencana.

1.2.4 Komitmen Internasional dan Adopsi Sendai Framework

Evolusi kebijakan kebencanaan di Indonesia tidak terjadi dalam ruang hampa, melainkan terkalibrasi secara intensif dengan dinamika rezim internasional. Sebagai negara yang berada di garis depan kerentanan global, Indonesia secara aktif mengadopsi dan menginternalisasi berbagai kerangka kerja global, mulai dari *Yokohama Strategy* (1994), *Hyogo Framework for Action* (2005-2015), hingga yang paling mutakhir, *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction* (SFDRR) 2015-2030. Adopsi terhadap *Sendai Framework* menandai pergeseran fokus global dari sekadar "manajemen bencana" menjadi "manajemen risiko bencana", dengan penekanan kuat pada pemahaman risiko, penguatan tata kelola, investasi pada ketangguhan, dan prinsip *Build Back Better* dalam fase pemulihan.

Desderius dan Nugrah (2023) mengelaborasi bahwa komitmen Indonesia terhadap *Sendai Framework* diwujudkan melalui penyesuaian indikator-indikator target global ke dalam Rencana Induk Penanggulangan Bencana (RIPB) 2020-2044. Integrasi ini memaksa pemerintah untuk menyusun metrik evaluasi yang lebih terukur terkait penurunan angka mortalitas, pengurangan jumlah populasi terdampak, minimalisasi kerugian ekonomi langsung, serta perlindungan terhadap infrastruktur kritis dan layanan dasar. Lebih dari itu, kerangka kerja ini mendorong Indonesia untuk memperluas spektrum kolaborasi lintas batas, memfasilitasi transfer teknologi peringatan dini, dan meningkatkan akses terhadap sistem informasi risiko multi-ancaman (*multi-hazard risk information*).

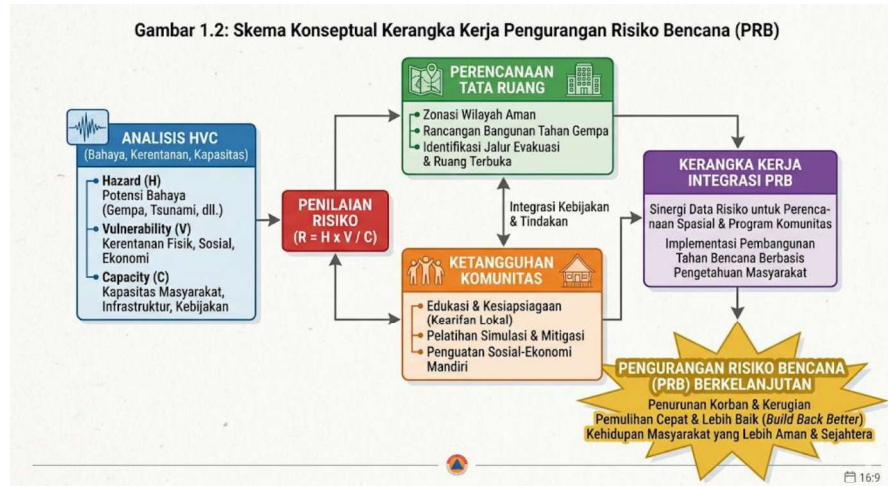
Tantangan terbesar dari adopsi komitmen internasional ini terletak pada proses lokalisasi (*localization*) agenda global ke dalam konteks sosiokultural dan kapasitas institusional di tingkat akar rumput. Sering kali, target-target ambisius yang disepakati di forum internasional mengalami distorsi ketika diterjemahkan ke dalam program kerja pemerintah daerah. Oleh karena itu, penjabaran *Sendai Framework* menuntut adanya diplomasi kebijakan di dalam negeri untuk memastikan bahwa prinsip-prinsip global tersebut dapat dioperasionalkan melalui kearifan lokal dan

instrumen kebijakan desa. Keberhasilan Indonesia dalam memenuhi komitmen internasional ini pada akhirnya tidak akan diukur dari seberapa banyak dokumen pelaporan yang diserahkan ke PBB, melainkan dari seberapa tangguh komunitas pesisir dan pegunungan dalam menghadapi guncangan bencana di masa depan.

1.3 Kerangka Kerja Pengurangan Risiko Bencana (PRB)

Pengurangan Risiko Bencana (PRB) atau *Disaster Risk Reduction* (DRR) merepresentasikan sebuah kerangka kerja konseptual dan operasional yang dirancang untuk meminimalisasi kerentanan sosial-ekonomi serta menekan probabilitas terjadinya bencana di suatu wilayah. Secara epistemologis, PRB beranjak dari premis bahwa bencana bukanlah sebuah keniscayaan alamiah yang absolut, melainkan hasil dari kalkulasi antara besaran ancaman (*hazard*) yang berinteraksi dengan kondisi kerentanan (*vulnerability*) dan minimnya kapasitas (*capacity*) masyarakat. Oleh karena itu, kerangka kerja ini menitikberatkan pada intervensi sistematis di fase prabencana guna mengurai akar penyebab risiko, alih-alih sekadar merespons gejala destruktif saat krisis terjadi.

Implementasi PRB di Indonesia menuntut adanya orkestrasi kebijakan yang holistik, melampaui batas-batas sektoral birokrasi tradisional. Kerangka kerja ini mengintegrasikan berbagai instrumen mitigasi, mulai dari rekayasa teknis infrastruktur, penataan ruang berbasis risiko, hingga rekayasa sosial untuk membangun resiliensi kultural. Keberhasilan PRB sangat bergantung pada sejauh mana prinsip-prinsip pengurangan risiko diarusutamakan ke dalam setiap denyut nadi pembangunan nasional dan daerah. Tanpa adanya pelembagaan PRB yang komprehensif, investasi ekonomi dan capaian pembangunan akan senantiasa berada di bawah bayang-bayang ancaman kehancuran yang dapat mereset kemajuan suatu wilayah kembali ke titik nol.



Gambar 1.2: Skema Konseptual Kerangka Kerja Pengurangan Risiko Bencana (PRB) yang Mengintegrasikan Analisis HVC dengan Ketangguhan Komunitas dan Perencanaan Tata Ruang

1.3.1 Identifikasi Bahaya, Kerentanan, dan Kapasitas (HVC Analysis)

Analisis Ancaman, Kerentanan, dan Kapasitas (*Hazard, Vulnerability, and Capacity Analysis* - HVC) merupakan instrumen diagnostik fundamental dalam merumuskan strategi Pengurangan Risiko Bencana yang presisi. Sari dan Mutiarin (2021) menegaskan bahwa evaluasi kebijakan PRB yang efektif harus didasarkan pada pemetaan HVC yang komprehensif, di mana risiko dikonseptualisasikan sebagai fungsi matematis dari interaksi ketiga variabel tersebut. Identifikasi bahaya (*hazard*) berfokus pada karakterisasi fisik dari potensi ancaman, seperti probabilitas magnitudo gempa, periode ulang tsunami, atau intensitas curah hujan ekstrem. Pemetaan ini membutuhkan dukungan data geospasial dan pemodelan saintifik yang akurat untuk menentukan zona-zona paparan bahaya secara spesifik.

Di sisi lain, analisis kerentanan (*vulnerability*) membedah dimensi kelemahan internal suatu komunitas yang membuat mereka rentan terhadap dampak destruktif dari bahaya tersebut. Kerentanan ini bersifat multidimensi, mencakup aspek fisik (kualitas struktur bangunan), sosial (kepadatan penduduk, rasio kelompok rentan), ekonomi (ketergantungan pada sektor agrikultur/pesisir), hingga ekologis (degradasi lingkungan).

Pemahaman yang mendalam terhadap profil kerentanan ini memungkinkan perumus kebijakan untuk mengidentifikasi "titik retak" dalam struktur masyarakat yang paling membutuhkan intervensi segera. Tanpa analisis kerentanan yang tajam, program mitigasi berisiko menjadi salah sasaran dan gagal melindungi kelompok marginal yang paling terdampak saat krisis melanda.

Sebagai penyeimbang dari bahaya dan kerentanan, analisis kapasitas (*capacity*) mengevaluasi modalitas sumber daya yang dimiliki oleh komunitas dan institusi lokal untuk mengantisipasi, merespons, dan pulih dari guncangan bencana. Kapasitas ini mencakup ketersediaan infrastruktur evakuasi, keberadaan sistem peringatan dini, kohesi sosial, hingga literasi kebencanaan masyarakat. Sari dan Mutiarin (2021) menggarisbawahi bahwa peningkatan kapasitas lokal merupakan variabel yang paling rasional untuk diintervensi oleh pemerintah, mengingat bahaya alamiah sering kali berada di luar kendali manusia. Oleh sebab itu, sintesis dari analisis HVC ini harus bermuara pada rekomendasi strategis yang berorientasi pada maksimalisasi kapasitas adaptif guna menekan tingkat kerentanan ke titik nadir.

1.3.2 Strategi Penguatan Ketangguhan Komunitas (Community Resilience)

Ketangguhan komunitas (*community resilience*) merupakan pilar sosiologis yang paling krusial dalam arsitektur Pengurangan Risiko Bencana. Konsep ini merujuk pada kemampuan kolektif suatu entitas sosial untuk menyerap guncangan, beradaptasi dengan kondisi krisis, dan melenting balik (*bounce back*) secara cepat pasca-bencana tanpa kehilangan fungsi-fungsi fundamentalnya. Sulistiyono et al. (2024) dalam studinya mengenai Desa Tangguh Bencana (Destana) menyoroti bahwa resiliensi tidak dapat dibangun secara instan melalui injeksi bantuan eksternal, melainkan harus ditumbuhkan secara organik dari dalam komunitas itu sendiri melalui penguatan modal sosial, kearifan lokal, dan partisipasi aktif warga dalam proses pengambilan keputusan.

Strategi penguatan ketangguhan ini menggeser paradigma masyarakat dari objek pasif yang rentan menjadi subjek aktif yang berdaya. Implementasinya termanifestasi melalui pembentukan kelembagaan lokal

seperti Forum Pengurangan Risiko Bencana (FPRB) di tingkat desa, yang bertugas menyusun peta risiko partisipatif dan merancang jalur evakuasi mandiri. Keterlibatan masyarakat dalam memetakan ancaman di lingkungan mereka sendiri terbukti secara empiris mampu meningkatkan *sense of belonging* dan kepatuhan terhadap protokol keselamatan. Selain itu, penguatan kapasitas ekonomi lokal melalui diversifikasi mata pencaharian juga menjadi elemen vital, sehingga komunitas memiliki bantalan finansial yang cukup untuk bertahan di fase pemulihan awal sebelum bantuan dari pemerintah pusat tiba.

Lebih jauh, ketangguhan komunitas sangat bergantung pada transmisi pengetahuan kebencanaan antargenerasi dan pelembagaan simulasi evakuasi sebagai sebuah rutinitas kultural. Sulistiyono et al. (2024) menekankan bahwa komunitas pesisir yang tangguh adalah mereka yang mampu menerjemahkan informasi peringatan dini yang bersifat teknis-saintifik menjadi tindakan penyelamatan diri yang reflektif. Oleh karena itu, strategi penguatan resiliensi harus mencakup integrasi edukasi kebencanaan ke dalam ruang-ruang sosial kemasyarakatan, seperti pengajian, musyawarah desa, hingga kurikulum muatan lokal di sekolah. Melalui pendekatan kultural ini, kesiapsiagaan tidak lagi dipandang sebagai beban administratif, melainkan telah terinternalisasi sebagai gaya hidup yang inheren dalam dinamika sosial masyarakat.

1.3.3 Investasi Infrastruktur Tahan Bencana dan Tata Ruang

Investasi pada infrastruktur tahan bencana (mitigasi struktural) dan penataan ruang berbasis risiko merupakan manifestasi fisik dari komitmen negara dalam melindungi warganya. Secara ekonomi makro, alokasi anggaran untuk membangun infrastruktur yang tangguh sering kali dipersepsikan sebagai beban fiskal yang masif di awal (*high upfront cost*). Namun, analisis *cost-benefit* dalam manajemen bencana membuktikan bahwa setiap unit mata uang yang diinvestasikan untuk mitigasi struktural mampu mencegah kerugian ekonomi yang berlipat ganda di masa depan. Infrastruktur kritis seperti rumah sakit, sekolah, jembatan, dan pusat komando peringatan dini harus dirancang dengan standar *building code* yang ketat, memastikan fasilitas tersebut tetap operasional saat krisis terjadi untuk menopang upaya penyelamatan nyawa.

Selain penguatan struktur bangunan, kebijakan tata ruang memegang peranan determinan dalam mengendalikan tingkat paparan populasi terhadap ancaman bencana. Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) harus difungsikan sebagai instrumen regulatori yang tegas untuk mencegah ekspansi permukiman dan kawasan industri ke dalam zona merah kerentanan, seperti sempadan pantai yang rawan tsunami atau lereng curam yang rentan longsor. Sayangnya, realitas empiris di Indonesia sering kali menunjukkan adanya kompromi antara regulasi tata ruang dengan tekanan pertumbuhan ekonomi dan urbanisasi. Pelanggaran zonasi ini menciptakan "bom waktu" kerentanan struktural yang akan meledak ketika siklus bencana geologis atau hidrometeorologis mencapai puncaknya.

Untuk mengatasi dilema tersebut, diperlukan pendekatan tata ruang yang adaptif dan inovatif, seperti penerapan konsep *buffer zone* (zona penyangga) ekologis. Di kawasan pesisir, investasi tidak melulu harus berupa pembangunan tanggul laut beton raksasa (*seawall*), melainkan dapat dikombinasikan dengan restorasi sabuk hijau mangrove yang terbukti efektif mereduksi energi gelombang tsunami dan abrasi. Integrasi antara infrastruktur abu-abu (*grey infrastructure*) dan infrastruktur hijau (*green infrastructure*) ini menawarkan solusi mitigasi yang lebih berkelanjutan, ramah lingkungan, dan memberikan nilai tambah ekonomi bagi masyarakat lokal. Pada akhirnya, tata ruang yang berperspektif bencana adalah wujud nyata dari kedaulatan negara dalam menjamin ruang hidup yang aman bagi generasi mendatang.

1.4 Urgensi Diseminasi Informasi Peringatan Dini

Sistem peringatan dini (*early warning system*) merupakan instrumen paling vital dalam rantai keselamatan publik saat menghadapi ancaman bencana yang bergerak cepat seperti tsunami. Namun, kecanggihan teknologi sensor dan algoritma prediksi di pusat komando akan kehilangan signifikansinya jika informasi tersebut gagal didiseminasikan secara *real-time* dan komprehensif kepada masyarakat di zona bahaya. Diseminasi informasi bukan sekadar proses transmisi data elektronik, melainkan sebuah proses komunikasi risiko yang kompleks, di mana pesan yang disampaikan harus mampu menembus hambatan psikologis, kultural, dan geografis untuk memicu tindakan evakuasi yang rasional dan terorganisir.

Urgensi diseminasi ini semakin krusial mengingat karakteristik geografis Indonesia yang terdiri dari ribuan pulau dengan tingkat aksesibilitas infrastruktur komunikasi yang sangat timpang. Kegagalan dalam mendistribusikan peringatan dini sering kali berakar pada disfungsi pada "mil terakhir" (*the last mile*), yakni titik kontak antara sistem teknologi dengan respons manusia. Oleh karena itu, merancang arsitektur diseminasi yang efektif menuntut adanya redundansi saluran komunikasi, penggunaan bahasa yang mudah didekodekan oleh masyarakat awam, serta integrasi antara teknologi modern dengan instrumen komunikasi tradisional yang telah mengakar di tingkat lokal.

1.4.1 Filosofi "Golden Time" dalam Evakuasi Tsunami

Dalam diskursus manajemen krisis tsunami, konsep *Golden Time* atau waktu emas merujuk pada jendela waktu kritis yang tersedia sejak terjadinya gempa bumi pemicu hingga gelombang pertama menghantam garis pantai. Benazir et al. (2022) dalam estimasi waktu kedatangan tsunami di pesisir utara Aceh mengonfirmasi bahwa *lead time* yang dimiliki oleh masyarakat Indonesia sangatlah sempit, sering kali hanya berkisar antara 15 hingga 40 menit, bergantung pada jarak episentrum di zona *megathrust*. Durasi yang sangat terbatas ini menempatkan kecepatan dan akurasi diseminasi peringatan dini sebagai faktor penentu mutlak antara hidup dan mati. Setiap detik keterlambatan dalam rantai komando informasi akan berkonsekuensi langsung pada eksponensialnya jumlah korban jiwa.

Filosofi *Golden Time* menuntut adanya pergeseran paradigma dari sistem birokrasi yang hierarkis menuju sistem otomasi yang terdesentralisasi. Proses pengambilan keputusan untuk membunyikan sirene evakuasi tidak boleh terhambat oleh rantai otorisasi yang panjang dan berbelit. Ketika parameter gempa telah memenuhi ambang batas potensi tsunami, sistem harus mampu men-*trigger* peringatan ke tingkat tapak secara instan. Benazir et al. (2022) menggarisbawahi bahwa pemahaman spasial mengenai estimasi waktu tiba gelombang (*Estimated Time of Arrival* - ETA) harus menjadi basis utama dalam merancang rute evakuasi vertikal maupun horizontal, memastikan bahwa jarak tempuh menuju titik aman dapat diselesaikan sebelum *Golden Time* tersebut habis.

Lebih dari sekadar metrik waktu, *Golden Time* juga berkaitan erat dengan kesiapan psikologis dan memori otot masyarakat. Dalam situasi panik yang ekstrem, rasionalitas manusia cenderung menurun drastis. Oleh karena itu, peringatan dini yang diterima dalam rentang waktu emas tersebut harus segera direspons dengan tindakan evakuasi yang telah dilatih secara berulang-ulang melalui simulasi. Tanpa adanya edukasi prabencana yang memadai, *Golden Time* yang berhasil diamankan oleh teknologi peringatan dini akan terbuang sia-sia akibat kebingungan massal, kemacetan di jalur evakuasi, atau ketidakpercayaan masyarakat terhadap validitas informasi yang diterima.

1.4.2 Tantangan Inklusivitas Informasi bagi Kelompok Rentan

Salah satu celah terbesar dalam sistem diseminasi peringatan dini kontemporer adalah minimnya perspektif inklusivitas, yang menyebabkan kelompok rentan sering kali tertinggal dalam proses evakuasi. Kelompok rentan yang mencakup penyandang disabilitas, lansia, anak-anak, ibu hamil, dan masyarakat di daerah terisolir memiliki hambatan spesifik dalam mengakses, memproses, dan merespons informasi krisis. Sulistiyono et al. (2024) menyoroti bahwa desain sistem peringatan dini yang bersifat *one-size-fits-all* (satu ukuran untuk semua) cenderung mengabaikan realitas demografis ini, sehingga secara tidak langsung menciptakan diskriminasi struktural dalam pemenuhan hak atas keselamatan.

Tantangan inklusivitas ini termanifestasi dalam berbagai bentuk hambatan komunikasi. Misalnya, peringatan dini yang hanya mengandalkan sirene audio tidak akan efektif bagi komunitas tunarungu, sementara informasi berbasis teks di aplikasi ponsel pintar tidak dapat diakses oleh lansia dengan literasi digital rendah atau masyarakat di area *blank spot* sinyal seluler. Sulistiyono et al. (2024) menekankan pentingnya inovasi dalam metode diseminasi, seperti penggunaan peringatan visual (lampu strobo di fasilitas umum), pesan suara dengan bahasa daerah lokal, hingga pengorganisasian relawan pendamping khusus di tingkat rukun tetangga yang bertugas memastikan evakuasi kelompok rentan secara *door-to-door*.

Mengatasi tantangan inklusivitas menuntut adanya pergeseran dari pendekatan teknosentris menuju pendekatan *human-centered design*

dalam pengembangan sistem peringatan dini. Pemerintah dan perancang sistem harus melibatkan representasi kelompok rentan sejak fase perencanaan, guna mengidentifikasi kebutuhan spesifik mereka. Selain itu, basis data kependudukan di tingkat desa harus diintegrasikan dengan peta risiko, sehingga otoritas lokal memiliki pemetaan spasial yang presisi mengenai di mana kelompok rentan bermukim. Dengan demikian, alokasi sumber daya penyelamatan dapat diprioritaskan secara proporsional, memastikan bahwa prinsip *no one left behind* (tidak ada yang tertinggal) benar-benar terwujud dalam manajemen krisis.

1.4.3 Dampak Ekonomi dan Sosial dari Kegagalan Peringatan Dini

Kegagalan dalam sistem peringatan dini-baik berupa keterlambatan informasi (*missed alarm*) maupun peringatan palsu (*false alarm*)-membawa implikasi sosial dan ekonomi yang sangat destruktif. Ketika sistem gagal mendeteksi atau mendiseminasikan ancaman secara tepat waktu, dampaknya secara langsung terukur dari lonjakan angka mortalitas dan hancurnya aset-aset ekonomi masyarakat. Kelumpuhan sektor-sektor produktif, seperti perikanan, pariwisata pesisir, dan perdagangan lokal, menciptakan efek domino yang memicu resesi ekonomi di tingkat regional. Biaya pemulihan pasca-bencana akibat kegagalan mitigasi ini secara historis selalu jauh melampaui estimasi anggaran yang dibutuhkan untuk membangun dan memelihara infrastruktur peringatan dini itu sendiri.

Di sisi lain, fenomena *false alarm* atau peringatan dini yang tidak diikuti oleh kejadian bencana juga menyimpan bahaya laten yang tidak kalah serius. Secara ekonomi, evakuasi massal yang dipicu oleh alarm palsu menyebabkan terhentinya aktivitas komersial, gangguan pada rantai pasok logistik, dan biaya operasional tanggap darurat yang terbuang sia-sia. Namun, dampak yang paling merusak dari *false alarm* berulang adalah terjadinya erosi kepercayaan publik (*trust deficit*) terhadap otoritas kebencanaan dan teknologi itu sendiri. Fenomena *cry wolf effect* ini menyebabkan masyarakat menjadi apatis dan cenderung mengabaikan peringatan di masa depan, yang pada akhirnya dapat berujung fatal ketika ancaman nyata benar-benar datang.

Secara sosiologis, kegagalan peringatan dini juga memicu trauma kolektif dan instabilitas sosial. Ketidakpastian informasi di tengah krisis sering kali menjadi lahan subur bagi penyebaran rumor dan hoaks, yang memperparah kepanikan massal dan memicu konflik horizontal dalam perebutan sumber daya evakuasi. Oleh karena itu, keandalan sistem peringatan dini bukan sekadar isu teknis-engineering, melainkan instrumen vital untuk menjaga kohesi sosial dan stabilitas ekonomi negara. Investasi pada pemeliharaan sistem, kalibrasi sensor yang presisi, dan protokol verifikasi informasi yang ketat merupakan harga mutlak yang harus dibayar untuk mencegah keruntuhan struktur sosial akibat mismanajemen informasi krisis.

1.4.4 Peran Teknologi Multi-Hazard Early Warning System (MHEWS)

Menghadapi kompleksitas ancaman bencana yang sering kali bersifat majemuk dan saling memicu (*cascading disasters*), paradigma peringatan dini global kini bertransisi menuju penerapan *Multi-Hazard Early Warning System* (MHEWS). Rahmawati (2025) menjelaskan bahwa MHEWS merupakan arsitektur sistem peringatan berbasis elektronika terintegrasi yang dirancang untuk memantau, menganalisis, dan mendiseminasikan informasi terkait berbagai jenis ancaman-seperti gempa bumi, tsunami, cuaca ekstrem, dan erupsi vulkanik-melalui satu platform komando yang tersentralisasi. Pendekatan multi-ancaman ini dinilai jauh lebih efisien secara operasional dan finansial dibandingkan dengan membangun sistem peringatan yang terfragmentasi dan berdiri sendiri untuk setiap jenis bencana.

Keunggulan utama dari teknologi MHEWS terletak pada kemampuannya dalam melakukan fusi data (*data fusion*) dari berbagai instrumen sensor, seperti seismograf, *buoy* laut, radar cuaca, dan satelit observasi bumi. Rahmawati (2025) menyoroti bahwa integrasi data lintas sektoral ini memungkinkan algoritma kecerdasan buatan untuk memodelkan skenario dampak secara lebih komprehensif dan *real-time*. Misalnya, sistem tidak hanya memberikan peringatan tentang potensi tsunami pasca-gempa, tetapi juga mengkalkulasi risiko tanah longsor sekunder akibat guncangan pada lereng yang sebelumnya telah jenuh oleh curah hujan tinggi. Analisis holistik ini memberikan landasan pengambilan keputusan yang jauh lebih kaya bagi otoritas penanggulangan bencana.

Meskipun menawarkan kapabilitas analitik yang superior, implementasi MHEWS di Indonesia masih dihadapkan pada tantangan interoperabilitas antar-lembaga. Data mentah sering kali tersebar di berbagai institusi (seperti BMKG, PVMBG, dan Kementerian PUPR) dengan protokol komunikasi dan format yang berbeda-beda. Oleh karena itu, optimalisasi MHEWS menuntut adanya reformasi birokrasi berupa pembentukan regulasi berbagi data (*data sharing agreement*) yang mengikat secara hukum. Selain itu, kecanggihan teknologi di sisi hulu (pusat data) harus diimbangi dengan keandalan infrastruktur diseminasi di sisi hilir, memastikan bahwa peringatan multi-ancaman tersebut dapat diterjemahkan menjadi pesan aksi yang sederhana, cepat, dan mudah dipahami oleh masyarakat luas.

Tabel 1.1 Analisis Komparatif Sistem Peringatan Dini Tradisional vs Multi-Hazard Early Warning System (MHEWS)

Dimensi Analisis	Sistem Peringatan Dini Tradisional (Single-Hazard)	Multi-Hazard Early Warning System (MHEWS)
Fokus Ancaman	Spesifik pada satu jenis bencana (misal: hanya tsunami atau hanya banjir).	Terintegrasi untuk berbagai ancaman (gempa, tsunami, cuaca ekstrem, vulkanik).
Arsitektur Data	Terfragmentasi; data dikelola secara eksklusif oleh lembaga sektoral masing-masing.	Fusi data (<i>Data Fusion</i>); integrasi lintas lembaga dalam satu platform komando.
Efisiensi Biaya	Cenderung boros karena duplikasi infrastruktur komunikasi dan pemeliharaan.	Sangat efisien (<i>cost-effective</i>) melalui penggunaan infrastruktur berbagi (<i>shared resources</i>).
Analisis Risiko	Linear; kesulitan memprediksi bencana ikutan (<i>cascading disasters</i>).	Holistik; mampu memodelkan interaksi antar-ancaman secara <i>real-time</i> .
Diseminasi	Sering kali terpisah, berpotensi membingungkan	Terpadu; pesan disintesis menjadi satu arahan

Pesan	publik jika ada peringatan tumpang tindih.	evakuasi yang jelas dan komprehensif.
Tantangan Utama	Keterbatasan pandangan analitis terhadap kompleksitas kerentanan wilayah.	Interoperabilitas data antar-lembaga dan kebutuhan infrastruktur komputasi tinggi.

BAB 2

TEORI KELEMBAGAAN DALAM MANAJEMEN KRISIS

Pendahuluan

Diskursus mengenai manajemen krisis dan penanggulangan bencana tidak dapat dilepaskan dari analisis mendalam terhadap arsitektur kelembagaan yang menopangnya. Secara teoretis, institusi bukan sekadar wadah administratif yang bersifat statis, melainkan sebuah ekosistem dinamis yang menentukan bagaimana sumber daya dialokasikan, keputusan diambil, dan risiko dimitigasi. Bab ini memetakan posisi teori kelembagaan dalam konstelasi keilmuan manajemen bencana, menggeser fokus dari sekadar analisis bahaya fisik menuju pemahaman komprehensif tentang kapasitas struktural dan kultural negara dalam merespons krisis. Melalui lensa institusionalisme, bencana dikonseptualisasikan sebagai ujian tertinggi terhadap resiliensi sistem tata kelola pemerintahan, di mana kegagalan mitigasi sering kali berakar pada disfungsi kelembagaan alih-alih semata-mata karena kedahsyatan fenomena alam.

Meskipun literatur kontemporer telah banyak mengeksplorasi pentingnya kapasitas kelembagaan, masih terdapat *research gap* yang signifikan terkait bagaimana dinamika kolaborasi antar-aktor beroperasi di tengah fragmentasi birokrasi. Banyak studi terdahulu cenderung memotret institusi secara mekanistik dan hierarkis, mengabaikan fakta bahwa manajemen krisis modern menuntut orkestrasi yang melibatkan jejaring aktor non-negara, seperti sektor swasta dan organisasi non-pemerintah (NGO). Celah akademis ini memperlihatkan adanya diskoneksi antara desain kebijakan formal dengan realitas praktik tata kelola kolaboratif di lapangan. Tanpa adanya sintesis teoretis yang menjembatani kapasitas internal institusi dengan dinamika kolaborasi eksternal, strategi penguatan kelembagaan akan cenderung bersifat superfisial dan gagal menjawab kompleksitas ancaman bencana kontemporer.

Berangkat dari identifikasi celah penelitian tersebut, bab ini dirumuskan untuk menjawab tiga pertanyaan penelitian utama. Pertama, bagaimana fundamental institusi dan dimensi kapasitas kebijakan membentuk fondasi ketangguhan sebuah negara dalam menghadapi krisis? Kedua, sejauh

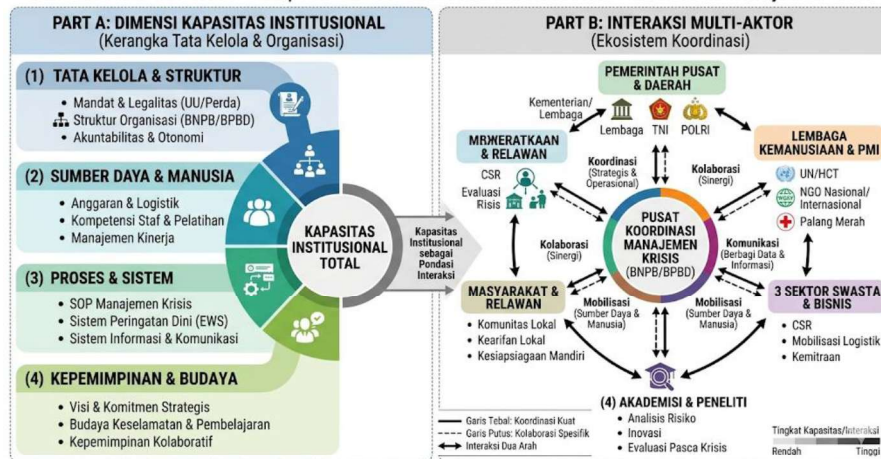
mana model *collaborative governance* mampu mengurai kebuntuan koordinasi sektoral dan mengoptimalkan peran aktor non-pemerintah dalam ekosistem mitigasi bencana? Ketiga, apa saja hambatan institusional yang secara persisten mendistorsi implementasi kebijakan pengurangan risiko bencana di tingkat lokal? Melalui elaborasi kritis terhadap pertanyaan-pertanyaan ini, bab ini diharapkan mampu menyajikan kerangka analitis yang solid untuk merekonstruksi tata kelola kebencanaan yang lebih adaptif, inklusif, dan akuntabel.

2.1 Fundamental Institusi dan Kapasitas Kebijakan

Pemahaman terhadap fundamental institusi merupakan prasyarat epistemologis sebelum membedah efektivitas manajemen krisis. Institusi bertindak sebagai tulang punggung yang menstrukturisasi interaksi antar-individu dan kelompok dalam masyarakat, memberikan prediktabilitas di tengah situasi yang serba tidak pasti. Dalam konteks kebencanaan, kapasitas kebijakan sebuah institusi menentukan sejauh mana otoritas publik mampu merumuskan, mengimplementasikan, dan mengevaluasi strategi mitigasi yang relevan dengan ancaman yang dihadapi. Kapasitas ini tidak muncul dari ruang hampa, melainkan dibentuk oleh akumulasi sumber daya, kompetensi teknis, dan legitimasi politik yang dimiliki oleh lembaga tersebut.

Lebih jauh, analisis terhadap kapasitas kebijakan menuntut dekonstruksi terhadap elemen-elemen pembentuk institusi itu sendiri. Hal ini mencakup evaluasi terhadap aturan main formal yang tertuang dalam regulasi, hingga norma-norma informal yang memandu perilaku birokrasi sehari-hari. Ketika fundamental institusi ini rapuh, kebijakan mitigasi yang dihasilkan cenderung bersifat reaktif dan terfragmentasi. Oleh karena itu, penguatan kapasitas kebijakan harus dipandang sebagai investasi strategis jangka panjang yang melampaui sekadar pemenuhan indikator administratif, melainkan sebuah upaya sistematis untuk membangun ketahanan struktural negara dalam melindungi warganya dari ancaman katastrofik.

Gambar 2.1: Skema Dimensi Kapasitas Institucional dan Interaksi Multi-Aktor dalam Manajemen Krisis



Gambar 2.1: Skema Dimensi Kapasitas Institucional dan Interaksi Multi-Aktor dalam Manajemen Krisis

2.1.1 Definisi Institusi: Aturan Main, Organisasi, dan Norma

Secara konseptual, institusi sering kali direduksi maknanya hanya sebatas bangunan fisik atau struktur organisasi formal. Namun, dalam perspektif ilmu kebijakan publik, institusi memiliki dimensi ontologis yang jauh lebih luas dan kompleks. Howlett et al. (2020) mendefinisikan institusi sebagai konstelasi aturan main (*rules of the game*), prosedur, dan norma yang membatasi sekaligus memfasilitasi perilaku aktor-aktor di dalamnya. Aturan main ini mencakup konstitusi, undang-undang, dan regulasi teknis yang memberikan mandat legal bagi penyelenggaraan penanggulangan bencana. Keberadaan aturan formal ini sangat krusial untuk menetapkan batas-batas kewenangan, mendistribusikan sumber daya, dan memastikan adanya kepastian hukum ketika negara harus mengambil tindakan darurat yang membatasi kebebasan sipil demi keselamatan publik.

Selain dimensi formal, institusi juga sangat dipengaruhi oleh elemen informal berupa norma, budaya organisasi, dan nilai-nilai yang terinternalisasi dalam kognisi para birokrat. Norma-norma ini sering kali menjadi determinan yang lebih kuat dalam menentukan arah kebijakan dibandingkan dengan prosedur tertulis. Dalam konteks manajemen krisis, budaya organisasi yang inovatif dan adaptif akan mendorong aparatur

untuk mengambil inisiatif cepat di luar kelaziman birokrasi (*out of the box*) ketika berhadapan dengan situasi *force majeure*. Sebaliknya, institusi yang didominasi oleh norma kaku dan budaya *risk-averse* (menghindari risiko) akan cenderung lambat merespons dinamika bencana, karena para aktornya lebih mengutamakan kepatuhan administratif ketimbang efektivitas penyelamatan nyawa.

Sintesis antara aturan main formal dan norma informal inilah yang pada akhirnya membentuk karakter sebuah organisasi kebencanaan. Organisasi seperti Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) tidak hanya dituntut untuk memiliki struktur komando yang solid, tetapi juga harus mampu menumbuhkan etos kerja yang berorientasi pada pelayanan kemanusiaan. Howlett et al. (2020) menggarisbawahi bahwa reformasi kelembagaan yang sukses tidak dapat dicapai hanya dengan merombak bagan organisasi atau merevisi undang-undang, melainkan harus menyentuh akar kultural yang membentuk cara pandang aparatur terhadap risiko dan tanggung jawab publik. Pemahaman komprehensif terhadap definisi institusi ini menjadi fondasi penting untuk mendiagnosis patologi birokrasi yang kerap menghambat efektivitas mitigasi bencana di Indonesia.

2.1.2 Dimensi Kapasitas Lingkungan Menurut Grindle & Hilderbrand

Dalam membedah kapasitas institusional, kerangka analitis yang diajukan oleh Grindle dan Hilderbrand (1995) tetap menjadi salah satu rujukan teoretis paling otoritatif. Mereka mendekonstruksi kapasitas sektor publik ke dalam lima dimensi yang saling beririsan, di mana dimensi lingkungan tindakan (*action environment*) menempati posisi makro yang sangat menentukan. Lingkungan tindakan ini mencakup kondisi ekonomi, politik, dan sosial di mana sebuah institusi beroperasi. Dalam konteks manajemen bencana, kapasitas sebuah Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) tidak dapat dilepaskan dari komitmen politik kepala daerah, ketersediaan ruang fiskal dalam APBD, serta tingkat literasi kebencanaan masyarakat setempat. Lingkungan yang tidak suportif akan mengerdilkan potensi institusi, sebaik apa pun desain organisasinya.

Dimensi selanjutnya adalah konteks institusional (*institutional context*) dan jejaring tugas (*task network*). Grindle dan Hilderbrand (1995)

menekankan bahwa tidak ada satu pun lembaga yang memiliki otonomi absolut dalam menyelesaikan masalah publik yang kompleks. Konteks institusional merujuk pada aturan main dan regulasi yang mengatur interaksi antar-lembaga, sementara jejaring tugas berkaitan dengan pola komunikasi dan koordinasi aktual di lapangan. Dalam mitigasi tsunami, misalnya, jejaring tugas ini melibatkan BMKG sebagai penyedia data seismik, BNPB sebagai komando pusat, pemerintah daerah sebagai eksekutor evakuasi, hingga media massa sebagai agen diseminasi. Kegagalan pada salah satu simpul dalam jejaring tugas ini akan melumpuhkan seluruh sistem peringatan dini, mengindikasikan bahwa kapasitas institusional bersifat interdependen.

Dua dimensi terakhir berfokus pada level mikro, yakni organisasi itu sendiri dan sumber daya manusia di dalamnya. Grindle dan Hilderbrand (1995) menyoroti pentingnya struktur insentif, kepemimpinan, dan iklim kerja dalam mendorong kinerja organisasi. Kapasitas tidak hanya diukur dari jumlah personel atau kecanggihan peralatan, tetapi dari sejauh mana institusi mampu merekrut, melatih, dan mempertahankan individu-individu yang memiliki kompetensi teknis dan dedikasi tinggi. Relevansi teori ini dalam manajemen krisis sangatlah nyata; pembangunan kapasitas (*capacity building*) harus dilakukan secara holistik, menyentuh perbaikan lingkungan politik-ekonomi di tingkat makro, penguatan jejaring koordinasi di tingkat meso, hingga peningkatan profesionalisme aparatur di tingkat mikro.

2.1.3 Kapasitas Sumber Daya Manusia dan Jejaring Organisasi

Sumber daya manusia (SDM) merupakan motor penggerak utama yang menerjemahkan mandat institusional menjadi tindakan nyata di lapangan. Dalam ekosistem manajemen krisis, kapasitas SDM tidak hanya diukur dari kualifikasi akademis, tetapi lebih pada kompetensi taktis, ketahanan mental, dan kemampuan mengambil keputusan di bawah tekanan ekstrem (*decision-making under pressure*). Aparatur kebencanaan dituntut untuk memiliki literasi risiko yang mumpuni, kemampuan mengoperasikan teknologi peringatan dini, serta keahlian dalam komunikasi krisis. Kesenjangan kompetensi pada level ini sering kali menjadi titik lemah (*bottleneck*) yang memicu kelumpuhan operasional saat bencana terjadi,

terutama di daerah-daerah terpencil yang minim akses terhadap program pelatihan berkelanjutan.

Namun, keandalan individu tidak akan berdampak optimal jika tidak ditopang oleh jejaring organisasi yang solid. Kompleksitas bencana modern, yang sering kali bersifat lintas batas administratif dan sektoral, memustahilkan pendekatan *single-agency* (lembaga tunggal). Jejaring organisasi memfasilitasi pertukaran sumber daya, informasi, dan keahlian antar-institusi, menciptakan sinergi yang melipatgandakan kapasitas respons secara keseluruhan. Pembentukan jejaring ini membutuhkan pelembagaan protokol komunikasi yang terstandarisasi dan latihan gabungan (*joint exercise*) yang rutin, guna memastikan bahwa setiap entitas memahami peran dan fungsinya masing-masing tanpa terjebak dalam tumpang tindih kewenangan saat masa tanggap darurat.

Sinergi antara kapasitas SDM dan jejaring organisasi menciptakan apa yang disebut sebagai kelincuhan institusional (*institutional agility*). Organisasi yang lincah mampu beradaptasi dengan cepat terhadap perubahan eskalasi ancaman, merealokasi personel secara efisien, dan memobilisasi dukungan dari jejaring eksternalnya secara efektif. Oleh karena itu, investasi dalam pengembangan kapasitas tidak boleh hanya difokuskan pada pengadaan infrastruktur fisik, melainkan harus diprioritaskan pada pembentukan *human capital* yang tangguh dan perajutan relasi antar-lembaga yang berbasis pada kepercayaan (*trust*). Pada akhirnya, kualitas SDM dan soliditas jejaring inilah yang menjadi benteng pertahanan terakhir ketika sistem teknologi peringatan dini mengalami kegagalan teknis.

2.2 Collaborative Governance dalam Mitigasi Bencana

Pergeseran paradigma dari *government* menuju *governance* telah membawa implikasi fundamental dalam tata kelola kebencanaan. Pendekatan hierarkis-sentralistik yang kaku dinilai tidak lagi memadai untuk merespons dinamika krisis yang eskalatif dan multidimensi. Sebagai antitesisnya, *collaborative governance* muncul sebagai kerangka kerja alternatif yang menekankan pada pelibatan aktif berbagai pemangku kepentingan-baik dari unsur negara maupun non-negara-dalam proses perumusan dan eksekusi kebijakan. Kolaborasi ini bukan sekadar

formalitas administratif, melainkan sebuah keharusan strategis untuk mengagregasi sumber daya, pengetahuan, dan legitimasi yang tersebar di berbagai sektor.

Dalam konteks mitigasi bencana, tata kelola kolaboratif memfasilitasi transisi dari model komando yang terfragmentasi menuju ekosistem penanganan yang terintegrasi. Keterlibatan multipihak memungkinkan adanya pembagian beban (*burden sharing*) dan mitigasi risiko yang lebih komprehensif. Meskipun demikian, mengorkestrasi kolaborasi di antara aktor-aktor dengan kepentingan, budaya organisasi, dan rasionalitas yang berbeda bukanlah perkara mudah. Diperlukan desain institusional yang cermat dan kepemimpinan fasilitatif yang kuat untuk memastikan bahwa interaksi antar-aktor tidak berujung pada konflik yurisdiksi, melainkan bermuara pada konsensus yang memperkuat ketangguhan kolektif masyarakat.

2.2.1 Model Kolaborasi Ansell & Gash: Kepercayaan dan Komitmen

Dalam literatur administrasi publik, model *collaborative governance* yang dikembangkan oleh Ansell dan Gash (2008) diakui sebagai salah satu kerangka teoretis paling komprehensif untuk membedah dinamika interaksi multipihak. Model ini mempostulatkan bahwa kolaborasi yang sukses sangat bergantung pada kondisi awal (*starting conditions*), yang mencakup ada tidaknya asimetri kekuasaan, riwayat konflik masa lalu, dan tingkat kepercayaan awal antar-aktor. Dalam manajemen bencana, jika BPBD dan lembaga swadaya masyarakat (LSM) memiliki sejarah hubungan yang antagonis atau saling curiga, maka inisiasi kolaborasi akan menghadapi hambatan psikologis yang berat. Oleh karena itu, menetralisasi residu konflik dan membangun kesetaraan posisi menjadi langkah krusial sebelum proses kolaborasi formal dimulai.

Inti dari model Ansell dan Gash (2008) terletak pada proses kolaboratif itu sendiri, yang bersifat siklikal dan iteratif. Proses ini diawali dengan dialog tatap muka (*face-to-face dialogue*) yang bertujuan untuk membongkar prasangka dan menyelaraskan pemahaman terhadap masalah kebencanaan yang dihadapi. Dialog yang transparan ini menjadi fondasi bagi pembangunan kepercayaan (*trust building*), sebuah elemen sosiologis yang bertindak sebagai pelumas bagi mesin birokrasi. Ketika kepercayaan

telah terbangun, para aktor akan lebih bersedia untuk menunjukkan komitmen terhadap proses (*commitment to the process*), yang berarti mereka rela mengesampingkan ego sektoral demi mencapai tujuan bersama. Siklus ini bermuara pada pemahaman bersama (*shared understanding*) dan pencapaian hasil antara (*intermediate outcomes*) yang semakin memperkuat ikatan kolaborasi.

Untuk menjaga agar siklus kolaborasi ini tetap berputar, Ansell dan Gash (2008) menekankan pentingnya kepemimpinan fasilitatif (*facilitative leadership*) dan desain institusional (*institutional design*) yang inklusif. Pemimpin dalam konteks ini bukanlah figur otoriter yang mendiktekan perintah, melainkan seorang mediator yang mampu merangkul perbedaan, memfasilitasi negosiasi, dan memastikan bahwa suara kelompok marginal tetap terakomodasi. Sementara itu, desain institusional harus menyediakan aturan main yang jelas terkait transparansi informasi dan mekanisme pengambilan keputusan partisipatif. Penerapan model ini dalam mitigasi bencana memastikan bahwa kebijakan yang dihasilkan memiliki legitimasi sosial yang kuat dan tingkat kepatuhan yang tinggi dari seluruh elemen masyarakat.

2.2.2 Dinamika Hubungan Antar-Lembaga (Inter-Agency Relations)

Dinamika hubungan antar-lembaga (*inter-agency relations*) merupakan arena yang kompleks, di mana rasionalitas birokrasi sering kali berbenturan dengan urgensi penyelamatan kemanusiaan. Fitri (2023) dalam analisisnya mengenai strategi kolaborasi kelembagaan menyoroti bahwa relasi antar-instansi pemerintah di Indonesia kerap diwarnai oleh patologi ego sektoral dan kompetisi dalam memperebutkan sumber daya anggaran. Fenomena ini menciptakan silo-silo birokrasi, di mana setiap lembaga beroperasi berdasarkan mandat spesifiknya tanpa mempedulikan irisan kewenangan dengan lembaga lain. Dalam situasi krisis, fragmentasi ini berpotensi memicu kelumpuhan koordinasi, keterlambatan distribusi logistik, dan tumpang tindih instruksi yang membingungkan masyarakat di lapangan.

Untuk mengurai kebuntuan tersebut, diperlukan transisi dari sekadar koeksistensi atau koordinasi superfisial menuju kolaborasi yang substantif. Fitri (2023) menegaskan bahwa kolaborasi antar-lembaga menuntut

adanya integrasi sistem informasi, penyelarasan standar operasional prosedur (SOP), dan pembentukan struktur komando gabungan yang diakui secara legal. Pembentukan Pusat Pengendalian Operasi (Pusdalops) terpadu merupakan salah satu manifestasi dari upaya mensinergikan berbagai instansi-seperti TNI, Polri, Basarnas, Dinas Kesehatan, dan BPBD-ke dalam satu wadah operasional. Melalui struktur ini, sekat-sekat birokrasi dapat diminimalisasi, memungkinkan aliran informasi intelijen kebencanaan dan instruksi taktis bergerak secara *real-time* dan presisi.

Lebih jauh, dinamika hubungan antar-lembaga juga sangat dipengaruhi oleh faktor kepemimpinan politik di tingkat daerah dan nasional. Kepala daerah memiliki peran determinan sebagai dirigen yang mengorkestrasi berbagai Organisasi Perangkat Daerah (OPD) agar bergerak dalam satu ritme mitigasi. Tanpa adanya *political will* yang kuat untuk memaksa instansi-instansi tersebut duduk bersama, inisiatif kolaborasi hanya akan menjadi dokumen kesepahaman (MoU) yang mati di atas kertas. Oleh karena itu, penguatan relasi antar-lembaga harus dibarengi dengan mekanisme *reward and punishment* yang jelas, serta evaluasi kinerja yang mengukur sejauh mana sebuah instansi mampu berkontribusi dalam ekosistem penanggulangan bencana secara kolektif.

2.2.3 Peran Sektor Swasta dan NGO dalam Ekosistem Bencana

Evolusi manajemen krisis modern menempatkan aktor non-pemerintah, khususnya sektor swasta dan *Non-Governmental Organizations* (NGO), sebagai pilar esensial yang tidak dapat dipinggirkan. Wibowo dan Herawati (2024) mengartikulasikan bahwa NGO membawa keunggulan komparatif berupa kelincahan operasional, kedekatan kultural dengan komunitas akar rumput, dan fleksibilitas birokrasi yang sering kali tidak dimiliki oleh aparaturnegara. Dalam fase prabencana, NGO berperan krusial sebagai agen edukasi yang mentransmisikan pengetahuan mitigasi menggunakan bahasa dan pendekatan lokal. Saat krisis terjadi, mereka sering kali menjadi entitas pertama yang tiba di lokasi bencana (*first responders*), mengisi kekosongan layanan publik sebelum mesin birokrasi pemerintah sepenuhnya beroperasi.

Di sisi lain, sektor swasta atau entitas korporasi memiliki kapasitas kapital, teknologi, dan jaringan logistik yang sangat masif. Keterlibatan sektor

swasta tidak lagi terbatas pada filantropi karitatif melalui dana *Corporate Social Responsibility* (CSR), melainkan telah bertransformasi menjadi kemitraan strategis dalam kerangka *Business Continuity Management* (BCM). Wibowo dan Herawati (2024) menyoroti bahwa perusahaan telekomunikasi, misalnya, memegang peranan vital dalam memastikan jaringan komunikasi tetap hidup untuk mendiseminasikan peringatan dini. Demikian pula dengan perusahaan logistik dan ritel yang rantai pasoknya dapat dimobilisasi secara instan untuk mendistribusikan bantuan darurat. Integrasi kapasitas korporasi ini secara signifikan memperkuat daya tahan ekonomi dan infrastruktur suatu wilayah terhadap guncangan bencana.

Tantangan utama dalam mengintegrasikan sektor swasta dan NGO ke dalam ekosistem formal kebencanaan adalah bagaimana menyelaraskan motif dan ritme kerja yang berbeda tanpa menghilangkan independensi mereka. Pemerintah harus mampu memposisikan diri sebagai fasilitator yang menyediakan ruang kemitraan yang setara, bukan sebagai hegemon yang mendiktekan instruksi. Pembentukan klaster-klaster penanggulangan bencana yang melibatkan aktor non-negara merupakan langkah taktis untuk memetakan kapasitas dan mendistribusikan peran secara proporsional. Melalui sinergi pentahelix yang terstruktur, sumber daya yang tersebar di luar domain negara dapat dikonsolidasikan menjadi kekuatan mitigasi yang masif, responsif, dan berkelanjutan.

2.2.4 Akuntabilitas Distributif dalam Pengambilan Keputusan Kolektif

Salah satu dilema teoretis dan praktis terbesar dalam *collaborative governance* adalah masalah akuntabilitas. Dalam struktur birokrasi tradisional yang hierarkis, garis pertanggungjawaban bersifat vertikal dan terpusat pada satu otoritas tunggal. Namun, ketika keputusan diambil secara kolektif oleh jejaring multi-aktor, melacak siapa yang harus bertanggung jawab atas kegagalan kebijakan menjadi sangat rumit. Hasnaa dan Darumurti (2023) dalam studinya mengenai kolaborasi mitigasi bencana mengidentifikasi fenomena *problem of many hands*, di mana tanggung jawab yang terdistribusi terlalu luas sering kali berujung pada kondisi di mana tidak ada satu pun pihak yang merasa bertanggung jawab secara penuh (*no one's responsibility*).

Untuk mengatasi dilema ini, konsep akuntabilitas distributif (*distributive accountability*) ditawarkan sebagai mekanisme kontrol yang lebih relevan untuk ekosistem kolaboratif. Akuntabilitas distributif tidak mencari satu "kambing hitam" tunggal, melainkan memetakan proporsi tanggung jawab berdasarkan peran, komitmen, dan sumber daya yang disumbangkan oleh masing-masing aktor dalam jejaring tersebut. Hasnaa dan Darumurti (2023) menekankan bahwa penerapan konsep ini mensyaratkan adanya transparansi absolut sejak fase perencanaan, di mana setiap lembaga, NGO, dan entitas swasta secara eksplisit menyepakati indikator kinerja dan batasan kewenangan mereka dalam sebuah dokumen legal yang mengikat.

Lebih jauh, akuntabilitas dalam pengambilan keputusan kolektif juga harus berdimensi horizontal dan sosial. Artinya, para aktor tidak hanya bertanggung jawab kepada atasan atau lembaga donor mereka, tetapi juga saling mengawasi satu sama lain (*mutual accountability*) dan, yang paling penting, bertanggung jawab secara moral kepada masyarakat terdampak bencana. Mekanisme audit partisipatif dan pelibatan masyarakat sipil dalam mengevaluasi kinerja jejaring kolaborasi merupakan instrumen efektif untuk mencegah terjadinya penyimpangan atau kelalaian. Dengan melembagakan akuntabilitas distributif ini, *collaborative governance* dapat terhindar dari jebakan retorika dan benar-benar berfungsi sebagai instrumen tata kelola yang berintegritas tinggi dalam melindungi keselamatan publik.

2.3 Penguatan Kelembagaan Tingkat Lokal dan Desa

Desentralisasi tata kelola pemerintahan di Indonesia telah membawa implikasi paradigmatik terhadap arsitektur penanggulangan bencana, di mana titik berat intervensi kini bergeser ke tingkat akar rumput. Desa tidak lagi diposisikan sebagai entitas perifer atau sekadar objek penerima bantuan karitatif dari pusat, melainkan telah bertransformasi menjadi garda terdepan (*frontline*) dalam sistem pertahanan kebencanaan nasional. Penguatan kelembagaan di tingkat lokal ini didasarkan pada rasionalitas bahwa masyarakat desa adalah yang pertama kali berhadapan langsung dengan dampak destruktif bencana, sekaligus yang memiliki pemahaman paling intim terhadap topografi dan kerentanan lingkungan mereka sendiri. Oleh karena itu, membangun kapasitas institusional di

level desa merupakan prasyarat mutlak untuk menciptakan resiliensi yang berkelanjutan.

Meskipun demikian, proses pelembagaan mitigasi di tingkat desa bukanlah tanpa tantangan. Kesenjangan kapasitas sumber daya manusia, keterbatasan literasi teknis, dan asimetri informasi sering kali menjadi hambatan struktural yang mengerdilkan potensi otonomi desa. Penguatan kelembagaan lokal menuntut lebih dari sekadar pembentukan struktur organisasi formal; ia membutuhkan injeksi pengetahuan, pendampingan teknis yang persisten, serta revitalisasi modal sosial yang telah mengakar dalam kultur masyarakat. Melalui sinergi antara otoritas legal-formal desa dengan kearifan lokal, kelembagaan tingkat basis dapat dioptimalkan menjadi instrumen mitigasi yang sangat responsif, adaptif, dan mandiri dalam menghadapi eskalasi krisis.



Gambar 2.2: Struktur Kelembagaan dan Alur Koordinasi Desa Tangguh Bencana (Destana) dalam Ekosistem Mitigasi Lokal, mengilustrasikan integrasi antara aparat desa, relawan, dan tokoh masyarakat.

2.3.1 Desa Tangguh Bencana (Destana) sebagai Modal Sosial

Program Desa Tangguh Bencana (Destana) merepresentasikan salah satu inovasi kebijakan paling strategis dalam upaya melokalisasi kerangka kerja pengurangan risiko bencana di Indonesia. Lugas dan Anik (2020)

mengartikulasikan bahwa Destana bukanlah sekadar proyek administratif yang diinisiasi oleh pemerintah pusat, melainkan sebuah gerakan sosiologis yang bertujuan untuk merekayasa ketangguhan komunitas melalui penguatan kelembagaan lokal. Secara konseptual, Destana mendesain desa agar memiliki kemampuan mandiri untuk mengenali ancaman di wilayahnya, mengorganisasi sumber daya yang ada, dan memulihkan diri secara cepat pasca-bencana. Keberhasilan program ini sangat bergantung pada pembentukan Forum Pengurangan Risiko Bencana (FPRB) di tingkat desa, yang berfungsi sebagai wadah inklusif bagi aparatur desa, tokoh agama, pemuda, dan kelompok perempuan untuk merumuskan kebijakan mitigasi partisipatif.

Lebih dari sekadar struktur formal, fondasi utama dari eksistensi Destana adalah optimalisasi modal sosial (*social capital*) yang inheren dalam masyarakat perdesaan. Modal sosial ini termanifestasi dalam bentuk jaringan kepercayaan (*trust networks*), norma resiprositas, dan budaya gotong royong yang telah teruji oleh waktu. Lugas dan Anik (2020) menyoroti bahwa ketika struktur kelembagaan Destana dikawinkan dengan modal sosial kultural ini, efektivitas mobilisasi massa saat evakuasi darurat meningkat secara eksponensial. Kepatuhan warga terhadap instruksi evakuasi tidak lagi didorong oleh ketakutan terhadap sanksi otoritas, melainkan oleh rasa solidaritas dan tanggung jawab kolektif untuk saling menyelamatkan. Modal sosial inilah yang bertindak sebagai perekat kohesi komunitas, mencegah terjadinya anomie atau kekacauan sosial saat struktur pemerintahan formal lumpuh akibat guncangan bencana.

Namun, menjaga keberlanjutan (*sustainability*) program Destana sering kali menjadi tantangan pasca-berakhirnya intervensi dari fasilitator eksternal atau lembaga donor. Banyak desa yang mengalami stagnasi kelembagaan karena FPRB gagal diintegrasikan ke dalam sistem perencanaan pembangunan desa secara permanen. Oleh karena itu, pelembagaan Destana harus diikuti dengan legalisasi produk hukum di tingkat desa, seperti Peraturan Desa (Perdes) tentang Penanggulangan Bencana, yang mengikat secara yuridis. Selain itu, kaderisasi relawan lokal harus dilakukan secara berkesinambungan untuk mencegah hilangnya memori institusional. Dengan menjadikan Destana sebagai bagian organik dari tata kelola desa, modal sosial yang terbangun tidak akan menguap,

melainkan terus terakumulasi menjadi perisai kultural yang tangguh menghadapi ancaman di masa depan.

2.3.2 Struktur Pusdalops dan Fungsi Koordinasi Lapangan

Pusat Pengendalian Operasi (Pusdalops) Penanggulangan Bencana merupakan instrumen saraf pusat (*central nervous system*) dalam arsitektur manajemen krisis, yang bertugas mengorkestrasi aliran informasi dan komando taktis di lapangan. Setiawan dan Mutiarin (2021) menjelaskan bahwa eksistensi Pusdalops di tingkat daerah (provinsi dan kabupaten/kota) sangat krusial untuk menjembatani kesenjangan koordinasi antar-sektor. Secara struktural, Pusdalops didesain sebagai fasilitas yang beroperasi 24 jam sehari, 7 hari seminggu, guna memantau parameter ancaman, memverifikasi data kebencanaan, dan mendiseminasikan peringatan dini secara *real-time*. Keandalan struktur ini menentukan seberapa cepat status keadaan darurat dapat ditetapkan dan seberapa presisi sumber daya penyelamatan dapat dikerahkan ke zona terdampak.

Fungsi koordinasi lapangan yang dijalankan oleh Pusdalops menuntut adanya sinergitas kelembagaan yang sangat tinggi. Dalam situasi krisis, Pusdalops bertransformasi menjadi Pos Komando (Posko) Tanggap Darurat yang mengintegrasikan perwakilan dari berbagai instansi, seperti TNI, Polri, Dinas Kesehatan, Dinas Sosial, dan relawan NGO. Setiawan dan Mutiarin (2021) menekankan bahwa efektivitas koordinasi ini sangat bergantung pada interoperabilitas sistem komunikasi dan kepatuhan seluruh elemen terhadap Sistem Komando Penanganan Darurat Bencana (SKPDB). Tanpa adanya sentralisasi komando melalui Pusdalops, operasi pencarian dan pertolongan (*search and rescue*) berisiko tumpang tindih, distribusi logistik menjadi tidak merata, dan munculnya ego sektoral yang justru memperburuk penderitaan para penyintas di lapangan.

Tantangan terbesar dalam optimalisasi Pusdalops di tingkat lokal sering kali bermuara pada keterbatasan infrastruktur teknologi dan kapasitas sumber daya manusia. Banyak Pusdalops di daerah yang belum dilengkapi dengan perangkat fusi data (*data fusion*) yang memadai, sehingga proses analisis risiko masih dilakukan secara manual dan lambat. Selain itu, rotasi mutasi pegawai daerah yang terlalu cepat kerap mengakibatkan hilangnya

operator-operator terlatih yang memahami protokol komunikasi krisis. Oleh sebab itu, penguatan struktur Pusdalops harus diprioritaskan melalui standarisasi perangkat teknologi informasi, sertifikasi kompetensi bagi para manajer Pusdalops, serta pelaksanaan simulasi komando (*tabletop exercise*) secara berkala untuk menguji ketangguhan rantai koordinasi antar-lembaga sebelum bencana sesungguhnya terjadi.

2.3.3 Otonomi Desa dalam Alokasi Anggaran Mitigasi

Pemberlakuan Undang-Undang Nomor 6 Tahun 2014 tentang Desa telah memberikan otonomi fiskal yang belum pernah terjadi sebelumnya melalui instrumen Dana Desa. Kebijakan ini membuka ruang diskresi yang luas bagi pemerintah desa untuk merencanakan dan mengeksekusi program pembangunan yang relevan dengan kebutuhan lokal, termasuk di sektor penanggulangan bencana. Otonomi ini secara teoretis memungkinkan desa untuk memotong rantai birokrasi yang panjang dalam pengajuan anggaran mitigasi ke pemerintah kabupaten atau pusat. Dengan kewenangan alokasi yang mandiri, desa dapat secara proaktif membiayai pembangunan infrastruktur skala kecil-seperti jalur evakuasi, talud penahan longsor, atau pengadaan alat komunikasi darurat-tanpa harus menunggu terjadinya krisis.

Meskipun payung hukum telah memberikan legitimasi, realisasi alokasi Dana Desa untuk mitigasi bencana sering kali terbentur pada realitas politik lokal dan prioritas pembangunan yang bias. Banyak kepala desa dan Badan Permusyawaratan Desa (BPD) yang masih memandang investasi pada pengurangan risiko bencana sebagai pengeluaran yang tidak populis, karena hasilnya tidak terlihat secara kasat mata dalam jangka pendek. Anggaran desa cenderung tersedot untuk proyek-proyek infrastruktur fisik yang bernilai elektoral tinggi atau program bantuan sosial langsung. Akibatnya, alokasi untuk peningkatan kapasitas relawan, simulasi bencana, atau pemeliharaan sistem peringatan dini lokal kerap dipinggirkan, menyisakan kerentanan struktural yang tersembunyi di balik kemajuan fisik desa.

Untuk mengoptimalkan otonomi fiskal ini, diperlukan intervensi kebijakan dari pemerintah supra-desa berupa regulasi yang mewajibkan persentase minimal (*earmarking*) dari Dana Desa untuk program ketangguhan

bencana. Selain itu, peningkatan literasi kebijakan bagi aparat desa menjadi sangat krusial. Mereka harus dibekali dengan kemampuan menyusun Rencana Pembangunan Jangka Menengah Desa (RPJMDes) dan Rencana Kerja Pemerintah Desa (RKPDDes) yang berperspektif risiko bencana. Melalui pendampingan yang intensif, otonomi desa tidak hanya dimaknai sebagai kebebasan membelanjakan anggaran, tetapi sebagai tanggung jawab moral dan konstitusional untuk membangun kemandirian fiskal dalam melindungi segenap warga desa dari ancaman katastrofik.

2.4 Hambatan Institusional dalam Implementasi Kebijakan

Meskipun kerangka regulasi penanggulangan bencana di Indonesia telah mengalami kemajuan yang progresif di atas kertas, implementasinya di lapangan sering kali terdistorsi oleh berbagai patologi birokrasi. Hambatan institusional ini bertindak sebagai friksi yang memperlambat, membelokkan, atau bahkan menggagalkan pencapaian tujuan kebijakan mitigasi. Kesenjangan antara desain kebijakan (*policy design*) dan eksekusi (*policy execution*) ini membuktikan bahwa keberadaan undang-undang yang ideal tidak secara otomatis menjamin terciptanya tata kelola kebencanaan yang efektif. Institusi publik, dengan segala kompleksitas struktur dan kultur di dalamnya, sering kali menjadi arena kontestasi kepentingan yang mengaburkan urgensi penyelamatan kemanusiaan.

Analisis terhadap hambatan institusional menuntut pendekatan diagnostik yang kritis untuk membongkar akar masalah yang tersembunyi di balik rutinitas administratif. Kendala-kendala ini tidak bersifat tunggal, melainkan saling berkelindan membentuk ekosistem disfungsi yang sistemik. Mulai dari fragmentasi kewenangan antar-lembaga, rigiditas prosedur penganggaran, hingga rendahnya literasi risiko di kalangan elit penentu kebijakan, semuanya berkontribusi pada rapuhnya resiliensi negara. Oleh karena itu, reformasi kelembagaan tidak boleh hanya berhenti pada perombakan struktur formal, melainkan harus menyasar pada dekonstruksi hambatan-hambatan kultural dan struktural yang selama ini menyandera efektivitas manajemen krisis di Indonesia.

2.4.1 Fragmentasi Otoritas dan Ego Sektoral

Fragmentasi otoritas merupakan salah satu penyakit kronis dalam birokrasi pemerintahan yang berdampak sangat destruktif terhadap

manajemen bencana. Rahayu dan Purnomo (2022) dalam kajiannya mengidentifikasi bahwa tata kelola kebencanaan di Indonesia masih sangat diwarnai oleh tumpang tindih kewenangan antar-kementerian dan lembaga. Sebagai contoh, urusan peringatan dini tsunami melibatkan BMKG sebagai penyedia data gempa, BNPB sebagai koordinator mitigasi, dan Kementerian Kominfo dalam hal diseminasi pesan. Ketika batas-batas yurisdiksi ini tidak diatur secara rigid dan terintegrasi, yang muncul adalah fenomena saling lempar tanggung jawab (*passing the buck*) atau sebaliknya, perebutan panggung (*turf war*) saat krisis terjadi.

Ego sektoral memperparah fragmentasi ini dengan menciptakan mentalitas "silo" di mana setiap instansi merasa bahwa mandat dan program kerjanya adalah yang paling superior. Rahayu dan Purnomo (2022) menyoroti bahwa ego sektoral sering kali bermanifestasi dalam keengganan lembaga untuk berbagi data (*data hoarding*) atau mengintegrasikan sistem informasi mereka dengan lembaga lain. Keengganan ini bukan semata-mata masalah teknis, melainkan terkait dengan upaya mempertahankan kontrol atas sumber daya, anggaran, dan prestise institusional. Dalam konteks mitigasi bencana, ego sektoral ini berakibat fatal karena menghambat terbentuknya *common operating picture* (gambaran operasi bersama) yang sangat dibutuhkan untuk mengambil keputusan taktis secara cepat dan akurat.

Mengurai benang kusut fragmentasi otoritas menuntut adanya kepemimpinan politik yang kuat dari tingkat eksekutif tertinggi untuk memaksa terjadinya konsolidasi kelembagaan. Diperlukan instrumen regulasi yang secara tegas mendefinisikan peran *leading sector* dan *supporting sector* dalam setiap fase kebencanaan, serta sanksi administratif bagi instansi yang menolak berkolaborasi. Selain itu, reformasi sistem penganggaran yang berbasis pada kinerja lintas sektoral (*cross-sectoral budgeting*) dapat menjadi solusi untuk memaksa lembaga-lembaga meruntuhkan ego sektoralnya. Hanya melalui integrasi otoritas yang solid, mesin birokrasi negara dapat bergerak secara koheren dan simultan dalam melindungi warganya dari ancaman bencana.

2.4.2 Kendala Birokrasi dalam Pemeliharaan Infrastruktur Teknologi

Investasi masif dalam pengadaan teknologi peringatan dini sering kali tidak diimbangi dengan desain kelembagaan yang memadai untuk fase pemeliharaan (*maintenance*). Kendala birokrasi dalam pemeliharaan infrastruktur teknologi merupakan paradoks klasik di negara berkembang; pemerintah sangat antusias dalam mengalokasikan anggaran untuk pembelian alat-alat canggih (fase pengadaan), namun abai dalam merencanakan biaya operasional jangka panjang. Akibatnya, banyak sensor seismik, *buoy* tsunami, dan sirene peringatan dini yang terbengkalai, rusak akibat vandalisme, atau tidak berfungsi karena kehabisan daya baterai. Kegagalan teknis ini sejatinya berakar pada kegagalan institusional dalam memprioritaskan keberlanjutan sistem.

Rigiditas sistem penganggaran publik menjadi salah satu biang keladi utama dari masalah ini. Proses pencairan dana pemeliharaan sering kali terhambat oleh prosedur administratif yang berbelit-belit, sehingga perbaikan alat yang rusak tidak dapat dilakukan secara responsif. Selain itu, nomenklatur anggaran di daerah kerap kali tidak memiliki pos spesifik untuk pemeliharaan alat peringatan dini, memaksa BPBD untuk melakukan akrobat fiskal atau menunggu tahun anggaran berikutnya. Kondisi ini diperparah oleh minimnya ketersediaan teknisi lokal yang memiliki kualifikasi khusus untuk merawat instrumen berteknologi tinggi, sehingga perbaikan harus selalu bergantung pada vendor dari pusat yang memakan waktu lama.

Untuk mengatasi kendala birokrasi ini, diperlukan pergeseran paradigma dari *procurement-oriented* (berorientasi pengadaan) menjadi *lifecycle-oriented* (berorientasi siklus hidup) dalam pengelolaan infrastruktur bencana. Setiap proyek pengadaan teknologi peringatan dini harus diwajibkan menyertakan skema pendanaan pemeliharaan multi-tahun (*multi-year maintenance contract*) yang mengikat. Selain itu, pemerintah perlu mendelegasikan sebagian tanggung jawab pengawasan fisik infrastruktur kepada komunitas lokal melalui pendekatan partisipatif, guna mencegah vandalisme. Pelembagaan protokol pemeliharaan yang responsif dan terdesentralisasi ini merupakan kunci untuk memastikan bahwa teknologi peringatan dini tetap berstatus siaga penuh (*standby*) kapan pun bencana datang mengancam.

2.4.3 Literasi Kebijakan Pejabat Publik terhadap Risiko Bencana

Efektivitas implementasi kebijakan mitigasi sangat bergantung pada tingkat literasi risiko dan pemahaman konseptual para pejabat publik yang menduduki posisi strategis. Sayangnya, realitas empiris menunjukkan bahwa banyak kepala daerah, legislator, dan pimpinan birokrasi yang masih memiliki paradigma usang dalam memandang bencana-menganggapnya semata-mata sebagai takdir yang tidak dapat diintervensi, atau mereduksinya hanya sebagai urusan bagi-bagi sembako saat tanggap darurat. Rendahnya literasi kebijakan ini berdampak langsung pada marginalisasi isu pengurangan risiko bencana dalam dokumen perencanaan pembangunan daerah (RPJMD) dan minimnya alokasi Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah (APBD) untuk sektor prabencana.

Kondisi ini semakin diperumit oleh dinamika politik elektoral yang cenderung pragmatis. Pejabat publik yang dipilih melalui proses politik sering kali terjebak dalam orientasi kebijakan jangka pendek (*short-termism*), di mana mereka lebih memprioritaskan program-program populis yang hasilnya dapat segera diklaim sebagai prestasi politik sebelum masa jabatan berakhir. Sebaliknya, investasi dalam mitigasi bencana-seperti penegakan zonasi tata ruang atau edukasi kesiapsiagaan-bersifat jangka panjang dan sering kali tidak terlihat hasilnya (*invisible benefits*) kecuali jika bencana benar-benar terjadi. Akibatnya, kebijakan mitigasi kerap dikorbankan demi mengakomodasi kepentingan investasi ekonomi atau ekspansi permukiman yang justru meningkatkan kerentanan wilayah.

Meningkatkan literasi kebijakan pejabat publik menuntut adanya intervensi struktural dan edukatif yang sistematis. Pemerintah pusat melalui Kementerian Dalam Negeri perlu mewajibkan modul manajemen risiko bencana sebagai kurikulum wajib dalam pendidikan dan pelatihan kepemimpinan (Diklatpim) bagi seluruh aparatur sipil negara dan kepala daerah terpilih. Selain itu, diperlukan advokasi kebijakan yang intensif dari kalangan akademisi dan masyarakat sipil untuk menekan elit politik agar mengarusutamakan isu kebencanaan. Dengan meningkatnya literasi risiko di kalangan pengambil keputusan, diharapkan akan lahir *political will* yang

kuat untuk mentransformasi komitmen retorik menjadi kebijakan publik yang berpihak pada keselamatan jangka panjang.

2.4.4 Strategi Sinkronisasi Kebijakan Pusat dan Daerah

Desentralisasi telah melahirkan kompleksitas baru dalam bentuk asimetri kebijakan antara pemerintah pusat dan daerah. Rahayu dan Purnomo (2022) menggarisbawahi bahwa sinkronisasi kebijakan vertikal sering kali terhambat oleh perbedaan interpretasi regulasi, disparitas kapasitas fiskal, dan ketidakselarasan prioritas politik. Pemerintah pusat kerap memproduksi standar operasional dan target mitigasi yang sangat idealistik, namun gagal mempertimbangkan realitas keterbatasan sumber daya di tingkat kabupaten/kota. Sebaliknya, pemerintah daerah sering kali merasa bahwa regulasi dari pusat terlalu kaku dan tidak akomodatif terhadap kearifan lokal serta karakteristik ancaman spesifik di wilayahnya.

Strategi sinkronisasi kebijakan menuntut adanya mekanisme dialogis yang melembagakan komunikasi dua arah antara pusat dan daerah. Pendekatan *top-down* yang bersifat instruksional harus diimbangi dengan mekanisme *bottom-up* yang menyerap aspirasi dan kendala operasional dari tingkat tapak. Harmonisasi ini dapat diwujudkan melalui penyesuaian Rencana Induk Penanggulangan Bencana (RIPB) nasional dengan Rencana Penanggulangan Bencana (RPB) di tingkat provinsi dan kabupaten/kota. Selain itu, pemerintah pusat perlu menyediakan skema insentif fiskal, seperti Dana Insentif Daerah (DID) khusus kebencanaan, bagi pemerintah daerah yang berhasil mencapai indikator kinerja pengurangan risiko bencana, guna merangsang kepatuhan dan inovasi di tingkat lokal.

Lebih jauh, sinkronisasi kebijakan juga harus menyentuh aspek harmonisasi regulasi lintas sektoral. Kebijakan penanggulangan bencana tidak boleh bertabrakan dengan regulasi tata ruang, kehutanan, atau perizinan investasi. Pembentukan *clearing house* atau gugus tugas harmonisasi regulasi di tingkat nasional dan daerah menjadi sangat esensial untuk menyisir dan merevisi pasal-pasal yang saling tumpang tindih. Melalui strategi sinkronisasi yang komprehensif ini, arsitektur tata kelola kebencanaan Indonesia dapat bertransformasi menjadi sebuah sistem yang koheren, di mana setiap level pemerintahan bergerak dalam

satu visi yang sama untuk mewujudkan ketangguhan bangsa menghadapi ancaman krisis.

Tabel 2.1 Analisis Hambatan Institusional dan Strategi Resolusi dalam Manajemen Bencana

Dimensi Hambatan	Manifestasi Permasalahan di Lapangan	Strategi Resolusi dan Intervensi Kebijakan
Fragmentasi Otoritas	Tumpang tindih kewenangan, ego sektoral, dan keengganan berbagi data antar-lembaga.	Konsolidasi komando melalui Pusdalops terpadu dan regulasi <i>data sharing</i> yang mengikat.
Kapasitas Fiskal & Birokrasi	Anggaran bias pada tanggap darurat; minimnya dana pemeliharaan infrastruktur TEWS.	<i>Earmarking</i> anggaran mitigasi dan kontrak pemeliharaan alat berbasis siklus hidup (<i>lifecycle</i>).
Literasi Pejabat Publik	Orientasi politik jangka pendek; mitigasi dianggap sebagai <i>sunk cost</i> yang tidak populis.	Integrasi modul risiko bencana dalam Diklatpim dan penerapan <i>reward</i> politik/fiskal (DID).
Sinkronisasi Vertikal	Asimetri prioritas pusat-daerah; regulasi nasional tidak aplikatif di tingkat lokal.	Harmonisasi RPB Daerah dengan RIPB Nasional; dialog kebijakan <i>bottom-up</i> yang intensif.
Kelembagaan Akar Rumput	Stagnasi program Destana pasca-intervensi; minimnya legalitas FPRB di tingkat desa.	Legalisasi FPRB melalui Peraturan Desa (Perdes) dan alokasi Dana Desa khusus mitigasi.

BAB 3

KEARIFAN LOKAL SEBAGAI INSTRUMEN MITIGASI TRADISIONAL

Pendahuluan

Diskursus mengenai manajemen risiko bencana kontemporer sering kali didominasi oleh paradigma teknosentris yang mengedepankan solusi rekayasa fisik dan instrumentasi digital. Namun, dalam konstelasi keilmuan sosiologi bencana dan antropologi ekologi, kearifan lokal (*local wisdom*) menempati posisi epistemologis yang sangat krusial sebagai instrumen mitigasi tradisional. Bab ini memetakan posisi kearifan lokal bukan sebagai entitas masa lalu yang usang, melainkan sebagai sistem pengetahuan empiris yang telah teruji oleh waktu (*time-tested*) dalam menjaga resiliensi komunitas. Melalui pendekatan fenomenologis dan analisis komparatif, pembahasan ini mendekonstruksi bagaimana nilai-nilai kultural, ritual, dan arsitektur vernakular berfungsi sebagai mekanisme pertahanan sosial-ekologis yang sangat efektif dalam menghadapi ancaman bencana di Nusantara.

Meskipun literatur global mulai mengakui pentingnya pengetahuan tradisional, masih terdapat *research gap* yang signifikan terkait integrasi epistemologis antara sains modern dan kearifan lokal. Banyak studi sebelumnya cenderung memposisikan pengetahuan lokal secara subordinat, mereduksinya sekadar sebagai pelengkap (*complementary*) atau bahkan mitos irasional yang harus diluruskan oleh sains Barat. Celah akademis ini menciptakan diskoneksi dalam implementasi kebijakan pengurangan risiko bencana, di mana intervensi teknologi sering kali mengalami penolakan kultural karena tidak berakar pada kosmologi masyarakat setempat. Tanpa adanya sintesis yang setara antara kedua sistem pengetahuan ini, strategi mitigasi akan kehilangan pijakan sosiologisnya dan gagal memobilisasi partisipasi organik dari komunitas akar rumput.

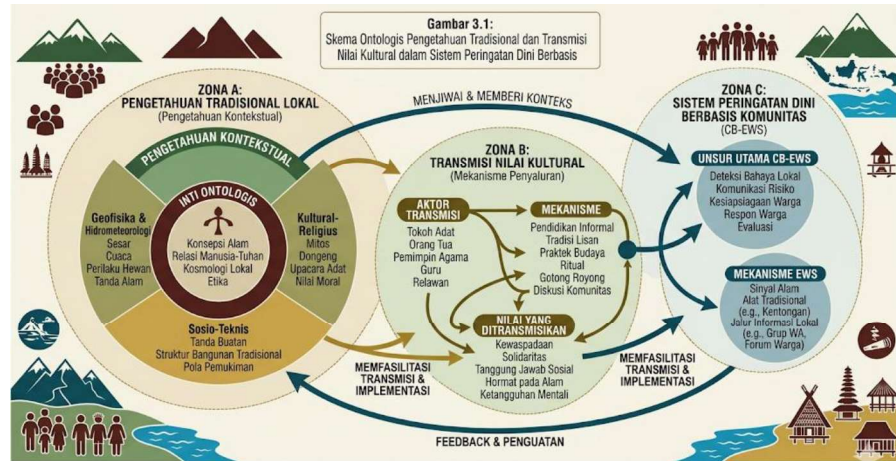
Berangkat dari identifikasi celah penelitian tersebut, bab ini dirancang untuk menjawab empat pertanyaan penelitian utama. Pertama, bagaimana ontologi kearifan lokal membentuk sistem pengetahuan

kebencanaan yang khas di masyarakat tradisional? Kedua, sejauh mana bukti empiris dari berbagai studi kasus di Indonesia memvalidasi efektivitas kearifan lokal dalam menyelamatkan nyawa dan meminimalisasi kerugian? Ketiga, bagaimana modal sosial dan struktur komunal bertindak sebagai katalisator dalam respons tanggap darurat berbasis tradisi? Keempat, apa saja ancaman struktural dan kultural yang memicu erosi pengetahuan tradisional di era modernisasi, serta bagaimana strategi preservasinya? Melalui elaborasi kritis ini, bab ini diharapkan mampu mereposisi kearifan lokal sebagai pilar utama dalam arsitektur ketangguhan bencana nasional.

3.1 Ontologi Kearifan Lokal dalam Pengetahuan Bencana

Pemahaman terhadap kearifan lokal menuntut pembacaan ontologis yang mendalam mengenai bagaimana masyarakat tradisional mengonseptualisasikan realitas alam dan ancaman di sekitarnya. Secara filosofis, kearifan lokal bukanlah sekumpulan dogma statis, melainkan sebuah sistem pengetahuan dinamis yang lahir dari dialektika panjang antara manusia dan lingkungan spesifiknya. Pengetahuan ini mencakup tata nilai, etika, dan praksis yang memandu komunitas dalam merespons anomali alam. Dalam konteks kebencanaan, ontologi kearifan lokal tidak memisahkan antara subjek (manusia) dan objek (alam), melainkan melihat keduanya sebagai satu kesatuan kosmis yang saling memengaruhi.

Lebih jauh, sistem pengetahuan tradisional ini memiliki rasionalitasnya sendiri yang sering kali dikodekan dalam bentuk metafora, mitos, atau tabu. Meskipun artikulasinya berbeda dengan bahasa sains positivistik, substansi dari pengetahuan lokal ini sangatlah empiris dan pragmatis. Pengakuan terhadap validitas ontologis kearifan lokal merupakan langkah pertama yang esensial untuk mendekolonisasi studi kebencanaan, memberikan ruang bagi narasi-narasi subaltern untuk berkontribusi dalam merumuskan strategi resiliensi yang lebih holistik dan membumi.



Gambar 3.1: Skema Ontologis Pengetahuan Tradisional dan Transmisi Nilai Kultural dalam Sistem Peringatan Dini Berbasis Komunitas

Gambar 3.1: Skema Ontologis Pengetahuan Tradisional dan Transmisi Nilai Kultural dalam Sistem Peringatan Dini Berbasis Komunitas.

3.1.1 Definisi dan Karakteristik Pengetahuan Lokal (Indigenous Knowledge)

Secara konseptual, pengetahuan lokal atau *indigenous knowledge* merujuk pada akumulasi kearifan, praktik, dan representasi yang dipertahankan serta dikembangkan oleh masyarakat dengan sejarah interaksi yang panjang terhadap lingkungan alam mereka. Putri et al. (2022) mendefinisikan kearifan lokal sebagai kecerdasan kultural (*local genius*) yang memungkinkan suatu komunitas untuk bertahan hidup, beradaptasi, dan mengelola sumber daya di tengah berbagai tekanan ekologis. Pengetahuan ini tidak lahir dari eksperimen laboratorium yang terisolasi, melainkan dari observasi empiris lintas generasi terhadap siklus alam, perubahan musim, dan pola kejadian bencana yang berulang di wilayah teritorial mereka.

Karakteristik utama dari pengetahuan lokal adalah sifatnya yang sangat kontekstual dan *site-specific* (spesifik pada lokasi tertentu). Artinya, kearifan lokal yang efektif untuk memitigasi tsunami di kawasan pesisir kepulauan tidak dapat serta-merta direplikasi untuk mengatasi ancaman tanah longsor di kawasan pegunungan vulkanik. Šakić Trogrlić et al. (2022) menggarisbawahi bahwa pengetahuan tradisional bersifat holistik, di

mana aspek spiritual, sosial, dan ekologis saling berkelindan tanpa batas demarkasi yang kaku. Selain itu, pengetahuan ini bersifat adaptif; ia terus berevolusi merespons perubahan kondisi lingkungan dan asimilasi budaya, membantah stigma bahwa tradisi adalah sesuatu yang terbelakang dan anti-perubahan.

Dalam diskursus manajemen bencana, pengakuan terhadap karakteristik unik pengetahuan lokal ini menjadi antitesis terhadap dominasi epistemologi sains Barat yang cenderung universalis dan reduksionis. Šakić Trogrlić et al. (2022) menekankan bahwa sains modern sering kali gagal menangkap nuansa kerentanan mikro karena terlalu bergantung pada pemodelan makro. Sebaliknya, pengetahuan lokal menawarkan resolusi data yang sangat tinggi mengenai kondisi topografi mikro, perilaku hidrologis sungai lokal, hingga indikator biologis satwa setempat. Oleh karena itu, mendefinisikan ulang kearifan lokal sebagai bentuk sains berbasis komunitas (*community-based science*) adalah keharusan akademis untuk memperkaya khazanah keilmuan mitigasi bencana.

3.1.2 Proses Transmisi Pengetahuan Antar-Generasi

Keberlangsungan kearifan lokal sangat bergantung pada efektivitas mekanisme transmisi pengetahuan dari generasi tua ke generasi muda. Berbeda dengan sains modern yang didokumentasikan secara tertulis dalam jurnal atau buku teks, pengetahuan tradisional umumnya diwariskan melalui tradisi lisan (*oral tradition*). Proses transmisi ini bermanifestasi dalam berbagai medium kultural, seperti cerita rakyat (*folklore*), legenda, nyanyian pengantar tidur (*lullabies*), puisi tradisional, hingga peribahasa. Penggunaan medium lisan ini bukanlah indikasi keterbelakangan literasi, melainkan sebuah strategi pedagogis yang dirancang agar pesan-pesan keselamatan dapat dengan mudah dihafal, diinternalisasi, dan dipanggil kembali (*recalled*) secara refleksif saat situasi krisis terjadi.

Selain tradisi lisan, transmisi pengetahuan juga berlangsung melalui proses sosialisasi praktis dalam kehidupan sehari-hari dan ritual adat. Generasi muda belajar membaca tanda-tanda alam tidak melalui instruksi teoretis di ruang kelas, melainkan melalui partisipasi langsung dalam aktivitas komunal, seperti melaut bersama nelayan senior atau bertani mengikuti

pranata musim. Dalam konteks ini, alam itu sendiri berfungsi sebagai ruang kelas raksasa, sementara para tetua adat bertindak sebagai fasilitator pengetahuan. Praktik-praktik keseharian ini membentuk memori otot (*muscle memory*) dan kepekaan spasial yang sangat tajam terhadap anomali lingkungan, yang merupakan fondasi dari sistem peringatan dini tradisional.

Namun, proses transmisi antar-generasi ini kini menghadapi disrupsi yang masif akibat perubahan struktur demografis dan sistem pendidikan. Masuknya kurikulum pendidikan formal yang sangat terstandarisasi sering kali menceraabut anak-anak dari akar kulturalnya, menciptakan alienasi terhadap pengetahuan leluhur. Ketika generasi muda lebih mempercayai informasi dari gawai pintar dibandingkan petuah tetua adat, rantai transmisi pengetahuan ini terputus. Oleh karena itu, merevitalisasi medium transmisi kultural dan mengintegrasikannya ke dalam ruang-ruang edukasi kontemporer menjadi tantangan terbesar dalam menjaga agar kearifan lokal tidak punah ditelan arus modernisasi.

3.1.3 Etika Lingkungan dan Filosofi Harmoni Alam

Fondasi terdalam dari kearifan lokal mitigasi bencana adalah etika lingkungan yang berlandaskan pada filosofi harmoni kosmis. Berbeda dengan paradigma antroposentrisme modern yang memandang alam semata-mata sebagai objek eksploitasi untuk akumulasi kapital, masyarakat tradisional menganut pandangan ekosentrisme. Dalam kosmologi ini, alam diposisikan sebagai subjek yang hidup, memiliki jiwa, dan menuntut penghormatan. Bencana alam tidak dimaknai sebagai fenomena mekanistik yang acak, melainkan sering kali diinterpretasikan sebagai manifestasi dari ketidakseimbangan ekologis atau teguran dari alam karena manusia telah melanggar batas-batas kepatutan dalam mengeksploitasi sumber daya.

Filosofi harmoni ini dioperasionalkan melalui berbagai instrumen hukum adat dan sistem tabu (*pamali*). Larangan untuk menebang pohon di kawasan hutan larangan, pantangan membangun rumah di sempadan sungai tertentu, atau aturan ketat mengenai zonasi pemanfaatan ruang pesisir, sejatinya adalah bentuk rekayasa tata ruang berbasis mitigasi ekologis. Putri et al. (2022) mencatat bahwa sistem tabu ini berfungsi

sebagai mekanisme kontrol sosial yang sangat efektif untuk mencegah degradasi lingkungan yang dapat memicu bencana hidrometeorologis maupun memperparah dampak bencana geologis. Kepatuhan terhadap etika lingkungan ini dijaga melalui sanksi sosial dan spiritual yang mengikat seluruh anggota komunitas.

Relevansi etika lingkungan tradisional ini menjadi semakin krusial di tengah krisis iklim global saat ini. Ketika pendekatan teknokratis sering kali gagal mengerem laju deforestasi dan alih fungsi lahan, filosofi harmoni alam menawarkan kerangka moral yang kuat untuk membatasi keserakahan manusia. Mengadopsi etika lingkungan lokal ke dalam kebijakan publik berarti mengakui bahwa mitigasi bencana yang sejati harus dimulai dari perbaikan relasi ontologis antara manusia dan ekosistemnya. Tanpa adanya restorasi etika ekologis ini, pembangunan infrastruktur penahan bencana secanggih apa pun pada akhirnya akan kalah oleh daya rusak alam yang keseimbangannya telah dihancurkan.

3.2 Studi Kasus Keberhasilan Kearifan Lokal di Indonesia

Kepulauan Nusantara, dengan keragaman etnis dan kondisi geologisnya yang ekstrem, merupakan laboratorium raksasa bagi praktik kearifan lokal dalam manajemen bencana. Bukti empiris dari berbagai wilayah menunjukkan bahwa komunitas tradisional telah mengembangkan mekanisme pertahanan hidup yang sangat canggih jauh sebelum konsep Pengurangan Risiko Bencana (PRB) modern diperkenalkan. Studi kasus keberhasilan ini memberikan justifikasi akademis bahwa pengetahuan lokal bukanlah sekadar artefak budaya yang eksotis, melainkan instrumen mitigasi yang memiliki tingkat efikasi tinggi dalam menyelamatkan nyawa dan meminimalisasi kerugian material.

Eksplorasi terhadap berbagai studi kasus ini juga memperlihatkan spektrum kearifan lokal yang sangat luas, mencakup dimensi linguistik-kognitif (seperti sistem peringatan dini lisan), dimensi spiritual-ekologis (ritual pelestarian alam), hingga dimensi rekayasa fisik (arsitektur vernakular). Analisis komparatif terhadap praktik-praktik ini menegaskan bahwa ketangguhan bencana di Indonesia tidak dapat dibangun dengan pendekatan monolitik. Sebaliknya, kebijakan mitigasi nasional harus bersifat pluralistik, mengakomodasi dan mengamplifikasi inovasi-inovasi

kultural yang telah terbukti secara historis mampu meredam daya hancur dari ancaman geologis maupun hidrometeorologis di masing-masing wilayah.

3.2.1 Fenomena "Smong" di Simeulue: Penyelamat Jiwa dari Tsunami

Fenomena *Smong* di Pulau Simeulue, Aceh, merupakan salah satu mahakarya kearifan lokal paling fenomenal dalam sejarah mitigasi tsunami global. Rahman dan Sakurai (2021) mendokumentasikan bahwa ketika gempa bumi dan tsunami raksasa meluluhlantakkan pesisir Aceh pada 26 Desember 2004, jumlah korban jiwa di Simeulue-yang jaraknya sangat dekat dengan episentrum-secara persentase sangatlah minim (kurang dari 10 jiwa dari puluhan ribu penduduk). Keberhasilan evakuasi massal ini bukan disebabkan oleh keberadaan sirene canggih atau infrastruktur beton, melainkan oleh kepatuhan absolut masyarakat terhadap *Smong*, sebuah narasi kultural yang mewariskan memori kolektif tentang tsunami destruktif pada tahun 1907.

Secara linguistik dan operasional, *Smong* bukan sekadar kata yang berarti tsunami, melainkan sebuah paket instruksi evakuasi yang komprehensif. Rahman dan Sakurai (2021) menjelaskan bahwa narasi *Smong* mengajarkan tiga indikator berurutan: jika terjadi guncangan gempa yang kuat (*linon*), diikuti oleh surutnya air laut secara tiba-tiba yang mengekspos dasar karang, maka masyarakat dilarang keras untuk memungut ikan yang menggelepar. Sebaliknya, mereka diinstruksikan untuk segera berlari ke dataran tinggi (*naik ke gunung*) tanpa menunggu komando dari siapa pun. Rangkaian instruksi ini dikodekan dalam bentuk syair (*nandong*) yang dinyanyikan secara rutin dalam berbagai acara adat, memastikan bahwa pesan tersebut terpatut kuat dalam kognisi setiap generasi.

Keberhasilan *Smong* membuktikan bahwa sistem peringatan dini yang paling efektif adalah yang telah terinternalisasi menjadi budaya. Ketika infrastruktur telekomunikasi modern lumpuh total akibat gempa, *Smong* bertindak sebagai algoritma penyelamatan diri yang dieksekusi secara otonom oleh masyarakat. Fenomena ini memberikan pelajaran teoretis yang sangat berharga bagi ilmu manajemen krisis: bahwa teknologi peringatan dini secanggih apa pun akan gagal jika tidak dibarengi dengan

literasi kultural yang kuat. *Smong* adalah manifestasi sempurna dari filosofi *golden time*, di mana kecepatan respons manusia di tingkat tapak berhasil mengalahkan kecepatan gelombang mematikan.

3.2.2 Ritual "Cok Bakal" dan Mitigasi Tanah Longsor di Jawa

Di kawasan pegunungan Jawa yang rentan terhadap bencana hidrometeorologis, kearifan lokal sering kali dibungkus dalam selubung spiritualitas dan ritual adat. Salah satu praktik yang menonjol adalah tradisi *Cok Bakal*, sebuah ritual persembahan sesaji yang dilakukan oleh masyarakat agraris di lereng-lereng perbukitan. Wibowo dan Mulyani (2021) dalam analisis sosiologi agamanya mendekonstruksi ritual ini bukan sebagai praktik animisme yang irasional, melainkan sebagai bentuk ekologi spiritual (*spiritual ecology*) yang memiliki fungsi mitigasi tanah longsor yang sangat logis. Ritual ini secara simbolis merupakan bentuk negosiasi dan permohonan izin kepada entitas gaib penjaga alam agar wilayah mereka dihindarkan dari malapetaka.

Namun, di balik selubung mistis tersebut, *Cok Bakal* menyimpan rasionalitas ekologis yang ketat. Wibowo dan Mulyani (2021) menyoroti bahwa pelaksanaan ritual ini selalu dibarengi dengan aturan adat yang melarang penebangan pohon beringin atau bambu di area sumber mata air dan lereng curam yang dikeramatkan. Pohon-pohon besar ini secara hidrologis berfungsi sebagai pengikat agregat tanah dan penyimpan cadangan air tanah, yang secara langsung mencegah terjadinya pergerakan tanah (longsor) saat curah hujan ekstrem. Dengan mensakralkan kawasan rawan bencana tersebut, masyarakat secara tidak langsung telah menerapkan sistem zonasi tata ruang dan konservasi vegetasi yang jauh lebih dipatuhi dibandingkan dengan papan larangan resmi dari pemerintah.

Lebih dari sekadar konservasi fisik, ritual *Cok Bakal* juga berfungsi sebagai instrumen kohesi sosial. Persiapan dan pelaksanaan ritual menuntut keterlibatan kolektif warga, yang memperkuat ikatan solidaritas dan komunikasi antar-tetangga. Ketika tanda-tanda alam menunjukkan potensi longsor-seperti munculnya retakan tanah atau air sumur yang tiba-tiba keruh-jejaring sosial yang telah diperkuat melalui ritual ini memfasilitasi proses peringatan dan evakuasi komunal secara cepat. Studi kasus ini

menegaskan bahwa pendekatan kultural-spiritual sering kali menjadi pintu masuk yang paling efektif untuk mengimplementasikan program mitigasi di masyarakat tradisional, dibandingkan dengan pendekatan teknokratis yang kering makna.

3.2.3 Arsitektur Tradisional Tahan Gempa (Rumah Gadang dan Omo Hada)

Kecerdasan mitigasi masyarakat Nusantara juga termanifestasi secara brilian dalam rekayasa arsitektur vernakular. Berada di atas cincin api Pasifik (*Ring of Fire*), nenek moyang bangsa Indonesia telah merancang struktur hunian yang mampu beradaptasi dengan guncangan seismik ekstrem. Pujiyanto dan Hidayat (2023) dalam kajian arsitektur zonasinya membedah prinsip-prinsip ketahanan gempa pada *Rumah Gadang* di Minangkabau (Sumatera Barat) dan *Omo Hada* di Nias (Sumatera Utara). Kedua mahakarya arsitektur ini membuktikan bahwa mitigasi struktural tidak selalu identik dengan penggunaan beton bertulang dan baja, melainkan dapat dicapai melalui pemahaman mendalam terhadap sifat material kayu dan mekanika gaya.

Rumah Gadang dirancang dengan prinsip fleksibilitas dan peredaman energi. Pujiyanto dan Hidayat (2023) menjelaskan bahwa struktur bangunan ini tidak menggunakan paku besi yang kaku, melainkan menggunakan sistem sambungan pasak kayu (*sistem ikat*). Ketika gempa terjadi, sambungan ini memungkinkan bangunan untuk bergoyang secara elastis mengikuti arah rambatan gelombang seismik tanpa mengalami patah atau keruntuhan struktural. Selain itu, tiang-tiang utama *Rumah Gadang* tidak ditanam ke dalam tanah, melainkan diletakkan di atas batu pipih yang berfungsi sebagai *base isolator* (peredam dasar) alami, meminimalisasi transfer energi guncangan dari tanah ke struktur bangunan di atasnya.

Prinsip serupa juga ditemukan pada *Omo Hada* di Pulau Nias, sebuah wilayah dengan riwayat gempa *megathrust* yang destruktif. Struktur *Omo Hada* ditopang oleh tiang-tiang kayu masif yang disusun secara diagonal dan saling menyilang, menciptakan sistem *bracing* yang sangat kokoh untuk menahan gaya lateral akibat gempa. Pujiyanto dan Hidayat (2023) mencatat bahwa pasca-gempa besar Nias tahun 2005, mayoritas

bangunan beton modern mengalami kerusakan parah, sementara struktur *Omo Hada* tetap berdiri tegak. Fakta empiris ini memberikan kritik tajam terhadap hegemoni arsitektur modern yang sering kali mengabaikan konteks geologis lokal, sekaligus merekomendasikan adopsi prinsip-prinsip mekanika vernakular ini ke dalam standar *building code* kontemporer di kawasan rawan gempa.

3.2.4 Sistem Pertanian Tradisional dalam Menghadapi Kekeringan

Selain ancaman geologis, kearifan lokal juga memberikan solusi adaptif terhadap bencana hidrometeorologis yang berjalan lambat (*slow-onset disaster*) seperti kekeringan ekstrem. Masyarakat agraris tradisional telah mengembangkan sistem kalender musim dan tata kelola air yang sangat presisi untuk menjamin ketahanan pangan. Di Jawa, sistem *Pranata Mangsa* digunakan sebagai pedoman astronomis dan klimatologis untuk menentukan waktu tanam, jenis komoditas, dan pola rotasi tanaman. Sistem ini didasarkan pada observasi pergerakan rasi bintang, arah angin, dan perilaku satwa, yang memungkinkan petani untuk menghindari gagal panen akibat anomali cuaca jauh sebelum teknologi prakiraan cuaca satelit ditemukan.

Di Bali, sistem *Subak* merepresentasikan puncak kecerdasan institusional dalam manajemen sumber daya air. *Subak* bukan sekadar jaringan irigasi fisik, melainkan sebuah organisasi sosio-religius yang mengatur distribusi air secara berkeadilan berdasarkan filosofi *Tri Hita Karana* (harmoni antara manusia, alam, dan Tuhan). Dalam menghadapi musim kemarau panjang, dewan *Subak* memiliki otoritas untuk menetapkan pola gilir giring air dan mewajibkan penanaman palawija yang hemat air. Mekanisme pengambilan keputusan yang demokratis dan berbasis spiritualitas ini mencegah terjadinya konflik horizontal perebutan air, sekaligus memastikan bahwa seluruh anggota komunitas dapat bertahan melewati periode krisis hidrologis.

Ketangguhan sistem pertanian tradisional ini bersumber pada prinsip diversifikasi dan adaptasi, bukan dominasi terhadap alam. Berbeda dengan sistem pertanian monokultur modern yang sangat rentan terhadap guncangan iklim, praktik tradisional mengedepankan penanaman varietas lokal yang memiliki daya tahan tinggi terhadap stres lingkungan.

Pengakuan terhadap efektivitas sistem seperti *Pranata Mangsa* dan *Subak* menunjukkan bahwa mitigasi bencana kekeringan tidak cukup hanya dengan membangun waduk atau membagikan pompa air, melainkan harus merevitalisasi kelembagaan agraris lokal yang telah terbukti mampu menjaga keseimbangan neraca air dan ketahanan pangan selama berabad-abad.

3.3 Modal Sosial dan Solidaritas Komunitas

Dalam diskursus sosiologi kebencanaan, modal sosial (*social capital*) diakui sebagai infrastruktur tak kasat mata yang menjadi penentu utama kelangsungan hidup suatu komunitas saat menghadapi krisis. Berbeda dengan modal fisik berupa tanggul atau sirene peringatan yang dapat hancur oleh guncangan alam, modal sosial bermukim dalam jaringan relasi antarmanusia, norma resiprositas, dan tingkat kepercayaan kolektif. Ketika infrastruktur negara lumpuh dan bantuan dari luar belum dapat menembus zona isolasi bencana, modal sosial inilah yang secara organik bertransformasi menjadi sistem tanggap darurat pertama (*first responder*) yang paling efektif dan responsif di tingkat akar rumput.

Solidaritas komunitas yang lahir dari rahim modal sosial ini tidak terbentuk secara instan, melainkan merupakan hasil dari akumulasi interaksi historis dan kultural yang panjang. Di Indonesia, ikatan komunal ini termanifestasi dalam berbagai pranata sosial tradisional yang mengedepankan kepentingan kolektif di atas egoisme individual. Pemahaman yang mendalam terhadap dinamika modal sosial ini sangat krusial bagi para perumus kebijakan, karena intervensi mitigasi yang mengabaikan atau bahkan merusak tatanan sosial lokal justru akan menciptakan kerentanan baru. Oleh karena itu, strategi pengurangan risiko bencana harus diposisikan sebagai upaya untuk memperkuat, bukan menggantikan, jaring pengaman sosial yang telah eksis di tengah masyarakat.



Gambar 3.2: Skema Jaringan Modal Sosial dalam Komunitas Tradisional dalam Peringatan Dini Trw Berbasis Futuru

Gambar 3.2: Skema Jaringan Modal Sosial dalam Komunitas Tradisional, mengilustrasikan interkoneksi antara kepercayaan warga, peran tokoh adat, dan budaya gotong royong sebagai fondasi resiliensi lokal.

3.3.1 Budaya Gotong Royong sebagai Respon Cepat Bencana

Gotong royong merupakan manifestasi paling otentik dari modal sosial di Nusantara, yang merepresentasikan etos kerja komunal tanpa pamrih transaksional. Arifin dan Arifin (2019) dalam kajiannya mengenai kesiapsiagaan masyarakat menghadapi tanah longsor menegaskan bahwa gotong royong berfungsi sebagai mekanisme respons cepat yang sangat efisien. Dalam situasi prabencana, budaya ini terlihat dari pengerahan tenaga massal secara sukarela untuk membersihkan saluran air, memperkuat tebing, atau membangun jalur evakuasi darurat. Mobilisasi sumber daya komunal ini memotong rantai birokrasi pengadaan proyek yang sering kali lambat, memungkinkan komunitas untuk melakukan mitigasi struktural skala kecil secara mandiri dan seketika.

Ketika bencana benar-benar terjadi, gotong royong bertransformasi menjadi mesin penyelamatan dan pemulihan yang tangguh. Tanpa menunggu komando dari otoritas formal, masyarakat secara refleksif akan saling membantu mengevakuasi kelompok rentan, mendirikan dapur umum darurat, dan membagikan logistik yang tersisa. Arifin dan Arifin (2019) menyoroti bahwa resiprositas (timbal balik) yang terkandung dalam

gotong royong menciptakan jaring pengaman psikologis; setiap individu merasa yakin bahwa mereka tidak akan ditinggalkan sendirian saat krisis melanda. Keyakinan ini secara signifikan mereduksi tingkat kepanikan massal dan mencegah terjadinya anomie atau penjarahan sumber daya yang sering terjadi di masyarakat dengan kohesi sosial yang rendah.

Lebih jauh, budaya gotong royong juga mempercepat fase rehabilitasi dan rekonstruksi pasca-bencana. Pembangunan kembali hunian yang hancur sering kali dilakukan secara bergilir oleh warga desa melalui sistem *sambatan* atau pertukaran tenaga kerja. Pendekatan komunal ini tidak hanya menekan biaya pemulihan secara drastis, tetapi juga berfungsi sebagai terapi trauma kolektif (*collective trauma healing*). Melalui aktivitas bekerja bersama, masyarakat saling menguatkan mental dan merajut kembali harapan yang sempat runtuh. Oleh karena itu, kebijakan manajemen bencana modern wajib mengintegrasikan dan memfasilitasi ruang bagi tumbuhnya gotong royong, alih-alih menggantikannya sepenuhnya dengan intervensi kontraktor komersial.

3.3.2 Peran Tokoh Adat dan Pemuka Agama dalam Mobilisasi Massa

Struktur sosial masyarakat tradisional di Indonesia umumnya bersifat paternalistik, di mana figur tokoh adat dan pemuka agama memegang otoritas moral yang sangat dihormati. Mutaqin dan Muslim (2022) mengartikulasikan bahwa dalam situasi krisis yang penuh ketidakpastian, masyarakat cenderung mencari panduan dari figur-figur karismatik ini dibandingkan dari aparat birokrasi formal. Otoritas yang dimiliki oleh tokoh lokal ini tidak bersumber dari legalitas administratif, melainkan dari kedalaman spiritual, penguasaan terhadap kearifan leluhur, dan rekam jejak pengabdian mereka kepada komunitas. Karisma ini menjadikan mereka sebagai agen komunikasi risiko yang paling efektif di tingkat tapak.

Dalam konteks mobilisasi massa saat evakuasi, instruksi yang dikeluarkan oleh pemuka agama atau tetua adat memiliki daya ikat yang jauh lebih kuat daripada bunyi sirene mekanis. Mutaqin dan Muslim (2022) mencatat bahwa ketika peringatan dini tsunami atau erupsi gunung api didiseminasikan melalui pengeras suara masjid oleh seorang kiai, atau melalui kentongan yang dipukul oleh kepala adat, tingkat kepatuhan warga untuk segera meninggalkan zona bahaya meningkat secara drastis.

Tokoh-tokoh ini bertindak sebagai penerjemah (*translator*) yang mendekodekan informasi saintifik dari lembaga pemerintah menjadi bahasa kultural yang mudah dipahami dan dipercayai oleh masyarakat awam, sehingga meminimalisasi keraguan dalam mengambil keputusan di masa *golden time*.

Selain pada fase tanggap darurat, peran tokoh lokal juga sangat krusial dalam fase prabencana, khususnya dalam memediasi potensi konflik antara kebijakan negara dan tradisi masyarakat. Sering kali, program relokasi permukiman dari zona merah bencana mengalami penolakan keras karena masyarakat enggan meninggalkan tanah leluhurnya. Dalam situasi kebuntuan ini, tokoh adat dan agama dapat berperan sebagai jembatan diplomasi. Melalui pendekatan teologis dan kultural, mereka mampu memberikan justifikasi moral bahwa menyelamatkan nyawa (*hifz al-nafs*) adalah prioritas tertinggi yang sejalan dengan ajaran agama dan nilai luhur adat, sehingga proses mitigasi dapat berjalan tanpa memicu resistensi sosial.

3.3.3 Kepercayaan (Trust) dan Norma Sosial dalam Kepatuhan Evakuasi

Kepercayaan (*trust*) merupakan elemen paling fundamental dari modal sosial yang menentukan efektivitas seluruh sistem peringatan dini. Arifin dan Arifin (2019) menegaskan bahwa tanpa adanya kepercayaan, informasi ancaman bencana yang paling akurat sekalipun akan diabaikan oleh publik. Dalam masyarakat tradisional, kepercayaan ini bersifat *bonding* (mengikat ke dalam) antar-sesama warga, dan *linking* (menautkan) terhadap figur otoritas lokal. Ketika sebuah komunitas memiliki tingkat kepercayaan internal yang tinggi, proses verifikasi informasi krisis berjalan sangat cepat melalui jaringan kekerabatan, mencegah penyebaran hoaks yang dapat memicu evakuasi palsu (*false alarm*) atau sebaliknya, sikap apatis yang berujung fatal.

Norma sosial yang hidup di tengah masyarakat bertindak sebagai regulasi informal yang mendisiplinkan perilaku individu saat menghadapi bencana. Mutaqin dan Muslim (2022) menyoroti bahwa kepatuhan terhadap protokol evakuasi sering kali didorong oleh rasa malu (*shame culture*) atau takut dikucilkan dari kelompok jika mereka melanggar kesepakatan komunal. Misalnya, jika tetua adat telah memerintahkan seluruh warga

untuk mengungsi ke bukit, individu yang bersikeras bertahan demi menjaga harta bendanya akan dianggap melanggar norma keselamatan bersama. Tekanan sosial yang positif ini secara efektif memaksa individu untuk menekan egoisme rasionalnya dan memprioritaskan keselamatan kolektif.

Namun, modal kepercayaan ini sangat rentan mengalami erosi jika terjadi inkonsistensi informasi atau kegagalan sistemik dari pihak otoritas. Jika pemerintah berulang kali mengeluarkan peringatan dini yang tidak akurat, masyarakat akan mengalami *trust deficit* (krisis kepercayaan) dan kembali mengandalkan insting atau mitos yang tidak berdasar. Oleh karena itu, merawat kepercayaan publik menuntut transparansi absolut dan pelibatan masyarakat dalam setiap tahapan desain sistem peringatan dini. Ketika masyarakat merasa dilibatkan dan nilai-nilai kultural mereka dihormati, kepercayaan terhadap sistem hibrida (gabungan teknologi dan tradisi) akan mengakar kuat, menjamin tingkat kepatuhan evakuasi yang maksimal saat bencana sesungguhnya terjadi.

3.4 Ancaman Erosi Kearifan Lokal di Era Modern

Meskipun kearifan lokal telah terbukti menjadi perisai kultural yang tangguh dalam menghadapi bencana, eksistensinya kini berada di bawah ancaman kepunahan yang serius. Arus modernisasi, globalisasi, dan penetrasi teknologi digital telah memicu transformasi struktural yang mendisrupsi cara masyarakat tradisional berinteraksi dengan alam dan sesamanya. Erosi pengetahuan lokal ini bukan sekadar hilangnya romantisme masa lalu, melainkan sebuah krisis epistemologis yang secara langsung meningkatkan kerentanan komunitas terhadap ancaman bencana. Ketika memori kolektif tentang cara bertahan hidup memudar, masyarakat kehilangan instrumen mitigasi otonomnya dan menjadi sangat bergantung pada intervensi negara yang sering kali lambat dan terbatas.

Ancaman terhadap kearifan lokal ini bersifat multidimensi, mencakup perubahan demografis akibat urbanisasi, pergeseran gaya hidup yang semakin individualistik, hingga hegemoni sistem pendidikan formal yang meminggirkan muatan lokal. Hidayati dan Suryanto (2024) memperingatkan bahwa jika proses degradasi kultural ini tidak segera diintervensi, Indonesia berisiko mengalami amnesia kebencanaan (*disaster*

amnesia) secara massal. Oleh karena itu, upaya preservasi kearifan lokal tidak boleh lagi dipandang sebagai tanggung jawab eksklusif budayawan atau antropolog, melainkan harus menjadi agenda strategis dalam kebijakan keamanan nasional dan pengurangan risiko bencana.

3.4.1 Dampak Urbanisasi dan Perubahan Gaya Hidup

Urbanisasi yang masif telah mengubah lanskap demografis dan sosiologis pedesaan secara drastis. Migrasi generasi muda dari desa ke kota demi mencari peluang ekonomi menyebabkan terputusnya rantai transmisi pengetahuan tradisional. Hidayati dan Suryanto (2024) mencatat bahwa desa-desa di kawasan rawan bencana kini sering kali hanya dihuni oleh kelompok lansia dan anak-anak, yang secara fisik merupakan kelompok paling rentan. Ketidakhadiran pemuda yang biasanya menjadi motor penggerak gotong royong dan evakuasi fisik menyebabkan kapasitas respons komunal menurun tajam. Lebih jauh, ketika para pemuda ini kembali ke desa, mereka sering kali telah teralienasi dari nilai-nilai kultural leluhurnya dan tidak lagi memahami cara membaca tanda-tanda alam.

Perubahan gaya hidup yang dipicu oleh penetrasi kapitalisme dan budaya konsumerisme juga menggerus fondasi modal sosial. Nilai-nilai komunal yang mengedepankan harmoni dan resiprositas perlahan digantikan oleh rasionalitas ekonomi yang individualistis. Praktik gotong royong dalam membangun rumah atau membersihkan lingkungan mulai dikomersialisasi menjadi sistem upah. Akibatnya, ikatan emosional antar-warga merenggang, dan kepedulian terhadap keselamatan tetangga saat terjadi krisis menjadi berkurang. Pergeseran dari masyarakat paguyuban (*Gemeinschaft*) menuju patembayan (*Gesellschaft*) ini menciptakan kerentanan sosial baru, di mana individu harus menghadapi bencana secara terisolasi tanpa dukungan jaring pengaman komunal.

Dampak modernisasi juga terlihat jelas pada transformasi arsitektur permukiman. Rumah-rumah vernakular yang terbukti tahan gempa, seperti *Rumah Gadang* atau rumah panggung kayu, semakin ditinggalkan karena dianggap kuno dan merepresentasikan status sosial yang rendah. Masyarakat berlomba-lomba membangun rumah beton bertulang bata (*masonry*) yang dianggap sebagai simbol kemajuan dan prestise. Sayangnya, pembangunan rumah modern ini sering kali dilakukan tanpa

pemahaman yang memadai mengenai standar *building code* tahan gempa. Akibatnya, perubahan gaya hidup arsitektural ini justru menciptakan "bom waktu" kerentanan struktural, di mana bangunan yang seharusnya melindungi malah menjadi agen pembunuh utama saat terjadi guncangan seismik.

3.4.2 Dominasi Pengetahuan Barat vs Pengetahuan Tradisional

Erosi kearifan lokal juga diperparah oleh hegemoni epistemologis sains Barat dalam diskursus manajemen bencana global dan nasional. Šakić Trogrlić et al. (2022) mengkritisi bahwa kerangka kerja pengurangan risiko bencana kontemporer sering kali memposisikan sains positivistik sebagai satu-satunya sumber kebenaran yang valid dan objektif. Dalam paradigma ini, pengetahuan tradisional kerap direduksi, dimarginalisasi, atau bahkan dilabeli sebagai takhayul yang irasional dan menghambat kemajuan. Dominasi ini tercermin dalam kebijakan publik yang sangat teknosentris, di mana anggaran negara difokuskan secara eksklusif untuk pengadaan sensor digital dan pemodelan komputer, sementara inisiatif mitigasi berbasis budaya lokal tidak mendapatkan rekognisi maupun dukungan finansial.

Ketimpangan relasi kuasa antara pengetahuan Barat dan tradisional ini menciptakan alienasi di tingkat masyarakat akar rumput. Ketika pemerintah memaksakan implementasi teknologi peringatan dini tanpa mengontekstualisasikannya dengan kosmologi lokal, yang terjadi adalah penolakan diam-diam atau vandalisme terhadap infrastruktur tersebut. Šakić Trogrlić et al. (2022) menegaskan bahwa masyarakat tidak akan mematuhi sistem yang tidak mereka pahami secara kultural. Hegemoni sains modern yang arogan ini secara ironis justru melemahkan efektivitas mitigasi itu sendiri, karena ia gagal memobilisasi partisipasi organik dari komunitas yang seharusnya dilindungi.

Untuk mengatasi ketimpangan ini, diperlukan dekolonisasi studi kebencanaan melalui pendekatan integratif yang setara. Pengetahuan tradisional dan sains modern tidak boleh dipertentangkan secara biner, melainkan harus didialogkan untuk saling melengkapi (*complementary*). Sains modern dapat memberikan presisi data mengenai magnitudo dan waktu tiba ancaman, sementara kearifan lokal menyediakan instrumen

komunikasi risiko yang paling efektif untuk memicu tindakan evakuasi di tingkat tapak. Pengakuan secara legal dan epistemologis terhadap validitas pengetahuan lokal adalah prasyarat mutlak untuk membangun sistem peringatan dini hibrida yang tangguh, inklusif, dan berakar kuat pada realitas sosiokultural masyarakat Indonesia.

3.4.3 Upaya Dokumentasi dan Preservasi Budaya Mitigasi

Menghadapi ancaman kepunahan kearifan lokal, upaya dokumentasi dan preservasi menjadi sebuah urgensi akademis dan kebijakan yang tidak dapat ditunda. Hidayati dan Suryanto (2024) menekankan bahwa dokumentasi tidak boleh hanya berhenti pada pencatatan pasif di perpustakaan atau museum, melainkan harus bertransformasi menjadi preservasi aktif yang menghidupkan kembali praktik-praktik tersebut di tengah masyarakat. Langkah pertama yang krusial adalah melakukan pemetaan dan inventarisasi komprehensif terhadap seluruh bentuk kearifan lokal mitigasi bencana di Nusantara, mulai dari cerita rakyat, arsitektur vernakular, hingga sistem kalender tradisional. Proses ini menuntut kolaborasi lintas disiplin antara antropolog, ahli geologi, dan komunitas lokal sebagai pemilik sah pengetahuan tersebut.

Digitalisasi menawarkan peluang besar untuk menyelamatkan tradisi lisan dari kepunahan. Perekaman audio-visual terhadap nyanyian *Smong*, wawancara mendalam dengan tetua adat mengenai ritual *Cok Bakal*, dan pemodelan 3D terhadap struktur *Omo Hada* dapat menjadi arsip digital yang dapat diakses oleh generasi mendatang. Namun, Hidayati dan Suryanto (2024) mengingatkan bahwa digitalisasi hanyalah alat, bukan tujuan akhir. Tantangan metodologis terbesar adalah bagaimana mendokumentasikan *tacit knowledge* (pengetahuan tak terucapkan) yang hanya bisa dipahami melalui pengalaman langsung. Oleh karena itu, dokumentasi harus dibarengi dengan program inkubasi budaya, di mana generasi muda difasilitasi untuk mempraktikkan langsung kearifan tersebut di bawah bimbingan para maestro lokal.

Selain itu, preservasi budaya mitigasi membutuhkan perlindungan hak kekayaan intelektual komunal. Negara harus hadir untuk memastikan bahwa pengetahuan tradisional ini tidak dieksploitasi atau dikomodifikasi secara sepihak oleh pihak luar tanpa memberikan manfaat bagi komunitas

asalnya. Pemberian insentif kepada desa-desa yang berhasil melestarikan arsitektur tahan gempa atau menjaga kawasan hutan adat merupakan bentuk afirmasi kebijakan yang konkret. Melalui upaya dokumentasi yang sistematis dan preservasi yang partisipatif, kearifan lokal dapat diselamatkan dari jurang kepunahan dan direvitalisasi menjadi aset strategis dalam membangun ketahanan nasional.

3.4.4 Relevansi Kearifan Lokal dalam Kurikulum Pendidikan Modern

Institusi pendidikan formal memiliki peran ganda yang paradoks: ia dapat menjadi agen utama yang mencerabut generasi muda dari akar budayanya, namun sekaligus memiliki potensi terbesar sebagai medium preservasi kearifan lokal yang paling sistematis. Hidayati dan Suryanto (2024) mengadvokasi perlunya reformasi kurikulum pendidikan kebencanaan yang selama ini terlalu bias pada sains Barat. Integrasi kearifan lokal ke dalam kurikulum modern bukan berarti menolak ilmu pengetahuan alam, melainkan memperkaya pedagogi dengan konteks ekologis dan historis yang relevan dengan lingkungan tempat siswa tersebut tinggal. Pendidikan yang kontekstual ini akan menumbuhkan *sense of place* (rasa memiliki terhadap tempat) dan kesadaran kritis terhadap ancaman di sekitarnya.

Relevansi kearifan lokal dalam kurikulum dapat dioperasionalkan melalui pendekatan muatan lokal atau integrasi lintas mata pelajaran. Misalnya, fenomena *Smong* dapat diajarkan dalam pelajaran Sejarah dan Bahasa Daerah, sementara prinsip mekanika *Rumah Gadang* diintegrasikan ke dalam pelajaran Fisika terapan. Hidayati dan Suryanto (2024) menyoroti bahwa strategi pedagogis ini harus bergeser dari metode hafalan tekstual menuju *experiential learning* (pembelajaran berbasis pengalaman). Siswa diajak untuk berdialog langsung dengan tokoh adat, melakukan observasi lapangan terhadap tanda-tanda alam, dan menyimulasikan evakuasi berbasis tradisi lokal. Melalui pengalaman empiris ini, kearifan lokal tidak lagi dipandang sebagai dongeng masa lalu, melainkan sebagai ilmu pengetahuan terapan yang rasional.

Lebih jauh, pelembagaan kearifan lokal dalam pendidikan modern berfungsi sebagai jembatan antargenerasi yang merekatkan kembali ikatan kultural yang sempat terputus. Ketika sekolah secara resmi

mengakui dan mengajarkan pengetahuan tradisional, hal ini memberikan legitimasi akademis yang meningkatkan kebanggaan generasi muda terhadap warisan leluhurnya. Pada akhirnya, kurikulum pendidikan yang berakar pada kearifan lokal akan melahirkan generasi penerus yang tidak hanya melek teknologi, tetapi juga memiliki ketangguhan kultural dan etika lingkungan yang kuat, menjadikan mereka agen-agen resiliensi yang sejati di era krisis iklim global.

Tabel 3.1 Analisis Komparatif Epistemologi Sains Modern dan Kearifan Lokal dalam Mitigasi Bencana

Dimensi Analisis	Sains Modern / Teknosentris	Kearifan Lokal / Tradisional
Ontologi & Relasi Alam	Antroposentris; alam sebagai objek yang dapat diprediksi dan dikendalikan.	Ekosentris; manusia dan alam adalah kesatuan kosmis yang harus harmonis.
Metodologi Pengetahuan	Positivistik, kuantitatif, berbasis instrumen sensor dan pemodelan matematis.	Fenomenologis, empiris-observasional, diwariskan lintas generasi.
Medium Transmisi	Jurnal akademis, buku teks, protokol birokrasi tertulis, aplikasi digital.	Tradisi lisan (cerita rakyat, syair), ritual adat, dan praktik keseharian.
Mekanisme Peringatan	Sirene mekanis, SMS <i>blast</i> , notifikasi aplikasi terpusat.	Kentongan, bedug, teriakan komunal, pembacaan perilaku satwa.
Kekuatan Utama	Presisi data magnitudo, jangkauan makro, dan standardisasi operasional.	Kecepatan respons di tingkat tapak, legitimasi kultural, dan kohesi sosial.
Kelemahan Utama	Rentan gagal fungsi saat infrastruktur listrik/sinyal lumpuh; <i>blind spot</i>	Terancam punah oleh modernisasi; sulit diskalakan ke wilayah

	kultural.	dengan budaya berbeda.
--	-----------	------------------------

BAB 4

PROFIL RISIKO TSUNAMI DI KAWASAN PESISIR INDONESIA

Pendahuluan

Kawasan pesisir Indonesia merepresentasikan salah satu lanskap geografis paling dinamis sekaligus paling rentan di dunia, di mana konsentrasi populasi dan urat nadi ekonomi nasional berhadapan langsung dengan ancaman katastropik dari lautan. Secara teoretis, profil risiko tsunami di wilayah ini tidak dapat direduksi semata-mata sebagai fungsi dari probabilitas kejadian geologis, melainkan harus dikonseptualisasikan sebagai hasil interaksi kompleks antara bahaya fisik (*physical hazard*) dan kerentanan sosio-demografis (*socio-demographic vulnerability*). Bab ini memetakan secara komprehensif anatomi risiko tsunami di Nusantara, mengintegrasikan analisis spasial mengenai mekanisme pembangkit gelombang pembunuh-baik yang bersumber dari patahan tektonik, erupsi vulkanik, maupun longsor bawah laut-dengan evaluasi kritis terhadap kapasitas adaptif masyarakat yang bermukim di sepanjang garis pantai. Melalui pendekatan multidisipliner, pembahasan ini bertujuan untuk mendekonstruksi narasi kerentanan pesisir menjadi parameter-parameter terukur yang dapat diintervensi oleh kebijakan publik.

Meskipun literatur mengenai oseanografi dan seismologi telah banyak memodelkan pergerakan tsunami, masih terdapat *research gap* yang signifikan terkait integrasi antara pemetaan bahaya fisik dengan realitas kerentanan sosial-ekonomi di tingkat mikro. Banyak studi terdahulu cenderung mendikotomikan analisis bahaya (*hazard analysis*) yang bersifat kuantitatif-teknokratis dengan analisis kerentanan (*vulnerability analysis*) yang bersifat kualitatif-sosiologis. Celah akademis ini mengakibatkan kebijakan tata ruang dan desain sistem peringatan dini sering kali gagal mengakomodasi karakteristik demografis spesifik, seperti distribusi kelompok rentan atau tingkat ketergantungan ekonomi masyarakat pada sumber daya laut. Tanpa adanya sintesis epistemologis yang menjembatani kedua dimensi ini, strategi mitigasi akan cenderung bersifat

elitis, tidak tepat sasaran, dan gagal memberikan perlindungan substansial bagi komunitas pesisir yang paling terancam.

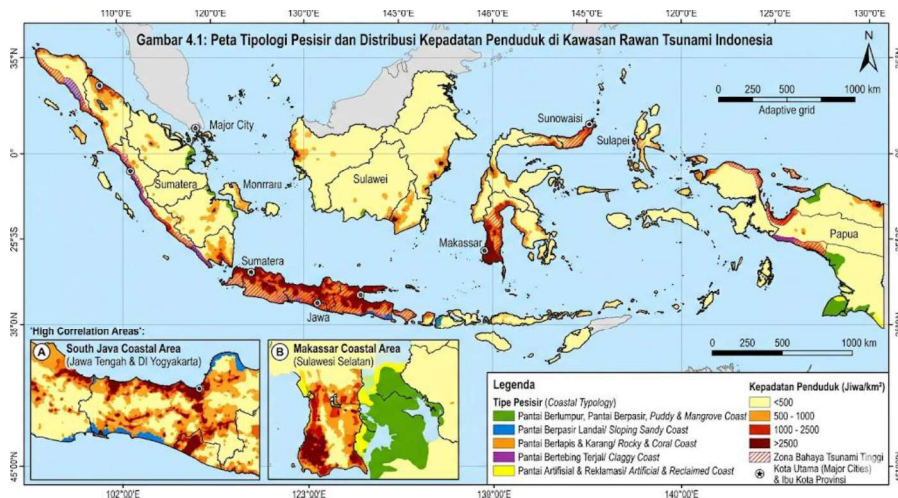
Berangkat dari identifikasi celah penelitian tersebut, bab ini dirumuskan untuk menjawab tiga pertanyaan penelitian utama. Pertama, bagaimana karakteristik geografis dan profil demografis kawasan pesisir Indonesia membentuk tipologi kerentanan yang spesifik terhadap ancaman tsunami? Kedua, bagaimana kompleksitas mekanisme pembangkit tsunami-terutama anomali seperti longsor bawah laut dan aktivitas vulkanik-mendistorsi efektivitas sistem peringatan dini konvensional? Ketiga, pelajaran strategis apa yang dapat diekstraksi dari evaluasi dampak tsunami historis (seperti Aceh, Palu, dan Selat Sunda) untuk merekonstruksi kebijakan tata ruang yang berperspektif pengurangan risiko bencana? Melalui elaborasi atas pertanyaan-pertanyaan ini, bab ini diharapkan mampu menyajikan fondasi analitis yang solid bagi perancangan tata kelola pesisir yang tangguh dan berkelanjutan.

4.1 Karakteristik Geografis dan Demografis Wilayah Pesisir

Kawasan pesisir Indonesia, yang membentang lebih dari 99.000 kilometer, merupakan zona transisi ekologis yang memiliki daya tarik ekonomi luar biasa, namun sekaligus menyimpan potensi destruksi yang masif. Secara geografis, morfologi pantai di Nusantara sangat bervariasi, mulai dari pantai landai berpasir yang rentan terhadap inundasi (genangan) jauh ke daratan, hingga tebing curam yang dapat memantulkan dan mengamplifikasi energi gelombang. Variasi topografis ini menentukan tingkat paparan (*exposure*) suatu wilayah terhadap terjangan tsunami. Oleh karena itu, pemahaman yang presisi mengenai batimetri laut dangkal dan kontur daratan pesisir merupakan prasyarat mutlak dalam memodelkan skenario rambatan gelombang dan merancang infrastruktur pelindung pantai.

Di sisi lain, daya tarik sumber daya maritim telah memicu konsentrasi demografis yang sangat padat di zona pesisir. Pertumbuhan pusat-pusat ekonomi, pelabuhan, dan pariwisata pesisir menciptakan paradoks kerentanan: semakin tinggi nilai investasi dan jumlah populasi di suatu kawasan, semakin besar pula akumulasi risiko bencana yang

ditanggungnya. Karakteristik demografis ini menuntut pendekatan mitigasi yang tidak hanya berfokus pada rekayasa fisik, tetapi juga pada rekayasa sosial. Analisis kerentanan harus membedah struktur populasi, mengidentifikasi kantong-kantong kemiskinan, dan memetakan distribusi kelompok rentan guna memastikan bahwa skenario evakuasi yang dirancang benar-benar inklusif dan aplikatif di lapangan.



Gambar 4.1: Peta Tipologi Pesisir dan Distribusi Kepadatan Penduduk di Kawasan Rawan Tsunami Indonesia, mengilustrasikan korelasi spasial antara zona bahaya tinggi dengan konsentrasi kerentanan demografis.

4.1.1 Klasifikasi Zona Pesisir Berdasarkan Potensi Tsunami

Klasifikasi zona pesisir berdasarkan tingkat ancaman tsunami merupakan instrumen fundamental dalam perencanaan tata ruang dan manajemen risiko bencana. Badan Nasional Penanggulangan Bencana [BNPB] (2023) dalam kajian risiko nasionalnya membagi kawasan pesisir Indonesia ke dalam beberapa tipologi zonasi berdasarkan probabilitas kejadian, estimasi ketinggian gelombang (*run-up*), dan jarak dari sumber pembangkit gempa (*episentrum*). Zona risiko tinggi umumnya terkonsentrasi di pesisir barat Sumatera, selatan Jawa, Bali, Nusa Tenggara, hingga kawasan timur seperti Maluku dan Papua, yang berhadapan langsung dengan zona subduksi *megathrust*. Di kawasan ini, waktu tiba gelombang (*estimated time of arrival*) sangat singkat, sering

kali kurang dari 30 menit, sehingga menuntut sistem peringatan dini yang sangat responsif dan jalur evakuasi vertikal yang mudah diakses.

Selain zona yang berhadapan langsung dengan palung subduksi, klasifikasi ini juga mengidentifikasi zona pesisir yang rentan terhadap tsunami lokal akibat patahan aktif di laut dangkal atau selat sempit. BNPB (2023) menyoroti bahwa kawasan seperti Selat Makassar, Laut Banda, dan perairan utara Bali-Nusa Tenggara memiliki karakteristik batimetri yang kompleks, di mana patahan naik (*thrust fault*) atau patahan geser (*strike-slip*) dapat memicu perpindahan massa air secara tiba-tiba. Pada zona ini, ancaman tsunami sering kali bersifat *near-field* (jarak dekat), di mana guncangan gempa itu sendiri merupakan peringatan dini alami yang paling valid. Klasifikasi zonasi ini mengharuskan pemerintah daerah untuk mengkalibrasi ulang standar infrastruktur bangunan di sempadan pantai agar mampu menahan gaya hidrodinamis dari terjangan air laut.

Lebih jauh, klasifikasi zona pesisir juga harus mempertimbangkan morfologi daratan yang memengaruhi jarak inundasi (genangan) tsunami. Pantai dengan topografi landai dan ketiadaan penghalang alami (seperti bukit pasir atau hutan mangrove) memiliki tingkat kerentanan spasial yang jauh lebih tinggi, karena gelombang dapat merangsek masuk hingga beberapa kilometer ke pusat permukiman. Sebaliknya, pesisir dengan topografi berbukit atau tebing karang mungkin terlindungi dari inundasi jauh, namun rentan terhadap amplifikasi tinggi gelombang di teluk-selat sempit (*funneling effect*). Pemetaan zonasi yang presisi ini menjadi basis legal bagi pemerintah untuk menetapkan batas sempadan pantai, merumuskan *building code* spesifik, dan melarang pembangunan fasilitas vital (seperti rumah sakit atau reaktor listrik) di zona merah tsunami.

4.1.2 Profil Kepadatan Penduduk dan Distribusi Kelompok Rentan

Dinamika demografis di kawasan pesisir Indonesia ditandai oleh tingkat kepadatan penduduk yang secara signifikan melampaui rata-rata kepadatan nasional. Kusuma dan Susanto (2022) mengartikulasikan bahwa pesisir selatan Jawa, misalnya, telah bertransformasi menjadi magnet urbanisasi akibat pesatnya pertumbuhan sektor pariwisata, perikanan tangkap, dan industri maritim. Konsentrasi massa di zona bahaya ini menciptakan tantangan logistik dan operasional yang luar biasa masif

ketika skenario evakuasi darurat harus dieksekusi. Kepadatan bangunan yang tidak tertata, jalan-jalan lingkungan yang sempit, dan minimnya ruang terbuka publik (titik kumpul) berpotensi memicu *bottleneck* (kemacetan fatal) saat ribuan warga berusaha melarikan diri secara serentak dari kejaran gelombang tsunami.

Di balik angka kepadatan tersebut, tersimpan realitas distribusi kelompok rentan yang sering kali luput dari radar perencanaan mitigasi makro. Kelompok rentan yang secara demografis mencakup anak-anak balita, penduduk lanjut usia (lansia), ibu hamil, dan penyandang disabilitas memiliki keterbatasan mobilitas fisik dan kognitif yang membuat mereka sangat bergantung pada bantuan pihak lain saat krisis terjadi. Kusuma dan Susanto (2022) menyoroti bahwa di banyak desa nelayan tradisional, proporsi lansia dan anak-anak cenderung dominan karena penduduk usia produktif sering kali bermigrasi ke kota atau sedang melaut saat siang hari. Ketimpangan struktur demografis ini secara drastis menurunkan kapasitas evakuasi mandiri komunitas, sehingga meningkatkan probabilitas fatalitas pada kelompok usia ekstrem tersebut.

Oleh karena itu, pemetaan profil demografis tidak boleh hanya berhenti pada agregasi data statistik, melainkan harus diterjemahkan ke dalam peta kerentanan spasial di tingkat rukun tetangga (RT) atau rukun warga (RW). Otoritas kebencanaan lokal wajib memiliki basis data yang presisi mengenai di mana kelompok rentan ini bermukim, sehingga alokasi sumber daya penyelamatan dan penempatan relawan pendamping dapat diprioritaskan secara proporsional. Selain itu, desain infrastruktur evakuasi seperti *shelter* vertikal atau jembatan penyeberangan harus mengadopsi prinsip desain universal (*universal design*) yang ramah terhadap pengguna kursi roda dan lansia. Mengabaikan profil distribusi kelompok rentan ini sama halnya dengan merancang sistem mitigasi yang diskriminatif dan melanggar hak asasi manusia atas keselamatan.

4.1.3 Analisis Kerentanan Sosial-Ekonomi Masyarakat Pesisir

Kerentanan terhadap bencana tsunami tidak hanya ditentukan oleh faktor fisik dan demografis, tetapi sangat dipengaruhi oleh struktur sosial-ekonomi masyarakat yang terpapar. Kusuma dan Susanto (2022) dalam analisisnya menegaskan bahwa kemiskinan struktural merupakan

determinan utama yang memperkuat daya rusak bencana. Masyarakat pesisir, khususnya nelayan skala kecil dan buruh pesisir, sering kali terjebak dalam siklus ekonomi subsisten yang tidak memungkinkan mereka untuk berinvestasi pada mitigasi mandiri, seperti membangun rumah dengan struktur tahan gempa atau membeli asuransi properti. Keterbatasan kapital ini memaksa mereka untuk bermukim di zona sempadan pantai yang paling berisiko, semata-mata demi memangkas biaya operasional dan mendekatkan diri pada sumber mata pencaharian.

Selain kerentanan finansial, tingkat literasi dan akses terhadap informasi juga menjadi indikator krusial dalam analisis kerentanan sosial. Masyarakat dengan tingkat pendidikan formal yang rendah sering kali mengalami kesulitan dalam mendekodekan informasi peringatan dini yang bersifat teknis-saintifik. Kusuma dan Susanto (2022) mencatat bahwa asimetri informasi ini diperparah oleh minimnya penetrasi infrastruktur telekomunikasi di kantong-kantong permukiman pesisir terpencil. Akibatnya, mereka sangat rentan terhadap penyebaran rumor atau hoaks yang memicu kepanikan irasional. Kerentanan sosial ini menuntut adanya intervensi komunikasi risiko yang dikemas dalam bahasa lokal dan disalurkan melalui medium kultural yang relevan dengan keseharian masyarakat pesisir.

Dampak ekonomi pasca-tsunami bagi masyarakat pesisir juga bersifat asimetris dan melumpuhkan. Hancurnya armada perahu, alat tangkap, dan infrastruktur pelelangan ikan tidak hanya menghilangkan aset fisik, tetapi juga memutus rantai pasok ekonomi yang menjadi urat nadi kehidupan mereka. Berbeda dengan sektor formal yang memiliki bantalan finansial, sektor informal pesisir membutuhkan waktu pemulihan (*recovery time*) yang jauh lebih panjang. Oleh karena itu, analisis kerentanan sosial-ekonomi ini harus bermuara pada rekomendasi kebijakan yang mengintegrasikan program pengurangan risiko bencana dengan pengentasan kemiskinan. Diversifikasi mata pencaharian, penyediaan skema kredit mikro pasca-bencana, dan penguatan koperasi nelayan adalah langkah strategis untuk membangun resiliensi ekonomi yang mampu menyerap guncangan krisis katastropik.

4.2 Ancaman Aktivitas Vulkanik dan Tektonik

Secara geologis, posisi Indonesia yang diapit oleh sirkum Pasifik dan sabuk Mediterania menjadikannya sebagai episentrum dari berbagai aktivitas tektonik dan vulkanik global. Ancaman tsunami di Nusantara tidak bersifat tunggal, melainkan memiliki spektrum mekanisme pembangkit yang sangat kompleks. Pemahaman konvensional yang mengasumsikan bahwa tsunami hanya dipicu oleh gempa bumi tektonik dangkal (*shallow crustal earthquake*) telah terbantahkan oleh serangkaian anomali bencana dalam dekade terakhir. Realitas geologis ini memaksa para ilmuwan dan perumus kebijakan untuk merevisi paradigma mitigasi, memperluas cakupan pemantauan, dan mengakui bahwa ancaman mematikan dapat datang dari sumber-sumber yang sebelumnya dianggap memiliki probabilitas rendah.

Kompleksitas mekanisme pembangkit ini membawa implikasi langsung terhadap arsitektur sistem peringatan dini. Ketika tsunami dipicu oleh aktivitas non-tektonik, instrumen seismograf konvensional sering kali gagal mendeteksi anomali tersebut secara tepat waktu, menciptakan *blind spot* (titik buta) yang berakibat fatal bagi masyarakat pesisir. Oleh karena itu, eksplorasi mendalam terhadap berbagai mekanisme pembangkit tsunami dan pemetaan kawasan rawan bencana secara komprehensif merupakan langkah esensial untuk mendesain sistem deteksi multi-parameter yang lebih presisi, adaptif, dan mampu mengantisipasi skenario terburuk (*worst-case scenario*) dari dinamika bumi Nusantara.

4.2.1 Mekanisme Pembangkit Tsunami: Gempa Bumi, Longsor, dan Vulkanik

Mekanisme utama dan paling dominan dalam membangkitkan tsunami di Indonesia adalah gempa bumi tektonik, khususnya yang terjadi di zona subduksi (*megathrust*). Muhari et al. (2021) menjelaskan bahwa ketika lempeng samudra menunjam ke bawah lempeng benua, terjadi akumulasi energi regangan yang masif. Saat batas elastisitas batuan terlampaui, patahan naik (*thrust fault*) terjadi secara tiba-tiba, menyebabkan deformasi (perubahan bentuk) dasar laut secara vertikal. Perpindahan volume air laut dalam skala raksasa inilah yang menciptakan gelombang panjang yang menjalar ke segala arah. Tsunami tektonik ini umumnya memiliki jangkauan rambatan yang sangat luas (*trans-oceanic*) dan

memberikan sedikit waktu jeda (*lead time*) bagi pesisir yang berdekatan dengan episentrum.

Namun, paradigma mitigasi global terguncang ketika dihadapkan pada mekanisme pembangkit non-tektunik, seperti longsoran bawah laut (*submarine landslide*). Muhari et al. (2021) menyoroti bahwa longsoran ini dapat dipicu oleh gempa bumi dengan magnitudo menengah yang secara teoretis tidak memenuhi ambang batas peringatan tsunami, namun guncangannya cukup untuk meruntuhkan sedimen labil di lereng benua atau palung laut yang curam. Runtuhan massa sedimen ini mendorong kolom air di atasnya, menciptakan tsunami lokal yang sangat destruktif dengan waktu tiba yang sangat singkat (kurang dari 5 menit). Karakteristik tsunami akibat longsoran bawah laut ini sangat sulit diprediksi oleh sistem peringatan dini berbasis seismik konvensional, karena energi yang dilepaskan lebih banyak terekam sebagai sinyal frekuensi rendah yang sering kali terabaikan.

Mekanisme ketiga yang tidak kalah mematikan adalah aktivitas vulkanik, khususnya dari gunung api laut atau gunung api pulau (*island arc volcanoes*). Erupsi eksplosif yang menghancurkan sebagian tubuh gunung (kaldera), atau longsoran material vulkanik (flank collapse) ke dalam laut, dapat memindahkan volume air secara instan. Muhari et al. (2021) menegaskan bahwa tsunami vulkanik sering kali terjadi tanpa didahului oleh guncangan gempa tektonik yang dirasakan oleh masyarakat, sehingga menghilangkan fungsi peringatan dini alami. Kompleksitas ketiga mekanisme pembangkit ini menuntut transisi menuju sistem pemantauan hibrida yang mengintegrasikan sensor seismik, *buoy* laut, *tide gauge* (perekam pasang surut), dan observasi visual satelit untuk mendeteksi anomali deformasi secara komprehensif.

4.2.2 Pemetaan Kawasan Rawan Bencana (KRB) Tsunami Nasional

Pemetaan Kawasan Rawan Bencana (KRB) Tsunami merupakan instrumen geospasial yang menerjemahkan probabilitas ancaman geologis menjadi batas-batas zonasi spasial yang dapat diintervensi oleh kebijakan publik. Pratama dan Hidayat (2023) menjelaskan bahwa penyusunan peta KRB modern tidak lagi hanya mengandalkan data historis, melainkan menggunakan pemodelan numerik hidrodinamika yang mensimulasikan

skenario patahan terburuk. Pemodelan ini memperhitungkan variabel batimetri laut, topografi daratan, dan koefisien kekasaran permukaan (seperti tutupan lahan) untuk memprediksi tinggi genangan (*inundation depth*) dan jarak rambatan air ke daratan (*run-up distance*). Hasil dari simulasi ini kemudian diklasifikasikan ke dalam zona bahaya tinggi, sedang, dan rendah.

Di tingkat nasional, BNPB (2023) telah merilis dokumen kajian risiko yang memetakan secara detail wilayah-wilayah pesisir yang berada dalam bayang-bayang zona *megathrust* dan patahan aktif lainnya. Pemetaan ini menjadi dokumen legal yang sangat krusial bagi pemerintah daerah dalam menyusun Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) dan Rencana Detail Tata Ruang (RDTR). Pratama dan Hidayat (2023) menyoroti bahwa peta KRB harus diintegrasikan dengan sistem informasi geografis (SIG) di tingkat kabupaten/kota untuk mengidentifikasi infrastruktur kritis-seperti rumah sakit, sekolah, dan pusat pemerintahan-yang berada di dalam zona merah. Identifikasi spasial ini menjadi dasar bagi pengambilan keputusan terkait relokasi fasilitas vital atau penguatan struktur bangunan (*retrofitting*).

Meskipun teknologi pemetaan telah sangat maju, tantangan terbesar terletak pada diseminasi dan kepatuhan terhadap peta KRB tersebut. Sering kali, peta KRB hanya menjadi dokumen administratif yang tersimpan di laci birokrasi tanpa pernah disosialisasikan secara transparan kepada masyarakat luas. Selain itu, tekanan investasi di sektor pariwisata pesisir kerap kali mengabaikan batas-batas zonasi yang telah ditetapkan dalam peta KRB. Oleh karena itu, peta KRB tsunami harus ditransformasikan menjadi instrumen regulatori yang mengikat secara hukum, di mana setiap penerbitan izin mendirikan bangunan (IMB) di kawasan pesisir wajib melampirkan analisis risiko berbasis peta tersebut, guna mencegah penciptaan kerentanan struktural baru di masa depan.

4.2.3 Studi Kasus Tsunami Signifikan di Indonesia (misal: Aceh, Palu, Selat Sunda)

Sejarah kebencanaan Indonesia diwarnai oleh serangkaian tragedi tsunami yang tidak hanya merenggut ratusan ribu nyawa, tetapi juga merevolusi paradigma ilmu pengetahuan global. Tsunami Aceh pada 26 Desember 2004 merupakan *mega-disaster* tektonik klasik yang dipicu oleh gempa

megathrust bermagnitudo 9.1 di zona subduksi Sunda. Muhari et al. (2021) mencatat bahwa patahan sepanjang lebih dari 1.000 kilometer ini melepaskan energi yang menciptakan gelombang setinggi 30 meter, menyapu pesisir Aceh hingga beberapa kilometer ke daratan. Tragedi ini mengekspos ketiadaan sistem peringatan dini di Samudra Hindia pada saat itu dan menjadi katalisator utama bagi pembangunan *Indonesia Tsunami Early Warning System* (InaTEWS). Pelajaran terbesar dari Aceh adalah urgensi mitigasi struktural dan perlunya edukasi publik mengenai *golden time* evakuasi.

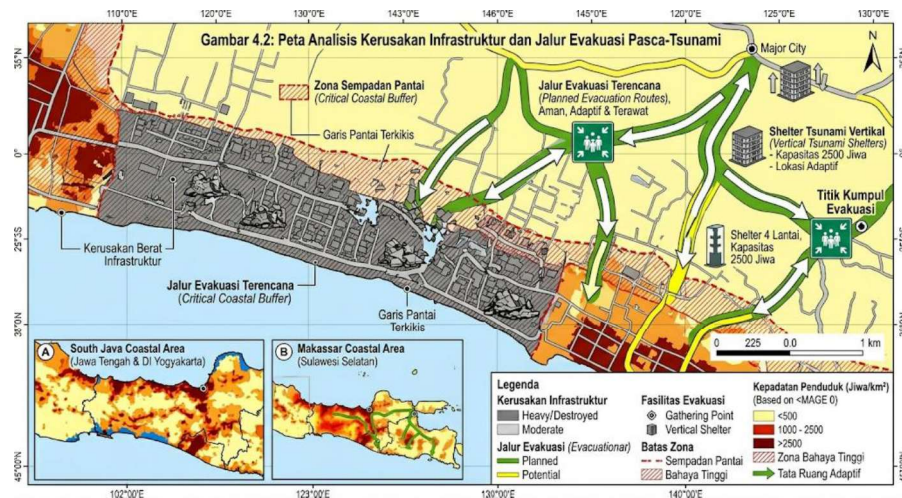
Namun, keyakinan terhadap keandalan InaTEWS terguncang hebat oleh peristiwa Tsunami Palu pada 28 September 2018. Gempa bumi bermagnitudo 7.4 yang terjadi merupakan gempa dengan mekanisme sesar geser (*strike-slip*), yang secara teoretis dianggap tidak memicu tsunami besar. Namun, realitas di lapangan menunjukkan gelombang setinggi 5-7 meter menghantam Teluk Palu hanya dalam waktu kurang dari 10 menit pasca-gempa. Muhari et al. (2021) menjelaskan bahwa tsunami Palu merupakan anomali mematikan yang dipicu oleh longsoran sedimen bawah laut di tebing teluk yang curam akibat guncangan gempa. Kasus Palu membuktikan bahwa sistem peringatan dini berbasis seismik murni memiliki *blind spot* yang fatal terhadap mekanisme longsoran bawah laut, menuntut perlunya integrasi sensor batimetri dan observasi visual di teluk-teluk sempit.

Hanya berselang tiga bulan kemudian, Tsunami Selat Sunda pada 22 Desember 2018 kembali mendisrupsi pemahaman saintifik. Tsunami ini terjadi tanpa didahului oleh guncangan gempa tektonik sama sekali, melainkan dipicu oleh longsoran tubuh (*flank collapse*) Gunung Anak Krakatau akibat erupsi vulkanik. Gelombang menghantam pesisir Banten dan Lampung di tengah malam, merenggut ratusan korban jiwa yang sedang beraktivitas di kawasan wisata. Muhari et al. (2021) menegaskan bahwa kasus Selat Sunda adalah manifestasi nyata dari kelemahan sistem peringatan dini yang hanya berfokus pada ancaman tektonik. Ketiga studi kasus ini-Aceh (tektonik murni), Palu (tektonik memicu longsoran), dan Selat Sunda (vulkanik murni)-memberikan justifikasi empiris yang tak terbantahkan bahwa Indonesia mutlak membutuhkan arsitektur *Multi-Hazard Early Warning System* (MHEWS) yang holistik dan adaptif terhadap segala anomali geologis.

4.3 Evaluasi Dampak Tsunami dan Pembelajaran

Evaluasi pasca-bencana merupakan fase analitis yang sangat krusial dalam siklus manajemen krisis, berfungsi sebagai cermin reflektif untuk mengukur sejauh mana sistem mitigasi yang ada mampu menahan guncangan alam. Dalam konteks ancaman tsunami, evaluasi dampak tidak boleh direduksi sekadar menjadi proses inventarisasi kerugian material dan penghitungan jumlah korban jiwa. Lebih dari itu, evaluasi ini harus didekati sebagai sebuah audit forensik yang komprehensif untuk membongkar titik-titik kegagalan (*points of failure*)-baik pada struktur bangunan, keandalan teknologi peringatan dini, maupun pada respons perilaku masyarakat. Melalui dekonstruksi terhadap dampak destruktif ini, otoritas kebencanaan dapat mengekstraksi pembelajaran empiris yang valid untuk merekalibrasi strategi mitigasi di masa depan.

Pembelajaran dari tragedi masa lalu memberikan landasan epistemologis bagi penerapan prinsip *Build Back Better* (membangun kembali dengan lebih baik) dalam fase rekonstruksi. Tragedi tsunami yang berulang di Indonesia menegaskan bahwa kerentanan bukanlah sebuah kondisi statis, melainkan produk dari akumulasi kelalaian tata ruang dan pengabaian terhadap standar keselamatan. Oleh karena itu, evaluasi dampak harus bermuara pada transformasi kebijakan yang radikal, memastikan bahwa setiap proses rehabilitasi tidak sekadar mengembalikan fungsi infrastruktur ke kondisi semula, tetapi secara substansial meningkatkan kapasitas adaptifnya terhadap skenario bencana yang lebih ekstrem.



Gambar 4.2: Peta Analisis Kerusakan Infrastruktur dan Jalur Evakuasi Pasca-Tsunami, mengilustrasikan dampak destruktif pada zona sempadan pantai dan pentingnya perencanaan tata ruang adaptif.

4.3.1 Analisis Kerusakan Infrastruktur dan Kerugian Ekonomi

Daya hancur tsunami terhadap infrastruktur pesisir sangat bergantung pada interaksi antara gaya hidrodinamis gelombang dan kualitas struktural bangunan yang diterjangnya. Sari dan Rahman (2020) dalam evaluasi pasca-tsunami Palu 2018 mengidentifikasi bahwa kerusakan paling masif terjadi pada bangunan-bangunan komersial dan permukiman yang didirikan tepat di bibir pantai tanpa mengindahkan standar *building code* tahan gempa dan tsunami. Gelombang yang membawa material sedimen dan puing-puing (*debris*) bertindak sebagai pendobrak raksasa yang meluluhlantakkan dinding-dinding bata (*masonry*) yang tidak memiliki struktur pengikat (*bracing*) yang memadai. Analisis forensik ini membuktikan bahwa kegagalan infrastruktur bukan semata-mata karena besarnya energi alam, melainkan akibat defisit pengawasan dalam proses konstruksi.

Selain kerusakan fisik, kerugian ekonomi yang ditimbulkan oleh tsunami memiliki efek domino yang melumpuhkan urat nadi perekonomian regional. Hancurnya infrastruktur kritis seperti pelabuhan, jaringan jalan pesisir, dan gardu induk listrik secara instan menghentikan rantai pasok

logistik. Sari dan Rahman (2020) menyoroti bahwa di sektor informal, kerugian ekonomi dirasakan sangat akut oleh komunitas nelayan yang kehilangan armada tangkap dan fasilitas pelelangan ikan. Kelompok sektor pariwisata pesisir juga menghilangkan sumber Pendapatan Asli Daerah (PAD) secara drastis. Kalkulasi kerugian ekonomi ini sering kali melampaui estimasi awal, karena dampak tidak langsung (*indirect losses*) berupa hilangnya produktivitas dan meningkatnya angka pengangguran struktural membutuhkan waktu bertahun-tahun untuk pulih.

Implikasi dari analisis kerusakan ini menuntut adanya reorientasi dalam investasi infrastruktur publik. Pemerintah tidak dapat lagi memandang pembangunan fasilitas di kawasan pesisir dengan kacamata efisiensi biaya jangka pendek (*least-cost approach*). Setiap proyek infrastruktur strategis harus menginternalisasi biaya mitigasi risiko ke dalam rancangan anggarannya. Penerapan struktur bangunan dengan lantai dasar terbuka (*open ground floor*) yang memungkinkan air lewat tanpa menghancurkan pilar utama, serta penggunaan material yang tahan terhadap korosi air laut, merupakan adaptasi teknis yang wajib dilembagakan. Pada akhirnya, analisis kerugian ekonomi ini memberikan justifikasi rasional bahwa investasi pada infrastruktur tahan bencana jauh lebih murah dibandingkan dengan biaya rekonstruksi pasca-kehancuran total.

4.3.2 Pembelajaran dari Kegagalan dan Keberhasilan Peringatan Dini

Evaluasi terhadap kinerja sistem peringatan dini dalam berbagai kejadian tsunami di Indonesia menyajikan spektrum pembelajaran yang sangat kontras antara keberhasilan dan kegagalan. Pada kasus tsunami Palu dan Selat Sunda, kegagalan sistem peringatan dini menjadi sorotan tajam dunia internasional. Kegagalan ini berakar pada keterbatasan arsitektur teknologi yang saat itu hanya dikalibrasi untuk mendeteksi tsunami akibat gempa tektonik. Ketika tsunami dipicu oleh longsoran bawah laut atau erupsi vulkanik, sensor seismik tidak mampu memberikan peringatan (*trigger*) yang memadai. Pembelajaran pahit ini memaksa komunitas saintifik untuk mengakui adanya *blind spot* (titik buta) dalam sistem observasi tunggal, dan mendorong urgensi transisi menuju *Multi-Hazard Early Warning System* (MHEWS) yang mengintegrasikan data batimetri dan sensor pasang surut secara *real-time*.

Di sisi lain, kegagalan peringatan dini juga sering kali bersumber dari disfungsi pada rantai diseminasi hilir (*the last mile*). Meskipun pusat komando di Jakarta berhasil mengeluarkan peringatan dalam waktu kurang dari lima menit, informasi tersebut kerap terhenti di tingkat birokrasi daerah akibat putusnya jaringan komunikasi atau ketiadaan operator Pusdalops yang bersiaga. Selain itu, sirene peringatan yang rusak akibat vandalisme atau minimnya pemeliharaan menyebabkan masyarakat di zona bahaya tidak menerima notifikasi apa pun. Evaluasi ini menegaskan bahwa kecanggihan algoritma di pusat data tidak akan memiliki nilai penyelamatan jika tidak ditopang oleh redundansi infrastruktur komunikasi dan keandalan instrumen peringatan di tingkat tapak.

Namun demikian, sejarah juga mencatat keberhasilan evakuasi mandiri yang didorong oleh literasi kultural, seperti fenomena *Smong* di Simeulue. Keberhasilan ini memberikan pembelajaran fundamental bahwa sistem peringatan dini yang paling tangguh adalah yang mengawinkan teknologi modern dengan kearifan lokal. Ketika teknologi gagal berfungsi akibat guncangan gempa, memori kolektif dan edukasi prabencana mengambil alih peran sebagai komando penyelamatan. Oleh karena itu, evaluasi kinerja peringatan dini tidak boleh hanya berfokus pada audit perangkat keras (*hardware*), melainkan harus mencakup audit terhadap kapasitas kognitif masyarakat dalam merespons anomali alam secara refleksif dan terorganisir.

4.3.3 Rekonstruksi dan Rehabilitasi Pasca-Tsunami

Fase rekonstruksi dan rehabilitasi pasca-tsunami merupakan momentum kritis untuk memperbaiki kesalahan tata ruang masa lalu dan membangun kembali fondasi kehidupan masyarakat yang lebih tangguh. Sari dan Rahman (2020) menekankan bahwa prinsip *Build Back Better* (BBB) harus menjadi filosofi utama dalam setiap program pemulihan. Penerapan BBB menuntut agar pembangunan kembali permukiman dan infrastruktur tidak dilakukan di zona merah yang telah terbukti hancur, melainkan direlokasi ke area yang lebih aman dengan elevasi yang memadai. Proses ini membutuhkan ketegasan politik dari pemerintah daerah untuk tidak berkompromi dengan tekanan ekonomi yang sering kali mendesak agar

kawasan pesisir segera dibuka kembali untuk aktivitas komersial tanpa evaluasi risiko yang ketat.

Namun, proses relokasi permukiman sering kali berbenturan dengan resistensi sosial yang kuat dari masyarakat terdampak. Komunitas nelayan umumnya menolak dipindahkan jauh dari garis pantai karena hal tersebut akan memutus akses mereka terhadap sumber mata pencaharian utama. Sari dan Rahman (2020) mencatat bahwa pendekatan rekonstruksi yang bersifat *top-down* dan mengabaikan dimensi sosiologis ini kerap berujung pada terbengkalainya hunian tetap (*huntap*) yang dibangun oleh pemerintah. Oleh karena itu, rehabilitasi pasca-bencana harus dilakukan melalui pendekatan partisipatif, di mana masyarakat dilibatkan sejak fase perencanaan desain rumah hingga penentuan lokasi, guna memastikan bahwa infrastruktur baru tersebut sesuai dengan kebutuhan kultural dan ekonomi mereka.

Selain pemulihan fisik, rehabilitasi pasca-tsunami juga harus mencakup pemulihan psikososial dan ekonomi. Trauma kolektif akibat kehilangan anggota keluarga dan harta benda membutuhkan pendampingan psikologis jangka panjang agar masyarakat dapat kembali berfungsi secara normal. Di sektor ekonomi, pemerintah perlu memfasilitasi program padat karya dalam proses pembersihan puing (*cash for work*) untuk menyuntikkan likuiditas ke tingkat akar rumput. Pemberian modal usaha, perbaikan ekosistem pesisir (seperti terumbu karang dan mangrove), serta revitalisasi koperasi nelayan merupakan langkah-langkah strategis untuk memastikan bahwa fase rekonstruksi tidak hanya menghasilkan bangunan fisik yang megah, tetapi juga memulihkan martabat dan kemandirian ekonomi para penyintas.

4.4 Kebijakan Tata Ruang Berbasis Risiko Bencana

Kebijakan tata ruang merupakan instrumen regulatori paling hulu dan paling determinan dalam kerangka pengurangan risiko bencana tsunami. Secara filosofis, tata ruang adalah manifestasi dari kedaulatan negara dalam mengatur alokasi pemanfaatan lahan guna menjamin keselamatan dan kesejahteraan warganya. Dalam konteks kawasan pesisir, tata ruang berbasis risiko menuntut adanya pergeseran paradigma dari orientasi pertumbuhan ekonomi yang eksploitatif menuju pendekatan

pembangunan yang adaptif terhadap dinamika alam. Kebijakan ini beroperasi pada premis dasar bahwa cara paling efektif untuk mencegah jatuhnya korban jiwa adalah dengan menjauhkan populasi dan infrastruktur kritis dari zona paparan bahaya (*exposure zone*).

Implementasi tata ruang berbasis risiko di Indonesia sering kali menghadapi dilema klasik antara mitigasi bencana dan kepentingan investasi. Kawasan pesisir yang rawan tsunami ironisnya merupakan area dengan nilai ekonomi lahan tertinggi, terutama untuk sektor pariwisata dan industri maritim. Oleh karena itu, perumusan kebijakan tata ruang membutuhkan kompromi strategis yang didukung oleh landasan saintifik yang kuat, seperti peta mikrozonasi kerentanan. Melalui integrasi antara regulasi zonasi yang ketat, perencanaan jalur evakuasi yang presisi, dan pembangunan infrastruktur pelindung (baik hijau maupun abu-abu), tata ruang dapat ditransformasikan menjadi perisai struktural yang melindungi peradaban pesisir dari ancaman katastrofik.

4.4.1 Penetapan Batas Sempadan Pantai dan Zona Larangan Bangun

Penetapan batas sempadan pantai merupakan garis pertahanan regulatori pertama dalam memitigasi dampak tsunami. Wahyudi dan Mutiarin (2024) menjelaskan bahwa sempadan pantai adalah kawasan lindung yang membentang sejauh jarak tertentu dari titik pasang tertinggi ke arah daratan, yang secara hukum dilarang untuk dialihfungsikan menjadi kawasan terbangun (*built-up area*). Dalam perspektif mitigasi, zona ini berfungsi sebagai ruang penyangga (*buffer zone*) yang menyerap dan memecah energi kinetik gelombang tsunami sebelum mencapai area permukiman. Penentuan lebar sempadan ini tidak boleh dilakukan secara serampangan, melainkan harus didasarkan pada pemodelan hidrodinamika yang memperhitungkan elevasi daratan, kelereng pantai, dan estimasi jarak rambatan air (*run-up*).

Meskipun regulasi nasional telah mengamanatkan penetapan sempadan pantai minimal 100 meter, implementasinya di tingkat daerah sering kali terdistorsi oleh lemahnya penegakan hukum (*law enforcement*). Wahyudi dan Mutiarin (2024) menyoroti maraknya pelanggaran tata ruang di mana hotel, restoran, dan permukiman padat didirikan tepat di bibir pantai. Pelanggaran ini umumnya difasilitasi oleh celah birokrasi dalam

penerbitan Izin Mendirikan Bangunan (IMB) dan minimnya sanksi tegas bagi para pelanggar. Kondisi ini menciptakan kerentanan struktural yang masif, karena bangunan-bangunan tersebut akan menjadi titik benturan pertama dan berpotensi berubah menjadi puing-puing mematikan (*lethal debris*) yang tersapu gelombang ke arah daratan.

Untuk menegakkan kebijakan sempadan pantai, pemerintah daerah harus mengintegrasikan peta Kawasan Rawan Bencana (KRB) Tsunami ke dalam Rencana Detail Tata Ruang (RDTR) dan Peraturan Zonasi (PZ) yang mengikat secara hukum. Zona larangan bangun (*no-build zone*) di area sempadan harus dipertahankan secara absolut untuk fungsi ekologis dan ruang publik terbuka. Bagi bangunan yang sudah telanjur berdiri di zona merah, pemerintah perlu menerapkan skema disinsentif pajak atau program relokasi bertahap (*managed retreat*). Ketegasan dalam menjaga batas sempadan pantai ini adalah ujian sesungguhnya bagi komitmen politik kepala daerah dalam memprioritaskan keselamatan publik di atas kepentingan akumulasi kapital jangka pendek.

4.4.2 Perencanaan Jalur Evakuasi dan Titik Kumpul (Gathering Points)

Ketika upaya menjauhkan permukiman dari zona bahaya tidak sepenuhnya dapat direalisasikan, perencanaan jalur evakuasi yang efisien menjadi instrumen penyelamatan nyawa yang paling krusial. Zulkarnain dan Arifin (2022) dalam analisis spasialnya di Kota Padang menegaskan bahwa desain jalur evakuasi tidak boleh hanya mengandalkan jaringan jalan eksisting, melainkan harus dikalkulasi berdasarkan rasio kepadatan penduduk, kapasitas tampung jalan, dan estimasi waktu tiba tsunami (*golden time*). Jalur evakuasi harus dirancang tegak lurus menjauhi garis pantai menuju dataran tinggi, dengan mempertimbangkan potensi hambatan seperti jembatan yang mungkin runtuh akibat gempa pemicu atau kemacetan kendaraan bermotor.

Titik kumpul (*gathering points*) atau Tempat Evakuasi Sementara (TES) merupakan destinasi akhir dari pergerakan massa tersebut. Zulkarnain dan Arifin (2022) menyoroti bahwa penentuan lokasi TES harus memenuhi kriteria elevasi yang aman dari genangan maksimum, memiliki struktur bangunan yang tahan terhadap guncangan gempa skala besar, dan dilengkapi dengan fasilitas dasar seperti air bersih dan pasokan listrik

darurat. Di kawasan pesisir yang datar dan padat penduduk di mana evakuasi horizontal (berlari ke perbukitan) tidak memungkinkan karena keterbatasan waktu, pemerintah wajib membangun infrastruktur evakuasi vertikal, seperti gedung *shelter* khusus, masjid bertingkat, atau merakayasa atap gedung pemerintahan agar dapat menampung ribuan pengungsi.

Efektivitas jalur evakuasi dan titik kumpul ini sangat bergantung pada kejelasan sistem rambu (*signage*) dan tingkat literasi spasial masyarakat. Rambu-rambu evakuasi harus dipasang di titik-titik strategis dengan desain visual yang mudah dipahami, bahkan dalam kondisi panik atau minim cahaya. Selain itu, Zulkarnain dan Arifin (2022) merekomendasikan agar jalur evakuasi ini diuji secara berkala melalui simulasi massal (*drills*). Simulasi ini berfungsi untuk mengevaluasi *bottleneck* (titik kemacetan) di lapangan, melatih memori otot warga, dan memastikan bahwa seluruh kelompok rentan dapat mencapai titik kumpul dengan selamat sebelum gelombang pertama menghantam daratan.

4.4.3 Program Penanaman Mangrove dan Vegetasi Pesisir

Integrasi infrastruktur hijau (*green infrastructure*) ke dalam tata ruang pesisir menawarkan solusi mitigasi yang ekologis, berkelanjutan, dan hemat biaya. Yuliana dan Setiawan (2021) memaparkan bahwa ekosistem mangrove dan vegetasi pantai (seperti cemara laut dan pandan duri) berfungsi sebagai perisai bio-mekanis alami yang sangat efektif dalam mereduksi daya rusak tsunami. Ketika gelombang raksasa menerjang, kerapatan akar tunjang dan batang mangrove bertindak sebagai penghalang friksional yang memecah energi kinetik air, menurunkan kecepatan arus, dan mengurangi tinggi genangan (*run-up*) sebelum mencapai permukiman di belakangnya. Selain itu, sistem perakaran mangrove yang kuat mampu mengikat sedimen tanah, mencegah terjadinya abrasi dan gerusan (*scouring*) ekstrem yang sering kali meruntuhkan fondasi bangunan.

Efektivitas sabuk hijau mangrove dalam mitigasi tsunami sangat bergantung pada ketebalan (lebar sabuk), kerapatan tegakan, dan kesesuaian spesies dengan karakteristik pasang surut lokal. Yuliana dan Setiawan (2021) mencatat bahwa ketebalan mangrove minimal 100 hingga

200 meter diperlukan untuk memberikan efek peredaman yang signifikan terhadap gelombang tsunami skala menengah. Sayangnya, luasan hutan mangrove di Indonesia terus menyusut akibat masifnya konversi lahan menjadi tambak udang, permukiman, dan kawasan industri. Degradasi ekosistem ini secara langsung menghilangkan fungsi perlindungan alami pesisir, membiarkan energi gelombang menghantam daratan tanpa hambatan sama sekali.

Oleh karena itu, program rehabilitasi dan penanaman kembali mangrove harus diutamakan sebagai bagian integral dari kebijakan tata ruang mitigasi bencana. Pemerintah perlu menetapkan kawasan hutan mangrove sebagai zona konservasi absolut yang dilindungi oleh undang-undang. Lebih jauh, keberhasilan program penanaman ini menuntut pelibatan aktif komunitas lokal melalui skema perhutanan sosial atau ekowisata. Ketika masyarakat pesisir mendapatkan manfaat ekonomi langsung dari pelestarian mangrove—seperti hasil tangkapan kepiting atau pendapatan dari pariwisata—mereka akan secara sukarela bertindak sebagai penjaga ekosistem tersebut. Sinergi antara mitigasi bencana dan pemberdayaan ekonomi ini menjadikan infrastruktur hijau sebagai investasi tata ruang yang paling rasional.

4.4.4 Pembangunan Struktur Pelindung Pantai (Tsunami Retaining Walls)

Di kawasan pesisir dengan kepadatan penduduk ekstrem dan nilai aset ekonomi yang sangat tinggi, di mana evakuasi horizontal sulit dilakukan dan ruang untuk penanaman mangrove tidak lagi tersedia, intervensi rekayasa fisik berupa infrastruktur abu-abu (*grey infrastructure*) menjadi pilihan mitigasi yang tak terhindarkan. Pembangunan struktur pelindung pantai, seperti tembok penahan tsunami (*tsunami retaining walls*), pemecah gelombang (*breakwaters*), dan tanggul laut (*seawalls*), dirancang secara spesifik untuk menahan, memantulkan, atau mendisipasi energi hidrodinamis gelombang sebelum menginundasi daratan. Struktur beton masif ini berfungsi sebagai garis pertahanan terakhir untuk melindungi fasilitas vital negara dan pusat-pusat permukiman padat dari kehancuran total.

Desain rekayasa struktur pelindung ini menuntut kalkulasi teknis yang sangat presisi, mengacu pada pemodelan skenario tsunami terburuk

(*worst-case scenario*). Ketinggian tembok penahan harus melampaui estimasi *run-up* gelombang, sementara fondasinya harus ditanam cukup dalam untuk mencegah kegagalan struktural akibat gerusan arus balik (*backwash scouring*). Namun, pengalaman dari tsunami Jepang 2011 menunjukkan bahwa mengandalkan infrastruktur abu-abu secara eksklusif dapat menciptakan "ilusi keamanan" (*false sense of security*). Ketika tinggi gelombang aktual melampaui desain tembok penahan (*overtopping*), struktur tersebut tidak hanya gagal melindungi, tetapi keruntuhannya justru menambah volume material mematikan yang tersapu ke arah permukiman.

Oleh karena itu, paradigma modern dalam rekayasa pesisir mendorong penerapan sistem pertahanan berlapis (*multiple lines of defense*) yang menggabungkan infrastruktur abu-abu dengan infrastruktur hijau. Tembok penahan tsunami dapat dikombinasikan dengan sabuk mangrove di bagian depannya untuk mereduksi energi awal gelombang, sehingga beban struktural pada tembok beton menjadi jauh lebih ringan. Selain itu, desain tembok penahan harus mempertimbangkan aspek estetika dan aksesibilitas nelayan ke laut, agar tidak menciptakan segregasi sosial dan mematikan ekonomi lokal. Pendekatan hibrida ini memastikan bahwa tata ruang pesisir tidak hanya tangguh secara mekanis, tetapi juga harmonis secara ekologis dan sosiologis.

Tabel 4.1 Analisis Komparatif Strategi Tata Ruang dan Infrastruktur Pelindung Pesisir

Dimensi Analisis	Infrastruktur Hijau (Sabuk Mangrove/Vegetasi)	Infrastruktur Abu-abu (<i>Tsunami Retaining Walls</i>)	Pendekatan Tata Ruang (Sempadan & Relokasi)
Fungsi Mitigasi Utama	Mereduksi energi gelombang, memecah arus, dan mencegah abrasi.	Menahan dan memantulkan gelombang secara fisik agar tidak masuk ke	Menjauhkan populasi dan aset dari zona paparan bahaya (<i>exposure zone</i>).

		daratan.	
Biaya Implementasi	Relatif rendah; pemeliharaan dapat dilakukan oleh komunitas lokal.	Sangat tinggi (<i>capital intensive</i>); membutuhkan perawatan teknis berkala.	Bervariasi; biaya relokasi dan pembebasan lahan bisa sangat mahal.
Dampak Ekologis	Sangat positif; memulihkan biodiversitas dan menyerap karbon.	Negatif; dapat merusak ekosistem bentik dan mengubah pola arus lokal.	Netral hingga positif; mengembalikan fungsi alami sempadan pantai.
Efek Sosiologis	Memberikan nilai tambah ekonomi (ekowisata, perikanan) bagi warga.	Berisiko menciptakan "ilusi keamanan" dan membatasi akses nelayan ke laut.	Sering memicu resistensi sosial jika relokasi menjauhkan warga dari mata pencaharian.
Keterbatasan Utama	Membutuhkan waktu bertahun-tahun untuk tumbuh; butuh lahan luas.	Rentan hancur jika tinggi gelombang melampaui desain (<i>overtopping</i>).	Sulit diterapkan di kawasan pesisir yang sudah telanjur padat dan komersial.

BAB 5

TEKNOLOGI TSUNAMI EARLY WARNING SYSTEM (TEWS)

Pendahuluan

Diskursus mengenai manajemen krisis tsunami di era kontemporer tidak dapat dilepaskan dari intervensi teknologi tinggi yang terenkapsulasi dalam arsitektur *Tsunami Early Warning System* (TEWS). Secara konseptual, TEWS merepresentasikan lompatan epistemologis dari metode observasi alamiah yang bersifat reaktif menuju sistem deteksi instrumental yang bersifat prediktif dan presisi. Kehadiran teknologi ini menggeser beban deteksi ancaman dari indra manusia yang terbatas ke jaringan sensor elektronik yang beroperasi secara otonom di dasar samudra dan ruang angkasa. Bab ini membedah anatomi teknologi peringatan dini tsunami, mengeksplorasi bagaimana fusi data dari berbagai instrumen pemantau dikonversi menjadi informasi keselamatan publik dalam hitungan menit. Melalui pendekatan sosio-teknis, pembahasan ini tidak hanya menguliti spesifikasi perangkat keras (*hardware*), tetapi juga mengevaluasi efektivitas antarmuka antara mesin dan manusia di tingkat tapak.

Meskipun investasi global dalam pengembangan TEWS telah mencapai angka triliunan rupiah, masih terdapat *research gap* yang signifikan terkait diskoneksi antara kecanggihan teknologi di sisi hulu (pusat deteksi) dengan keandalan diseminasi di sisi hilir (komunitas rentan). Banyak studi rekayasa instrumen cenderung memfokuskan analisisnya pada peningkatan sensitivitas sensor dan kecepatan algoritma komputasi, namun mengabaikan realitas operasional di lapangan, seperti kerentanan infrastruktur terhadap vandalisme, anomali topografi yang mendistorsi jangkauan sirene, hingga masalah *blank spot* telekomunikasi. Celah akademis ini menciptakan ilusi keamanan (*false sense of security*), di mana keberadaan teknologi canggih diasumsikan secara otomatis menjamin keselamatan warga. Tanpa adanya evaluasi kritis terhadap rantai transmisi informasi secara utuh, sistem peringatan dini berisiko menjadi artefak

teknologis yang gagal menjalankan fungsi eksistensialnya saat krisis melanda.

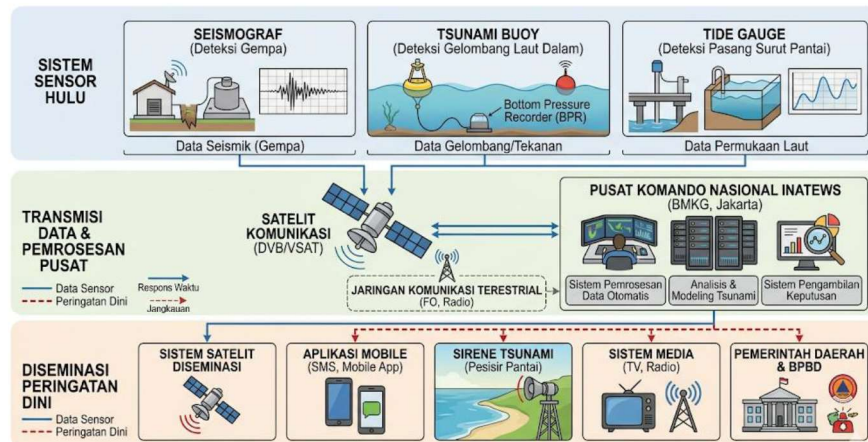
Berangkat dari identifikasi celah penelitian tersebut, bab ini dirumuskan untuk menjawab empat pertanyaan penelitian utama. Pertama, bagaimana arsitektur teknologi peringatan dini modern mengintegrasikan berbagai instrumen sensor untuk menghasilkan deteksi yang akurat dan *real-time*? Kedua, sejauh mana implementasi sirene tsunami di tingkat lokal mampu memenuhi standar efektivitas akustik dan prosedur aktivasi yang responsif? Ketiga, bagaimana inovasi komunikasi digital dan aplikasi seluler mentransformasi lanskap diseminasi informasi risiko kepada publik? Keempat, apa saja kendala teknis dan tantangan operasional yang secara persisten mendegradasi kinerja TEWS di Indonesia? Melalui elaborasi komprehensif ini, bab ini diharapkan mampu memberikan rekomendasi strategis untuk mengoptimalkan keandalan sistem peringatan dini nasional.

5.1 Arsitektur Teknologi Peringatan Dini Modern

Arsitektur *Tsunami Early Warning System* (TEWS) modern merupakan sebuah mahakarya rekayasa sistem yang mengintegrasikan berbagai disiplin ilmu, mulai dari seismologi, oseanografi, telekomunikasi satelit, hingga ilmu komputer. Secara struktural, sistem ini didesain sebagai sebuah rantai proses yang tidak terputus (*end-to-end system*), yang secara garis besar terbagi menjadi dua domain utama: subsistem hulu (*upstream*) dan subsistem hilir (*downstream*). Subsistem hulu bertanggung jawab atas akuisisi data mentah dari fenomena geologis di alam, sementara subsistem hilir bertugas menerjemahkan hasil analisis data tersebut menjadi perintah evakuasi yang dapat dipahami oleh masyarakat luas. Keandalan arsitektur ini sangat ditentukan oleh tingkat interoperabilitas antar-komponen, di mana kegagalan pada satu simpul akan melumpuhkan seluruh fungsi sistem.

Dalam konteks Indonesia, arsitektur ini termanifestasi melalui *Indonesia Tsunami Early Warning System* (InaTEWS) yang dikelola oleh Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Sistem ini dibangun di atas prinsip redundansi (*redundancy*), yang berarti setiap instrumen pemantau memiliki cadangan operasional untuk mencegah kegagalan

tunggal (*single point of failure*). Integrasi berbagai jenis sensor memungkinkan pusat komando untuk melakukan validasi silang (*cross-validation*) terhadap anomali yang terdeteksi, sehingga meminimalisasi probabilitas terjadinya peringatan palsu (*false alarm*). Pemahaman yang mendalam terhadap arsitektur ini merupakan prasyarat bagi para pengambil kebijakan untuk mengalokasikan sumber daya pemeliharaan secara proporsional dan terarah.



Gambar 5.1: Skema Arsitektur Indonesia Tsunami Early Warning System (InaTEWS).

Gambar 5.1: Skema Arsitektur Indonesia Tsunami Early Warning System (InaTEWS), mengilustrasikan integrasi sensor hulu (seismograf, buoy, tide gauge), transmisi satelit, dan pusat komando nasional.

5.1.1 Sensor Seismik, Buoy, dan Tide Gauge: Prinsip Kerja dan Penempatan

Fondasi utama dari subsistem hulu TEWS bertumpu pada tiga instrumen pemantau kunci: jaringan sensor seismik (seismograf), *tsunami buoy* (pelampung pendeteksi tsunami), dan *tide gauge* (stasiun pasang surut). Daryono dan Supendi (2021) menjelaskan bahwa sensor seismik pita lebar (*broadband seismograph*) berfungsi sebagai pendeteksi awal (*first detector*) yang merekam gelombang seismik (gelombang P dan S) sesaat setelah patahan tektonik terjadi. Jaringan seismograf ini ditempatkan secara strategis di seluruh penjuru Nusantara untuk memastikan bahwa parameter gempa—seperti magnitudo, kedalaman, dan episentrum—dapat

dikalkulasi dalam waktu kurang dari lima menit. Kecepatan analisis seismik ini menjadi penentu utama dalam menerbitkan peringatan dini tingkat pertama, meskipun pada tahap ini keberadaan gelombang tsunami itu sendiri belum dapat dikonfirmasi secara fisik.

Untuk memvalidasi apakah deformasi dasar laut benar-benar memicu perpindahan massa air, sistem mengandalkan instrumen *tsunami buoy* yang ditempatkan di laut lepas, berdekatan dengan zona subduksi. Daryono dan Supendi (2021) menguraikan bahwa *buoy* bekerja secara berpasangan dengan sensor tekanan dasar laut (*Ocean Bottom Pressure Sensor* - OBP). Sensor OBP mendeteksi perubahan tekanan hidrostatik yang diakibatkan oleh melintasnya gelombang tsunami, kemudian mengirimkan sinyal akustik ke pelampung *buoy* di permukaan laut. Pelampung ini selanjutnya mentransmisikan data tersebut ke pusat komando melalui satelit. Penempatan *buoy* di laut dalam sangat krusial karena instrumen ini mampu mendeteksi anomali gelombang jauh sebelum tsunami mencapai perairan dangkal, memberikan tambahan waktu emas (*golden time*) bagi proses evakuasi di daratan.

Instrumen ketiga yang melengkapi arsitektur ini adalah *tide gauge*, yang dipasang di pelabuhan atau dermaga di sepanjang garis pantai. Berbeda dengan *buoy* yang beroperasi di laut dalam, *tide gauge* berfungsi untuk mengukur fluktuasi muka air laut di perairan dangkal secara *real-time*. Daryono dan Supendi (2021) menyoroti bahwa data dari *tide gauge* digunakan sebagai konfirmasi akhir (*final confirmation*) bahwa tsunami telah benar-benar tiba di pesisir. Meskipun informasi dari *tide gauge* sering kali datang ketika gelombang sudah sangat dekat dengan daratan, data ini sangat vital untuk memverifikasi model prediksi hidrodinamika, mengukur tinggi genangan aktual, dan menjadi dasar bagi otoritas berwenang untuk mencabut status peringatan dini (*all clear*) setelah kondisi perairan dipastikan kembali normal.

5.1.2 Sistem Transmisi Data Satelit dan Radio Komunikasi

Kecepatan dan akurasi instrumen sensor di lapangan akan kehilangan signifikansinya tanpa adanya sistem transmisi data yang sangat responsif dan kebal terhadap guncangan bencana. Dalam arsitektur TEWS, satelit komunikasi memegang peranan sebagai tulang punggung (*backbone*)

transmisi data dari sensor hulu ke pusat komando. Santoso dan Arifin (2024) menjelaskan bahwa instrumen seperti *buoy* dan beberapa stasiun seismik terpencil menggunakan konstelasi satelit (seperti VSAT atau Iridium) untuk mengirimkan paket data secara instan. Penggunaan satelit ini merupakan pilihan logis dan strategis, mengingat infrastruktur kabel optik bawah laut atau jaringan seluler terestrial sangat rentan terputus akibat deformasi kerak bumi saat gempa *megathrust* terjadi.

Meskipun transmisi satelit menawarkan keandalan yang tinggi, sistem ini tidak luput dari tantangan teknis, khususnya terkait masalah *time lag* (keterlambatan waktu). Santoso dan Arifin (2024) dalam analisisnya menemukan bahwa proses enkripsi data di sensor, transmisi ke satelit, pemantulan sinyal ke stasiun bumi, hingga dekripsi di pusat komando dapat memakan waktu beberapa detik hingga hitungan menit. Dalam skenario tsunami lokal (*near-field tsunami*) di mana waktu tiba gelombang sangat singkat, akumulasi *time lag* ini dapat menggerus *golden time* evakuasi secara signifikan. Oleh karena itu, optimalisasi *bandwidth* satelit dan penggunaan protokol komunikasi data yang ringan (*lightweight protocol*) menjadi keharusan teknis untuk memangkas latensi transmisi ke tingkat milidetik.

Sebagai bentuk redundansi, arsitektur transmisi data juga mengintegrasikan jaringan radio komunikasi frekuensi tinggi (VHF/UHF) sebagai jalur cadangan (*backup channel*). Jaringan radio ini sangat krusial, terutama untuk menghubungkan stasiun pengamatan lokal dengan Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) ketika jaringan satelit mengalami gangguan cuaca ekstrem (*sun outage* atau badai ionosfer). Selain itu, sistem radio komunikasi berbasis telemetri sering kali digunakan untuk mengaktifkan sirene tsunami di pesisir secara nirkabel. Desain transmisi yang berlapis (*multi-layered transmission*) ini memastikan bahwa aliran data peringatan dini memiliki tingkat ketersediaan (*availability*) yang mendekati absolut, menjamin bahwa pesan keselamatan dapat menembus segala bentuk rintangan infrastruktur pasca-gempa.

5.1.3 Peran Pusat Peringatan Dini Nasional dan Internasional

Pusat peringatan dini berfungsi sebagai otak analitik (*analytical brain*) yang memproses jutaan bita data mentah menjadi keputusan strategis

yang menyangkut nyawa jutaan manusia. Di Indonesia, peran ini dimandatkan secara hukum kepada BMKG sebagai *National Tsunami Warning Centre* (NTWC). Peraturan BNPB Nomor 4 Tahun 2022 secara eksplisit mengatur bahwa BMKG memiliki otoritas tunggal dalam menerbitkan, memutakhirkan, dan mengakhiri peringatan dini tsunami di wilayah yurisdiksi nasional. Di dalam ruang komando NTWC, para seismolog dan *decision support system* (DSS) berbasis kecerdasan buatan bekerja secara simultan untuk mencocokkan parameter gempa aktual dengan ribuan skenario pemodelan tsunami yang telah disiapkan sebelumnya (*pre-computed scenarios*), guna menentukan tingkat ancaman (Awak, Siaga, atau Waspada) untuk setiap segmen pesisir.

Selain beroperasi di tingkat domestik, pusat peringatan dini nasional juga terintegrasi erat dengan konstelasi mitigasi global. Pasca-tsunami 2004, Indonesia ditunjuk sebagai salah satu *Tsunami Service Provider* (TSP) untuk kawasan Samudra Hindia, bersama dengan Australia dan India. Peran internasional ini menuntut BMKG untuk tidak hanya memantau ancaman bagi perairan Nusantara, tetapi juga mendiseminasikan buletin peringatan dini kepada negara-negara anggota di sepanjang pesisir Samudra Hindia. Kolaborasi lintas batas ini memfasilitasi pertukaran data seismik dan oseanografi secara *real-time*, memperluas cakupan observasi, dan meningkatkan akurasi prediksi melalui konsensus saintifik antar-lembaga internasional.

Proses pengambilan keputusan di pusat peringatan dini berpacu dengan waktu dan dibayangi oleh tekanan psikologis yang ekstrem. Menerbitkan peringatan tsunami yang berujung pada *false alarm* dapat memicu kepanikan massal, kerugian ekonomi, dan erosi kepercayaan publik. Sebaliknya, keterlambatan dalam membunyikan alarm akan berakibat pada jatuhnya korban jiwa yang masif. Oleh karena itu, Peraturan BNPB Nomor 4 Tahun 2022 menetapkan standar operasional prosedur (SOP) yang sangat ketat, di mana peringatan pertama harus diterbitkan maksimal lima menit setelah gempa bumi terjadi. Keberhasilan pusat komando dalam menjalankan peran krusial ini sangat bergantung pada keandalan algoritma komputasi, profesionalisme sumber daya manusia yang bertugas 24 jam penuh, serta ketegasan regulasi yang melindungi para operator dari tuntutan hukum saat mengambil keputusan dalam kondisi ketidakpastian tinggi.

5.2 Implementasi Sirene Tsunami di Tingkat Lokal

Sirene tsunami merupakan instrumen diseminasi paling ujung (*the last mile*) dalam rantai arsitektur peringatan dini, yang bersentuhan langsung dengan indra pendengaran masyarakat di zona bahaya. Secara fungsional, sirene dirancang untuk memberikan efek kejut psikologis yang seketika memutus rutinitas warga dan memicu tindakan evakuasi refleksif. Meskipun era digital telah melahirkan berbagai aplikasi seluler, eksistensi sirene mekanis dan elektronik tetap tidak tergantikan, terutama karena kemampuannya menjangkau populasi secara massal tanpa bergantung pada kepemilikan gawai pintar atau ketersediaan sinyal internet seluler. Implementasi sirene di tingkat lokal adalah wujud nyata dari kehadiran negara dalam memberikan perlindungan fisik di ruang-ruang publik pesisir.

Namun, implementasi sirene di lapangan sering kali dihadapkan pada kompleksitas tata ruang dan dinamika lingkungan urban. Penempatan menara sirene tidak dapat dilakukan secara acak, melainkan harus melalui kajian akustik yang cermat untuk memastikan bahwa gelombang suara tidak terhalang oleh gedung bertingkat atau teredam oleh rimbunnya pepohonan. Selain itu, efektivitas sirene sangat bergantung pada kejelasan protokol aktivasi dan pemeliharaan rutin oleh otoritas daerah. Kegagalan sirene untuk berbunyi saat krisis terjadi-baik karena kerusakan komponen maupun keraguan birokrasi dalam menekan tombol aktivasi-merupakan tragedi administratif yang secara langsung berkontribusi pada peningkatan angka fatalitas bencana.

5.2.1 Spesifikasi Teknis Sirene Permanen dan Portable

Infrastruktur sirene tsunami umumnya diklasifikasikan ke dalam dua tipologi utama berdasarkan mobilitas dan kapasitas daya jangkauannya: sirene permanen dan sirene *portable* (bergerak). Wibisono dan Haryanto (2022) menjelaskan bahwa sirene permanen merupakan menara pemancar suara berskala besar yang ditanam secara statis di titik-titik strategis kawasan pesisir yang padat penduduk. Spesifikasi teknis sirene permanen ini sangat tangguh; ia dilengkapi dengan susunan pelantang suara (*horn array*) omnidireksional yang mampu memancarkan suara ke segala arah (360 derajat). Selain itu, menara ini dirancang dengan struktur baja tahan karat (*stainless steel*) untuk melawan korosi udara laut dan dilengkapi dengan panel surya serta baterai cadangan berkapasitas besar

untuk memastikan operasionalitasnya tetap terjaga meskipun pasokan listrik dari jaringan utama (PLN) terputus akibat gempa.

Di sisi lain, sirene *portable* atau sirene bergerak menawarkan fleksibilitas taktis yang sangat dibutuhkan untuk menjangkau area-area *blank spot* atau kawasan pesisir terpencil yang belum ter-cover oleh jaringan sirene permanen. Sirene jenis ini biasanya dipasang pada kendaraan operasional kepolisian, armada BPBD, atau bahkan sepeda motor roda tiga yang dapat bermanuver di gang-gang sempit permukiman nelayan. Wibisono dan Haryanto (2022) menyoroti bahwa meskipun daya jangkau suaranya lebih terbatas dibandingkan sirene permanen, sirene *portable* sangat efektif untuk melakukan penyisiran evakuasi (*sweeping*) dan memberikan instruksi verbal secara langsung melalui mikrofon yang terintegrasi. Penggunaan sirene bergerak ini menjadi solusi komplementer yang sangat rasional bagi pemerintah daerah dengan keterbatasan anggaran pengadaan infrastruktur statis.

Pemilihan spesifikasi dan kombinasi antara sirene permanen dan *portable* harus didasarkan pada pemetaan topografi dan demografi lokal. Di kawasan pariwisata premium dengan hamparan pantai yang luas, investasi pada jaringan sirene permanen berdaya tinggi adalah keharusan mutlak. Sebaliknya, di desa-desa pesisir yang terisolasi oleh perbukitan, distribusi sirene *portable* kepada perangkat desa atau relawan lokal akan jauh lebih efektif. Standardisasi spesifikasi teknis ini, termasuk keseragaman nada dering (*tone*) yang digunakan khusus untuk ancaman tsunami, sangat penting untuk mencegah kebingungan publik dan memastikan bahwa setiap warga negara, di mana pun mereka berada, menerima kualitas peringatan keselamatan yang setara.

5.2.2 Jangkauan Suara (Decibel) dan Efektivitas Notifikasi

Efektivitas sebuah sirene tsunami secara fundamental diukur dari kemampuannya menembus ambang batas pendengaran manusia di tengah berbagai gangguan suara lingkungan (*ambient noise*). Wibisono dan Haryanto (2022) dalam evaluasi akustiknya memaparkan bahwa sirene permanen standar umumnya dirancang untuk menghasilkan tingkat tekanan suara (*Sound Pressure Level* - SPL) yang sangat tinggi, berkisar antara 120 hingga 130 desibel (dB) pada jarak satu meter dari sumber

suara. Dengan daya sebesar ini, gelombang suara secara teoretis mampu menjangkau radius efektif antara 1,5 hingga 2 kilometer di ruang terbuka. Tingkat kebisingan ini sengaja didesain menyerupai ambang batas rasa sakit pada telinga manusia guna menciptakan urgensi psikologis yang memaksa warga untuk segera merespons peringatan tersebut.

Namun, jangkauan suara teoretis ini sering kali mengalami degradasi yang signifikan ketika dihadapkan pada realitas topografi dan dinamika atmosfer di lapangan. Wibisono dan Haryanto (2022) mengidentifikasi bahwa efektivitas notifikasi sirene sangat dipengaruhi oleh arah dan kecepatan angin laut, tingkat kelembapan udara, serta keberadaan penghalang fisik seperti gedung bertingkat atau bukit. Di kawasan urban pesisir yang padat, fenomena *urban canyon effect* dapat memantulkan dan meredam gelombang suara, sehingga menciptakan zona-zona mati (*dead zones*) di mana sirene sama sekali tidak terdengar. Selain itu, kebisingan latar belakang dari aktivitas lalu lintas, deru mesin pabrik, atau suara ombak yang keras dapat menutupi frekuensi sirene, terutama bagi warga yang berada di dalam ruangan tertutup dengan insulasi akustik yang baik.

Untuk mengatasi tantangan atenuasi suara ini, perencanaan tata letak sirene menuntut pendekatan rekayasa akustik yang presisi. Pemasangan sirene tidak boleh dilakukan secara sporadis, melainkan harus melalui pemodelan propagasi suara (*sound propagation modeling*) yang memetakan kontur kebisingan wilayah tersebut. Jika satu sirene raksasa dinilai tidak efektif karena terhalang topografi, maka strategi yang lebih rasional adalah mendistribusikan beberapa sirene berkapasitas sedang secara linier di sepanjang garis pantai. Selain itu, edukasi publik mengenai karakteristik nada sirene tsunami-yang biasanya berupa nada naik-turun (*wailing tone*) berdurasi tiga menit tanpa putus-harus terus digencarkan agar masyarakat memiliki kepekaan kognitif untuk membedakannya dari sirene ambulans atau pemadam kebakaran.

5.2.3 Prosedur Aktivasi: Manual, Otomatis, dan Semi-Otomatis

Keberhasilan sirene dalam menyelamatkan nyawa sangat bergantung pada kecepatan dan ketepatan prosedur aktivasinya. Secara operasional, terdapat tiga paradigma aktivasi sirene: manual, otomatis, dan semi-

otomatis. Peraturan BNPB Nomor 4 Tahun 2022 memberikan landasan normatif bahwa aktivasi sirene merupakan kewenangan kepala daerah (Bupati/Wali Kota) berdasarkan rekomendasi dari BMKG. Dalam prosedur manual, setelah BMKG mengeluarkan status ancaman "Awat" atau "Siaga", operator Pusdalops daerah harus menghubungi kepala daerah untuk meminta otorisasi sebelum menekan tombol aktivasi. Meskipun prosedur ini menjaga rantai komando birokrasi, ia memiliki kelemahan fatal berupa potensi keterlambatan (*delay*) yang sangat tinggi, terutama jika kepala daerah sulit dihubungi saat krisis terjadi di luar jam kerja.

Sebagai antitesis dari kelemahan birokratis tersebut, sistem aktivasi otomatis menawarkan kecepatan respons yang absolut. Dalam paradigma ini, sirene di tingkat lokal terhubung langsung dengan server BMKG pusat. Ketika algoritma mendeteksi parameter gempa yang memenuhi kriteria tsunami, sistem akan secara otomatis mengirimkan sinyal telemetri untuk membunyikan sirene di zona terdampak tanpa campur tangan manusia sama sekali. Keunggulan sistem ini adalah kemampuannya memaksimalkan *golden time* evakuasi. Namun, sistem otomatis murni menyimpan risiko *false alarm* yang tinggi jika terjadi anomali data pada sensor hulu, yang dapat memicu kepanikan massal yang tidak perlu dan menggerus kepercayaan publik terhadap otoritas kebencanaan.

Untuk menjembatani kebutuhan akan kecepatan dan akurasi, prosedur aktivasi semi-otomatis diakui sebagai kompromi operasional yang paling ideal. Dalam sistem ini, peringatan dari BMKG akan memicu alarm di layar konsol Pusdalops daerah. Operator lokal diberikan jendela waktu yang sangat singkat (misalnya 2 hingga 3 menit) untuk memverifikasi informasi dan menekan tombol aktivasi sirene secara mandiri. Jika dalam batas waktu tersebut operator tidak merespons-baik karena panik, evakuasi diri, atau fasilitas Pusdalops hancur akibat gempa-maka sistem pusat akan mengambil alih (*override*) dan membunyikan sirene secara otomatis. Prosedur semi-otomatis ini memastikan bahwa rantai komando lokal tetap dihormati, namun keselamatan publik tidak disandera oleh kelumpuhan birokrasi di saat-saat paling kritis.

5.2.4 Pemeliharaan dan Uji Coba Berkala (Uji Aktivasi Bulanan)

Infrastruktur sirene tsunami merupakan aset vital yang menuntut rezim pemeliharaan (*maintenance regime*) yang sangat ketat. Mengingat sirene ditempatkan di lingkungan pesisir yang korosif dan beroperasi dalam mode siaga (*standby*) selama bertahun-tahun tanpa digunakan, risiko degradasi komponen elektronik dan mekanis sangatlah tinggi. Pemeliharaan preventif tidak boleh dipandang sebagai beban administratif, melainkan sebagai investasi keberlanjutan untuk memastikan sistem berfungsi sempurna pada satu hari krusial ketika bencana benar-benar datang. Kegagalan sirene untuk berbunyi saat tsunami menerjang sering kali bukan disebabkan oleh cacat desain pabrik, melainkan akibat kelalaian institusional dalam merawat baterai, membersihkan panel surya, atau memeriksa modul komunikasi radio.

Untuk menjamin tingkat kesiapan operasional (*operational readiness*), Peraturan BNPB Nomor 4 Tahun 2022 mengamanatkan pelaksanaan uji coba aktivasi sirene secara berkala. Di Indonesia, uji coba ini umumnya dilembagakan pada tanggal 26 setiap bulannya-sebagai bentuk peringatan memori kolektif terhadap tragedi Tsunami Aceh 26 Desember 2004. Uji aktivasi bulanan ini berfungsi ganda: secara teknis, ia memverifikasi integritas seluruh komponen sistem mulai dari pusat komando hingga pelantang suara di menara; secara administratif, ia memaksa operator Pusdalops untuk melatih refleks motorik dan kepatuhan terhadap SOP aktivasi. Laporan hasil uji coba ini menjadi instrumen audit yang transparan untuk mengidentifikasi sirene mana yang mengalami malfungsi dan membutuhkan perbaikan segera.

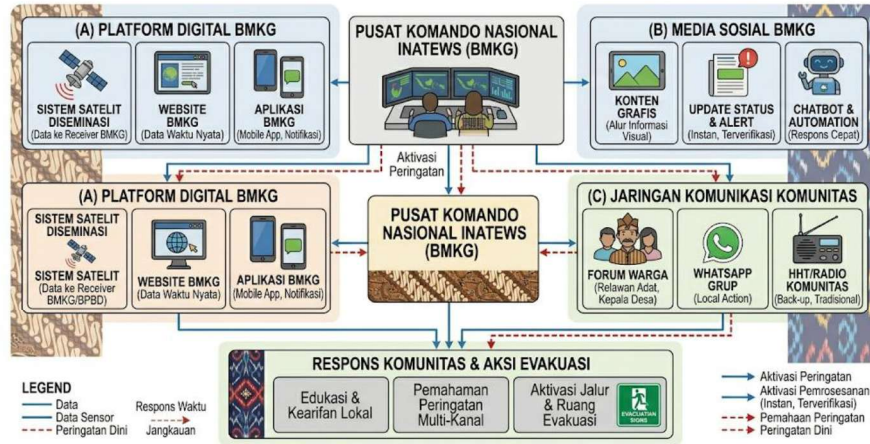
Lebih dari sekadar rutinitas teknis, uji aktivasi bulanan memiliki dimensi sosiologis yang sangat penting dalam kerangka komunikasi risiko. Bunyi sirene yang terdengar secara rutin membantu masyarakat pesisir untuk mengenali karakteristik nada peringatan, sehingga menumbuhkan keakraban kognitif (*cognitive familiarity*). Namun, pelaksanaan uji coba ini harus selalu didahului oleh sosialisasi publik yang masif melalui media massa dan pengeras suara masjid, guna mencegah terjadinya kepanikan atau evakuasi yang tidak disengaja. Melalui sinergi antara pemeliharaan perangkat keras yang disiplin dan edukasi publik yang konsisten,

infrastruktur sirene dapat dipertahankan sebagai instrumen mitigasi yang andal, berwibawa, dan dipercaya penuh oleh masyarakat.

5.3 Inovasi Komunikasi Digital dan Mobile

Revolusi teknologi informasi dan komunikasi telah membawa transformasi fundamental dalam lanskap diseminasi peringatan dini bencana. Jika pada dekade sebelumnya otoritas kebencanaan sangat bergantung pada infrastruktur analog yang tersentralisasi seperti sirene dan siaran televisi, era kontemporer ditandai oleh desentralisasi informasi melalui platform digital dan perangkat *mobile*. Inovasi ini memungkinkan transmisi data risiko yang bersifat personal, *real-time*, dan interaktif langsung ke genggam masyarakat. Pergeseran paradigma dari komunikasi massa (*mass communication*) menuju komunikasi terarah (*targeted communication*) ini secara teoretis mampu memangkas waktu tunggu (*lead time*) dan meningkatkan presisi evakuasi di tingkat individu.

Meskipun demikian, adopsi teknologi digital dalam manajemen krisis tidak terlepas dari tantangan struktural. Kesenjangan digital (*digital divide*), literasi teknologi yang tidak merata, serta kerentanan infrastruktur jaringan internet saat terjadi guncangan gempa merupakan variabel yang dapat mendistorsi efektivitas inovasi ini. Oleh karena itu, pendekatan yang paling rasional adalah memposisikan komunikasi digital bukan sebagai substitusi mutlak bagi sistem konvensional, melainkan sebagai instrumen komplementer yang memperkaya ekosistem diseminasi. Sinergi antara kecanggihan aplikasi pintar dan keandalan jaringan komunikasi cadangan menjadi kunci dalam membangun arsitektur peringatan dini yang berdaya tahan tinggi.



Gambar 5.2: Skema Integrasi Platform Digital, Media Sosial, dan Jaringan Komunikasi Komunitas dalam Ekosistem Diseminasi Peringatan Dini Tsunami

Gambar 5.2: Skema Integrasi Platform Digital, Media Sosial, dan Jaringan Komunikasi Komunitas dalam Ekosistem Diseminasi Peringatan Dini Tsunami.

5.3.1 Aplikasi Smartphone untuk Peringatan Dini (WRS NewGen, InaRISK)

Penetrasi ponsel pintar (*smartphone*) yang masif di Indonesia telah membuka ruang inovasi bagi pengembangan aplikasi peringatan dini berbasis personal. Pratama dan Mutiarin (2023) menyoroti dua platform utama yang dikembangkan oleh pemerintah, yakni *Warning Receiver System New Generation* (WRS NewGen) dari BMKG dan aplikasi InaRISK dari BNPB. WRS NewGen dirancang sebagai kanal diseminasi informasi gempa bumi dan peringatan tsunami yang sangat cepat, mendistribusikan data langsung dari server BMKG ke perangkat pengguna dalam hitungan detik. Keunggulan utama dari sistem ini adalah kemampuannya memberikan notifikasi *push* yang dapat menembus mode senyap (*silent mode*) pada ponsel, memastikan pengguna segera menyadari adanya ancaman kritis.

Di sisi lain, aplikasi InaRISK menawarkan pendekatan yang lebih komprehensif dengan mengintegrasikan peringatan dini dan edukasi risiko spasial. Pratama dan Mutiarin (2023) menjelaskan bahwa InaRISK memungkinkan pengguna untuk memetakan tingkat kerentanan lokasi

mereka secara *real-time* menggunakan fitur *Global Positioning System* (GPS). Aplikasi ini tidak hanya memberitahu kapan bencana akan terjadi, tetapi juga memberikan panduan rute evakuasi terdekat dan lokasi titik kumpul yang aman. Personalisasi informasi ini sangat krusial karena ia mengubah data ancaman yang abstrak menjadi instruksi taktis yang relevan dengan posisi geografis individu saat itu.

Namun, efektivitas aplikasi *smartphone* ini sangat bergantung pada tingkat adopsi publik dan keandalan server pengembang. Pratama dan Mutiarin (2023) mencatat bahwa jumlah unduhan aplikasi kebencanaan sering kali melonjak hanya pasca-terjadinya bencana besar, dan kemudian diabaikan atau dihapus oleh pengguna seiring berjalannya waktu. Selain itu, lonjakan akses (*traffic spike*) yang ekstrem saat terjadi gempa bumi kerap menyebabkan server aplikasi mengalami *downtime* atau kelumpuhan sementara. Oleh karena itu, pemerintah perlu terus melakukan pembaruan kapasitas *bandwidth* server dan menggencarkan kampanye literasi digital agar aplikasi ini menjadi perangkat wajib yang terinstal di setiap ponsel warga di kawasan rawan bencana.

5.3.2 Pemanfaatan Media Sosial dan SMS Blast dalam Krisis

Media sosial telah bertransformasi dari sekadar platform jejaring pertemanan menjadi instrumen komunikasi krisis yang sangat masif dan responsif. Kusuma dan Susanto (2022) mengartikulasikan bahwa platform seperti Twitter (X), Facebook, dan WhatsApp grup memiliki keunggulan komparatif dalam hal kecepatan viralitas informasi. Saat gempa bumi terjadi, BMKG secara otomatis mempublikasikan parameter gempa dan status tsunami melalui akun resmi mereka. Kecepatan penyebaran informasi ini sering kali melampaui kecepatan rilis berita di media arus utama. Lebih jauh, media sosial memfasilitasi komunikasi dua arah, di mana masyarakat dapat melaporkan kondisi aktual di lapangan (*crowdsourcing*), yang sangat membantu otoritas dalam memetakan skala kerusakan awal.

Sebagai pelengkap media sosial yang membutuhkan koneksi internet stabil, teknologi *Short Message Service* (SMS) *Blast* atau *Cell Broadcast Service* (CBS) tetap dipertahankan sebagai saluran diseminasi yang vital. Kusuma dan Susanto (2022) menjelaskan bahwa SMS *Blast* bekerja dengan

cara mengirimkan pesan teks serentak ke seluruh nomor seluler yang terhubung dengan *Base Transceiver Station* (BTS) di zona bahaya. Keunggulan utama dari SMS *Blast* adalah kemampuannya menjangkau pengguna ponsel dasar (*feature phone*) tanpa memerlukan paket data internet. Sistem ini sangat efektif untuk memberikan instruksi evakuasi singkat dan padat kepada populasi yang berada di wilayah dengan infrastruktur telekomunikasi yang terbatas.

Tantangan terbesar dalam pemanfaatan media sosial dan SMS *Blast* adalah manajemen keakuratan informasi dan mitigasi hoaks. Dalam situasi panik, informasi yang belum terverifikasi dapat menyebar dengan sangat cepat di grup-grup percakapan, memicu evakuasi palsu yang membahayakan keselamatan. Kusuma dan Susanto (2022) menekankan perlunya otoritas kebencanaan untuk memiliki tim komunikasi krisis yang berdedikasi memantau percakapan publik (*social media listening*) dan secara proaktif meluruskan disinformasi. Selain itu, kerja sama dengan operator telekomunikasi harus diperkuat untuk memastikan bahwa pesan SMS *Blast* dari pemerintah mendapat prioritas *routing* tertinggi di jaringan seluler saat terjadi kongesti trafik pasca-gempa.

5.3.3 Radio Komunikasi (HT) dan Jaringan Komunitas sebagai Cadangan Strategis

Di tengah gegap gempita inovasi digital, teknologi analog berupa radio komunikasi dua arah (*Handy Talky/HT*) tetap memegang peranan sebagai cadangan strategis (*strategic backup*) yang tidak tergantikan. Ketika gempa bumi berskala besar meluluhlantakkan infrastruktur kelistrikan dan merobohkan menara BTS seluler, seluruh aplikasi *smartphone* dan media sosial akan lumpuh total. Dalam skenario *blackout* komunikasi ini, jaringan radio VHF/UHF yang dioperasikan menggunakan daya baterai mandiri menjadi satu-satunya urat nadi informasi yang tersisa. Radio komunikasi memungkinkan koordinasi taktis antar-relawan, aparat desa, dan Pusdalops daerah tetap berjalan untuk mengorkestrasi proses evakuasi dan kaji cepat kerusakan.

Eksistensi radio komunikasi ini sangat ditopang oleh jaringan komunitas lokal, seperti Organisasi Amatir Radio Indonesia (ORARI) dan Radio Antar Penduduk Indonesia (RAPI). Komunitas ini memiliki infrastruktur *repeater*

(stasiun pengulang) mandiri yang sering kali ditempatkan di dataran tinggi, sehingga mampu menjangkau area yang sangat luas. Keterlibatan operator radio amatir dalam ekosistem peringatan dini membuktikan bahwa teknologi mitigasi tidak selalu harus dikendalikan secara eksklusif oleh negara. Partisipasi warga sipil yang memiliki keahlian teknis komunikasi ini merupakan bentuk nyata dari ketangguhan komunitas (*community resilience*) dalam mengatasi kelumpuhan sistem formal.

Untuk mengoptimalkan peran radio komunikasi, pemerintah daerah perlu mengintegrasikan frekuensi komunitas ini ke dalam Standar Operasional Prosedur (SOP) tanggap darurat resmi. Pelatihan bersama antara BPBD dan komunitas radio harus dirutinkan untuk menyamakan protokol komunikasi, sandi kebencanaan, dan hierarki pelaporan informasi. Selain itu, penyediaan alokasi anggaran desa untuk pengadaan perangkat HT bagi satuan tugas perlindungan masyarakat (Linmas) di kawasan pesisir merupakan investasi mitigasi yang sangat rasional. Dengan merawat jaringan komunikasi analog ini, sistem peringatan dini memiliki jaring pengaman terakhir yang memastikan bahwa instruksi penyelamatan nyawa tidak akan pernah terputus oleh kegagalan teknologi modern.

5.4 Kendala Teknis dan Tantangan Operasional TEWS

Keandalan *Tsunami Early Warning System* (TEWS) di Indonesia secara persisten diuji oleh berbagai kendala teknis dan tantangan operasional di lapangan. Meskipun desain arsitektur sistem ini telah mengadopsi standar internasional, implementasinya sering kali berbenturan dengan realitas geografis, keterbatasan anggaran, dan dinamika sosial masyarakat. Kendala-kendala ini menciptakan celah kerentanan yang dapat mendegradasi performa sistem secara drastis pada saat-saat paling kritis. Pemahaman yang objektif terhadap kelemahan operasional ini sangat penting untuk mencegah glorifikasi teknologi yang berlebihan dan mendorong perbaikan sistem yang berkelanjutan.

Tantangan operasional TEWS tidak bersifat tunggal, melainkan merupakan akumulasi dari berbagai faktor yang saling terkait. Mulai dari kerentanan pasokan energi, keterbatasan jangkauan sinyal, hingga masalah sosiologis berupa vandalisme terhadap perangkat negara. Mengatasi kendala ini menuntut pendekatan yang holistik, melibatkan rekayasa keteknikan yang

lebih adaptif, reformasi birokrasi dalam hal pemeliharaan aset, serta pelibatan masyarakat dalam menjaga infrastruktur mitigasi. Tanpa adanya resolusi komprehensif terhadap tantangan operasional ini, investasi triliunan rupiah pada teknologi peringatan dini akan menjadi sia-sia.

5.4.1 Kerentanan Catu Daya Listrik dan Jaringan Komunikasi

Salah satu titik lemah paling fundamental dari infrastruktur TEWS adalah ketergantungannya yang absolut pada pasokan energi listrik. Yuliana dan Setiawan (2023) dalam evaluasinya menyoroti bahwa mayoritas sensor seismik, stasiun *tide gauge*, dan menara sirene di daerah sangat bergantung pada jaringan listrik dari Perusahaan Listrik Negara (PLN). Ketika gempa bumi *megathrust* terjadi, guncangan hebat hampir dapat dipastikan akan memutus jaringan transmisi dan distribusi listrik, memicu *blackout* seketika. Jika sistem cadangan daya (*Uninterruptible Power Supply/UPS* atau genset) pada perangkat TEWS gagal berfungsi akibat kurangnya pemeliharaan, maka instrumen tersebut akan mati total tepat pada saat ia paling dibutuhkan untuk mendeteksi tsunami.

Selain catu daya, kerentanan juga melekat pada infrastruktur jaringan komunikasi terestrial. Yuliana dan Setiawan (2023) menjelaskan bahwa transmisi data dari sensor ke pusat komando, serta dari pusat komando ke sirene lokal, sering kali menggunakan jaringan internet berbasis *fiber optic* atau sinyal seluler. Infrastruktur ini sangat rentan terhadap kerusakan fisik akibat gempa, tanah longsor, atau likuifaksi. Putusnya kabel optik bawah laut atau robohnya menara BTS akan memutus aliran data peringatan dini, mengisolasi kawasan pesisir dari informasi keselamatan. Kerentanan ganda pada sektor energi dan telekomunikasi ini merupakan ancaman sistemik yang dapat melumpuhkan seluruh arsitektur TEWS dalam hitungan detik.

Untuk memitigasi kerentanan ini, setiap simpul kritis dalam TEWS wajib dilengkapi dengan sistem catu daya mandiri yang tangguh. Penggunaan panel surya (*solar cell*) dengan kapasitas baterai siklus dalam (*deep-cycle battery*) yang memadai harus menjadi standar wajib bagi seluruh instrumen lapangan. Selain itu, redundansi jalur komunikasi mutlak diperlukan. Yuliana dan Setiawan (2023) merekomendasikan agar transmisi data peringatan dini tidak hanya bergantung pada jaringan

seluler komersial, tetapi harus di-*backup* secara penuh oleh koneksi satelit *Very Small Aperture Terminal* (VSAT) yang kebal terhadap kerusakan infrastruktur darat. Investasi pada kemandirian energi dan redundansi komunikasi ini adalah harga yang harus dibayar untuk menjamin keandalan sistem di tengah skenario bencana terburuk.

5.4.2 Masalah Blank Spot dan Gangguan Sinyal di Area Terpencil

Kondisi geografis Indonesia yang terdiri dari ribuan pulau dan topografi perbukitan yang ekstrem menciptakan tantangan serius berupa area *blank spot* (titik buta) telekomunikasi. Yuliana dan Setiawan (2023) mencatat bahwa banyak desa nelayan dan kawasan pesisir terpencil yang berada di luar jangkauan sinyal seluler maupun siaran radio terestrial. Di area *blank spot* ini, inovasi diseminasi digital seperti aplikasi InaRISK, SMS *Blast*, maupun notifikasi media sosial menjadi sama sekali tidak berguna. Ketiadaan akses terhadap jaringan komunikasi modern ini menempatkan masyarakat di wilayah terpencil pada posisi kerentanan tertinggi, karena mereka terisolasi dari rantai komando peringatan dini nasional.

Gangguan sinyal juga sering kali terjadi akibat anomali cuaca atau fenomena alam lainnya. Hujan badai yang lebat dapat menyebabkan atenuasi (pelemahan) sinyal satelit VSAT yang digunakan oleh sensor *buoy* atau stasiun seismik terpencil. Yuliana dan Setiawan (2023) menambahkan bahwa topografi perbukitan yang mengelilingi teluk-teluk sempit sering kali menghalangi propagasi gelombang radio VHF/UHF, menyulitkan komunikasi antar-relawan menggunakan HT. Kendala propagasi sinyal ini mendistorsi aliran informasi secara *real-time*, memaksa otoritas lokal untuk mengambil keputusan evakuasi berdasarkan insting atau data yang tidak lengkap.

Mengatasi masalah *blank spot* menuntut intervensi infrastruktur yang afirmatif dari pemerintah pusat. Program pembangunan BTS di daerah Terdepan, Terluar, dan Tertinggal (3T) harus diprioritaskan tidak hanya untuk kepentingan ekonomi, tetapi juga sebagai infrastruktur mitigasi bencana. Sementara itu, untuk kawasan yang secara topografis sangat sulit dijangkau oleh sinyal elektronik, pendekatan mitigasi harus dikembalikan pada penguatan kearifan lokal dan sistem peringatan dini tradisional. Pemasangan kentongan, bedug, atau lonceng di titik-titik

strategis desa, yang dibunyikan berdasarkan observasi visual terhadap tanda-tanda alam, merupakan solusi komplementer yang paling rasional untuk mengisi kekosongan teknologi di area *blank spot*.

5.4.3 Vandalisme, Pencurian, dan Degradasi Komponen Peralatan

Tantangan operasional TEWS tidak hanya bersumber dari faktor alam, tetapi juga dari patologi sosial berupa vandalisme dan pencurian aset negara. Nugroho dan Rahayu (2021) mengungkapkan fakta ironis bahwa banyak instrumen *tsunami buoy* di perairan Indonesia yang tidak berfungsi bukan karena kerusakan teknis, melainkan karena panel surya, baterai, dan antena satelitnya dicuri oleh oknum nelayan atau pihak tak bertanggung jawab. *Buoy* yang terapung di laut lepas sering kali dijadikan tempat bersandar perahu, yang secara perlahan merusak sensor presisi di dalamnya. Tindakan kriminal ini secara langsung membutakan mata sistem peringatan dini nasional, menghilangkan kemampuan deteksi dini di zona *megathrust*.

Selain pencurian, degradasi komponen peralatan akibat faktor lingkungan (*wear and tear*) juga menjadi kendala yang persisten. Nugroho dan Rahayu (2021) menyoroti bahwa instrumen yang ditempatkan di lingkungan laut sangat rentan terhadap *biofouling* (penumpukan organisme laut pada sensor), korosi air garam, dan hantaman gelombang ekstrem. Pemeliharaan instrumen di laut dalam membutuhkan biaya operasional yang sangat mahal dan ketersediaan kapal riset khusus, yang sering kali tidak terakomodasi secara memadai dalam siklus anggaran tahunan pemerintah. Akibatnya, banyak sensor yang dibiarkan rusak tanpa perbaikan, menurunkan tingkat ketersediaan (*availability rate*) data observasi secara signifikan.

Menghadapi tantangan sosiologis dan teknis ini, pendekatan penegakan hukum semata tidaklah cukup. Diperlukan rekayasa sosial untuk menumbuhkan rasa kepemilikan (*sense of belonging*) masyarakat terhadap infrastruktur mitigasi. Nugroho dan Rahayu (2021) merekomendasikan pelibatan komunitas nelayan lokal sebagai mitra pengawas *buoy* di laut, dengan memberikan insentif ekonomi atau fasilitas komunikasi sebagai imbalannya. Dari sisi keteknikan, pengembangan sensor generasi baru yang lebih murah, mudah dirawat, dan memiliki

desain anti-vandalisme (*tamper-proof*) harus terus didorong oleh lembaga riset nasional. Menjaga keandalan peralatan TEWS adalah tanggung jawab kolektif yang menuntut sinergi antara inovasi teknologi, komitmen anggaran, dan kesadaran moral warga negara.

5.4.4 Keterlambatan Informasi (Time Lag) dalam Diseminasi Peringatan

Dalam manajemen krisis tsunami, waktu adalah komoditas yang paling berharga. Keterlambatan informasi (*time lag*) dalam rantai diseminasi peringatan dini merupakan kendala operasional yang paling mematikan. Santoso dan Arifin (2024) dalam analisisnya membedah bahwa *time lag* dapat terjadi di berbagai titik simpul: mulai dari latensi transmisi data sensor ke pusat komando, waktu komputasi algoritma untuk memodelkan ancaman, hingga proses birokrasi dalam mengambil keputusan aktivasi sirene. Meskipun BMKG telah memangkas waktu analisis gempa menjadi kurang dari lima menit, proses diseminasi dari pusat ke tingkat daerah sering kali mengalami hambatan (*bottleneck*) akibat ketidaksiapan operator lokal atau gangguan jaringan komunikasi.

Keterlambatan ini menjadi sangat kritis ketika berhadapan dengan skenario tsunami lokal (*near-field tsunami*), di mana gelombang dapat mencapai garis pantai dalam waktu kurang dari 15 menit pasca-gempa. Santoso dan Arifin (2024) menegaskan bahwa jika total *time lag* dalam sistem mencapai 10 menit, maka masyarakat hanya memiliki sisa waktu evakuasi kurang dari 5 menit. Durasi yang sangat sempit ini hampir mustahil cukup untuk mengevakuasi populasi pesisir yang padat, terutama kelompok rentan. Oleh karena itu, meminimalisasi *time lag* di setiap tahapan proses merupakan indikator kinerja utama (*Key Performance Indicator*) yang paling krusial bagi arsitektur TEWS.

Strategi untuk mereduksi *time lag* menuntut otomasi sistem yang lebih masif dan pemangkasan rantai birokrasi. Penerapan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) dalam memproses data seismik dapat mempercepat penerbitan peringatan awal. Selain itu, Santoso dan Arifin (2024) merekomendasikan penerapan protokol aktivasi sirene semi-otomatis yang memberikan kewenangan *override* kepada sistem pusat jika daerah tidak merespons dalam batas waktu tertentu. Di tingkat masyarakat, edukasi mengenai evakuasi mandiri (*self-evacuation*) pasca-

merasakan guncangan gempa kuat harus terus ditanamkan, sehingga mereka tidak membuang waktu emas hanya untuk menunggu bunyi sirene resmi yang mungkin terlambat datang.

Tabel 5.1 Analisis Komparatif Kanal Diseminasi Peringatan Dini Tsunami

Kanal Diseminasi	Kecepatan Transmisi	Jangkauan & Aksesibilitas	Keunggulan Utama	Kelemahan Utama
Sirene Tsunami	Sangat Cepat (Instan)	Terbatas pada radius akustik (1-2 km); tidak butuh gawai.	Efek kejut psikologis tinggi; menjangkau massa di ruang terbuka.	Rentan rusak/vandalisme; suara teredam oleh topografi/cuaca.
Aplikasi (InaRISK/WR S)	Cepat (Tergantung sinyal)	Personal; butuh <i>smartphone</i> dan koneksi internet aktif.	Informasi spasial detail (rute evakuasi); notifikasi <i>push</i> .	Tidak menjangkau kelompok rentan/gaptek; server rentan <i>down</i> .
SMS Blast / CBS	Sedang (Tergantung trafik)	Luas; menjangkau semua jenis ponsel di area BTS tertentu.	Tidak butuh paket data internet; format teks sederhana.	Potensi <i>delay</i> saat trafik seluler padat pasca-gempa.
Radio Komunikasi (HT)	Cepat (Real-time)	Terbatas pada frekuensi	Kebal terhadap <i>blackout</i>	Terbatas pada operator/relawan; tidak

		komunitas ; butuh perangkat khusus.	listrik/internet; komunikasi dua arah.	langsung ke masyarakat umum.
--	--	-------------------------------------	--	------------------------------

BAB 6

PENGUATAN KAPASITAS KELEMBAGAAN LOKAL UNTUK MITIGASI BENCANA

Pendahuluan

Diskursus mengenai tata kelola penanggulangan bencana di era desentralisasi menempatkan kelembagaan tingkat lokal sebagai episentrum dari arsitektur resiliensi nasional. Secara teoretis, pergeseran paradigma dari sentralisasi komando menuju otonomi mitigasi di tingkat basis didasarkan pada rasionalitas bahwa komunitas lokal adalah entitas pertama yang terpapar dampak destruktif bencana, sekaligus responden pertama (*first responder*) yang harus mengambil tindakan penyelamatan sebelum bantuan eksternal tiba. Bab ini membedah anatomi kelembagaan lokal-mulai dari struktur pemerintahan desa, badan permusyawaratan, hingga jejaring relawan dan organisasi kemasyarakatan-sebagai instrumen vital dalam mengorkestrasi pengurangan risiko bencana. Melalui lensa institusionalisme dan sosiologi organisasi, pembahasan ini mengeksplorasi bagaimana kapasitas struktural, manajerial, dan finansial di tingkat akar rumput dikonstruksi, diuji, dan dioptimalkan untuk menghadapi ancaman krisis yang eskalatif.

Meskipun literatur mengenai desentralisasi kebencanaan telah banyak menyoroti pentingnya pelibatan masyarakat, masih terdapat *research gap* yang signifikan terkait evaluasi kritis terhadap kapasitas aktual kelembagaan desa dalam mengeksekusi mandat mitigasi tersebut. Banyak studi terdahulu cenderung terjebak pada glorifikasi normatif mengenai otonomi desa atau sekadar memetakan struktur formal organisasi relawan, tanpa membedah kesenjangan (*gap*) yang menganga antara ekspektasi regulasi dengan realitas ketersediaan sumber daya di lapangan. Celah akademis ini menciptakan asumsi yang keliru bahwa pembentukan struktur kelembagaan di tingkat desa secara otomatis berbanding lurus dengan peningkatan ketangguhan komunitas. Tanpa adanya dekonstruksi terhadap patologi kelembagaan lokal-seperti asimetri kapasitas sumber daya manusia, keterbatasan literasi teknis, dan politisasi anggaran-strategi

penguatan kapasitas akan cenderung bersifat superfisial dan gagal menyentuh akar kerentanan struktural.

Berangkat dari identifikasi celah penelitian tersebut, bab ini dirumuskan untuk menjawab empat pertanyaan penelitian utama. Pertama, bagaimana tipologi dan sinergitas aktor-aktor kelembagaan lokal membentuk ekosistem tata kelola kebencanaan di tingkat desa? Kedua, sejauh mana evaluasi kapasitas mengungkap kesenjangan fundamental dalam hal sumber daya manusia, pendanaan, dan peralatan operasional di organisasi basis? Ketiga, bagaimana mekanisme manajemen sumber daya, khususnya optimalisasi Dana Desa, dapat direkayasa untuk menjamin keberlanjutan program kesiapsiagaan? Keempat, apa peran kepemimpinan lokal dan bagaimana dinamika koordinasi vertikal-horizontal menentukan efektivitas manajemen krisis di tingkat tapak? Melalui elaborasi komprehensif ini, bab ini diharapkan mampu memberikan kerangka analitis bagi perumusan kebijakan penguatan kapasitas lokal yang lebih presisi dan berdaya tahan tinggi.

6.1 Tipologi Kelembagaan Lokal Penanggulangan Bencana

Kelembagaan lokal dalam konteks penanggulangan bencana bukanlah sebuah entitas monolitik, melainkan sebuah ekosistem yang terdiri dari beragam aktor dengan mandat, rasionalitas, dan basis legitimasi yang berbeda-beda. Tipologi kelembagaan ini secara garis besar dapat diklasifikasikan ke dalam dua domain utama: institusi formal-legalistik yang direpresentasikan oleh aparaturnya pemerintahan desa, dan institusi semi-formal atau informal yang digerakkan oleh partisipasi masyarakat sipil. Pemahaman terhadap tipologi ini sangat krusial untuk memetakan distribusi peran, kewenangan, dan tanggung jawab dalam setiap fase kebencanaan, mulai dari mitigasi, kesiapsiagaan, hingga tanggap darurat dan pemulihan.

Interaksi antar-aktor dalam tipologi kelembagaan lokal ini sering kali menentukan tingkat kelincahan (*agility*) suatu desa dalam merespons krisis. Ketika institusi formal mampu bersinergi secara harmonis dengan jejaring relawan dan organisasi kultural, desa tersebut akan memiliki daya lenting yang luar biasa. Sebaliknya, jika terjadi fragmentasi atau tumpang

tindih kewenangan di antara elemen-elemen lokal ini, upaya mitigasi akan berujung pada inefisiensi dan kebingungan komando di lapangan. Oleh karena itu, mengurai tipologi kelembagaan lokal adalah langkah pertama untuk merancang intervensi penguatan kapasitas yang tepat sasaran.

Gambar 6.1: Peta Tipologi dan Jejaring Kelembagaan Lokal dalam Ekosistem Penanggulangan Bencana di Tingkat Desa, mengilustrasikan interaksi antara aktor formal (Pemdes/BPD) dan aktor informal (Relawan/Komunitas).

6.1.1 Peran Pemerintah Desa/Kelurahan dan Badan Permusyawaratan Desa (BPD)

Pemerintah Desa (Pemdes) dan Badan Permusyawaratan Desa (BPD) merupakan pilar utama yang menyangga arsitektur legal-formal tata kelola kebencanaan di tingkat basis. Widodo dan Arifin (2021) mengartikulasikan bahwa relasi antara Pemdes sebagai lembaga eksekutif dan BPD sebagai representasi legislatif desa sangat menentukan arah kebijakan mitigasi lokal. Kepala Desa memegang otoritas komando dalam mengeksekusi program-program pengurangan risiko bencana, memobilisasi sumber daya aparatur, dan menetapkan status keadaan darurat skala desa. Di sisi lain, BPD memiliki fungsi krusial dalam menyerap aspirasi masyarakat terkait kerentanan lingkungan, merumuskan regulasi desa, serta melakukan pengawasan terhadap kinerja Pemdes dalam mengelola krisis.

Sinergitas antara kedua lembaga ini termanifestasi secara konkret dalam proses perumusan produk hukum lokal, seperti Peraturan Desa (Perdes) tentang Penanggulangan Bencana. Widodo dan Arifin (2021) menyoroti bahwa Perdes ini berfungsi sebagai konstitusi mikro yang memberikan legitimasi yuridis bagi alokasi anggaran mitigasi dan pembentukan satuan tugas relawan. Tanpa adanya payung hukum yang disepakati bersama oleh Pemdes dan BPD, inisiatif kesiapsiagaan sering kali dianggap ilegal atau menyalahi prosedur administrasi keuangan negara. Oleh karena itu, harmonisasi visi antara Kepala Desa dan anggota BPD merupakan prasyarat mutlak agar isu kebencanaan dapat diarusutamakan (*mainstreaming*) ke dalam Rencana Pembangunan Jangka Menengah Desa (RPJMDes).

Namun, realitas empiris sering kali memperlihatkan adanya dinamika politik lokal yang menghambat sinergitas tersebut. Perbedaan afiliasi politik atau konflik kepentingan antara Kepala Desa dan BPD kerap berujung pada kebuntuan (*deadlock*) dalam pengesahan anggaran mitigasi. Selain itu, rendahnya literasi risiko di kalangan aparatur desa menyebabkan isu kebencanaan sering kali dipinggirkan dan kalah bersaing dengan program pembangunan infrastruktur fisik yang bernilai elektoral tinggi. Mengatasi patologi kelembagaan ini menuntut adanya intervensi dari pemerintah supra-desa (kabupaten/provinsi) berupa pendampingan teknis dan peningkatan kapasitas advokasi bagi BPD, sehingga mereka mampu menjalankan fungsi *check and balances* secara efektif dalam mendorong kebijakan desa yang berperspektif ketangguhan bencana.

6.1.2 Eksistensi Relawan KSB (Kampung Siaga Bencana) dan TSBD (Tim Siaga Bencana Desa)

Di luar struktur birokrasi formal, eksistensi kelompok relawan seperti Kampung Siaga Bencana (KSB) dan Tim Siaga Bencana Desa (TSBD) merepresentasikan ujung tombak operasional dalam kerangka *Community-Based Disaster Risk Management* (CBDRM). Hidayat dan Kusuma (2022) menjelaskan bahwa KSB merupakan wadah partisipatif yang diinisiasi untuk merekayasa kesiapsiagaan masyarakat melalui pendekatan edukasi, simulasi, dan pengorganisasian sumber daya lokal. Anggota KSB dan TSBD umumnya direkrut dari warga setempat yang memiliki dedikasi tinggi, pemahaman mendalam terhadap topografi wilayah, serta kemampuan untuk memobilisasi massa. Keberadaan mereka menjembatani kesenjangan antara kebijakan makro pemerintah daerah dengan kebutuhan taktis penyelamatan di tingkat rukun tetangga (RT) atau rukun warga (RW).

Secara operasional, peran KSB dan TSBD mencakup spektrum yang sangat luas di seluruh fase kebencanaan. Pada fase prabencana, mereka bertugas menyusun peta risiko desa secara partisipatif, merawat jalur evakuasi, dan mendiseminasikan informasi peringatan dini dari BMKG atau BPBD kepada warga. Hidayat dan Kusuma (2022) menekankan bahwa saat krisis terjadi, relawan inilah yang pertama kali melakukan kaji cepat (*rapid assessment*), mendirikan tenda pengungsian sementara, dan mengoperasikan dapur umum sebelum bantuan logistik dari luar tiba. Kecepatan respons KSB

sangat krusial dalam menekan angka fatalitas, mengingat mereka beroperasi di dalam *golden time* evakuasi yang sering kali tidak dapat dijangkau oleh tim SAR dari kabupaten atau provinsi.

Meskipun memiliki peran yang sangat vital, keberlanjutan (*sustainability*) organisasi relawan ini sering kali dihadapkan pada tantangan struktural yang serius. Fenomena kelelahan relawan (*volunteer fatigue*) kerap terjadi akibat minimnya insentif, ketiadaan jaminan perlindungan sosial (asuransi) saat bertugas di zona bahaya, serta stagnasi program pasca-berakhirnya pendampingan dari lembaga donor atau pemerintah pusat. Hidayat dan Kusuma (2022) menggarisbawahi perlunya pelembagaan KSB ke dalam struktur permanen desa, di mana biaya operasional dan peningkatan kapasitas mereka dijamin secara reguler melalui Anggaran Pendapatan dan Belanja Desa (APBDes). Tanpa adanya dukungan institusional yang kuat, semangat kerelawanan ini berisiko memudar, meninggalkan desa dalam kondisi kerentanan yang kembali tinggi.

6.1.3 Kontribusi Organisasi Pemuda, Keagamaan, dan Komunitas Lokal

Ekosistem kelembagaan lokal tidak akan lengkap tanpa memperhitungkan kontribusi dari organisasi kemasyarakatan yang bersifat kultural dan informal, seperti Karang Taruna, Remaja Masjid, perkumpulan pemuda gereja, hingga kelompok arisan warga. Meskipun organisasi-organisasi ini tidak didirikan secara spesifik untuk tujuan penanggulangan bencana, mereka memiliki modal sosial berupa kohesi internal yang sangat kuat dan jaringan komunikasi yang mengakar di tengah masyarakat. Dalam situasi krisis, struktur informal ini sering kali bertransformasi secara organik menjadi unit-unit tanggap darurat yang sangat efektif, mengisi ruang-ruang kosong yang tidak terjangkau oleh aparat desa maupun relawan formal.

Organisasi pemuda, misalnya, memiliki keunggulan komparatif dalam hal mobilitas fisik dan literasi digital. Mereka dapat dengan cepat dimobilisasi untuk melakukan evakuasi kelompok rentan, mendistribusikan logistik di medan yang sulit, serta mengelola arus informasi melalui media sosial untuk menangkal penyebaran hoaks. Sementara itu, organisasi keagamaan memegang peranan sentral dalam manajemen pengungsi dan dukungan psikososial. Rumah ibadah sering kali dialihfungsikan secara spontan

menjadi *shelter* darurat yang aman, sementara para pemuka agama memberikan pendampingan spiritual untuk meredakan trauma kolektif para penyintas. Kontribusi ini membuktikan bahwa mitigasi bencana di tingkat lokal sangat bergantung pada kelenturan fungsi dari pranata sosial yang telah eksis.

Tantangan strategis bagi pemerintah desa adalah bagaimana mengintegrasikan potensi organisasi informal ini ke dalam skenario kontinjensi resmi tanpa merusak independensi dan karakter organik mereka. Pendekatan yang terlalu birokratis justru dapat mematikan inisiatif spontan dari komunitas lokal. Oleh karena itu, strategi yang paling rasional adalah memposisikan organisasi-organisasi ini sebagai mitra strategis dalam Forum Pengurangan Risiko Bencana (FPRB) tingkat desa. Melalui pelibatan dalam simulasi evakuasi gabungan dan pelatihan pertolongan pertama, kapasitas teknis mereka dapat ditingkatkan sehingga tindakan penyelamatan yang dilakukan menjadi lebih terukur, aman, dan selaras dengan protokol standar operasional penanganan krisis.

6.2 Evaluasi Kapasitas Kelembagaan di Tingkat Basis

Evaluasi kapasitas kelembagaan merupakan instrumen diagnostik yang esensial untuk mengukur sejauh mana struktur organisasi lokal mampu menerjemahkan mandat mitigasi menjadi tindakan operasional yang efektif. Keberadaan dokumen regulasi atau papan nama organisasi relawan di balai desa tidak serta-merta merepresentasikan ketangguhan yang sesungguhnya. Evaluasi ini bertujuan untuk membongkar fasad administratif tersebut dan memotret realitas kesiapsiagaan secara objektif. Melalui pendekatan analitis yang sistematis, otoritas kebencanaan dapat mengidentifikasi titik-titik lemah (*bottlenecks*) dalam sistem lokal yang berpotensi memicu kegagalan sistemik saat bencana berskala besar melanda kawasan tersebut.

Proses evaluasi ini menuntut pengukuran yang komprehensif terhadap berbagai dimensi kapasitas, mulai dari kompetensi teknis sumber daya manusia, kecukupan ruang fiskal, hingga ketersediaan infrastruktur pendukung. Hasil dari evaluasi ini tidak ditujukan untuk menghakimi kinerja aparatur desa, melainkan sebagai basis data empiris (*evidence-based*) untuk merumuskan peta jalan (*roadmap*) peningkatan kapasitas

yang terukur. Tanpa adanya evaluasi yang berkala dan transparan, program intervensi dari pemerintah supra-desa akan cenderung bersifat seragam (*one-size-fits-all*), tidak tepat sasaran, dan gagal menjawab kebutuhan spesifik dari masing-masing desa yang memiliki karakteristik kerentanan yang berbeda-beda.

6.2.1 Analisis Kesiapsiagaan dan Respons Organisasi Lokal

Kesiapsiagaan (*preparedness*) organisasi lokal merupakan indikator prediktif yang paling valid untuk mengukur potensi keberhasilan respons saat fase tanggap darurat. Mutiarin dan Sari (2023) dalam evaluasinya terhadap kapasitas kelembagaan lokal di wilayah rawan tsunami menegaskan bahwa kesiapsiagaan tidak hanya diukur dari ketersediaan dokumen Rencana Kontinjensi (Renkon), tetapi dari sejauh mana dokumen tersebut dipahami dan dilatihkan secara rutin oleh seluruh elemen organisasi. Analisis kesiapsiagaan membedah kemampuan Pemdes dan relawan dalam mengoperasikan sistem peringatan dini lokal, memobilisasi sumber daya dalam waktu singkat, serta mengeksekusi skenario evakuasi sesuai dengan pembagian tugas yang telah disepakati.

Dalam konteks respons organisasi, evaluasi difokuskan pada kelincahan manajerial saat menghadapi situasi yang penuh dengan ketidakpastian dan tekanan waktu (*time-compressed decision making*). Mutiarin dan Sari (2023) menyoroti bahwa banyak organisasi lokal yang mengalami kelumpuhan komando (*command paralysis*) pada menit-menit pertama pasca-gempa karena ketiadaan figur pemimpin yang berani mengambil keputusan, atau karena rusaknya jalur komunikasi. Kemampuan organisasi untuk segera mengaktifkan Pos Komando (Posko) darurat desa, melakukan pendataan awal korban, dan berkoordinasi dengan Pusdalops kabupaten merupakan metrik utama dalam menilai efektivitas respons. Kegagalan pada fase awal ini akan berakibat pada eskalasi kekacauan dan meningkatnya jumlah korban jiwa yang seharusnya dapat dicegah.

Kesenjangan antara kesiapsiagaan di atas kertas dan respons aktual di lapangan sering kali berakar pada minimnya frekuensi simulasi terpadu (*drill exercise*). Organisasi lokal yang jarang melakukan gladi lapang cenderung kehilangan memori otot (*muscle memory*) institusionalnya. Oleh karena itu, analisis kesiapsiagaan harus bermuara pada rekomendasi

pelembagaan simulasi bencana sebagai agenda tahunan wajib desa. Evaluasi pasca-simulasi (*after-action review*) menjadi instrumen pembelajaran yang sangat berharga untuk merevisi kelemahan SOP, memperbaiki rute evakuasi yang macet, dan meningkatkan kohesi kerja antar-relawan sebelum mereka dihadapkan pada realitas bencana yang sesungguhnya.

6.2.2 Identifikasi Kesenjangan Kapasitas: SDM, Pendanaan, dan Peralatan

Identifikasi kesenjangan kapasitas (*capacity gap analysis*) merupakan inti dari evaluasi kelembagaan yang memetakan defisit sumber daya di tingkat basis. Pada dimensi Sumber Daya Manusia (SDM), Mutiarin dan Sari (2023) menemukan bahwa mayoritas aparatur desa dan relawan lokal tidak memiliki latar belakang pendidikan formal di bidang manajemen bencana. Kesenjangan kompetensi ini sangat terasa dalam hal kemampuan teknis, seperti pengoperasian alat komunikasi radio, teknik pertolongan pertama gawat darurat (PPGD), hingga kemampuan menyusun laporan kaji cepat yang sesuai dengan standar BNPB. Rotasi perangkat desa pasca-pemilihan kepala desa (Pilkades) juga sering kali menghapus akumulasi pengetahuan yang telah dibangun, menciptakan diskontinuitas kapasitas SDM yang kronis.

Di sektor pendanaan, kesenjangan kapasitas termanifestasi dalam bentuk ketergantungan fiskal yang tinggi terhadap pemerintah daerah atau lembaga donor. Meskipun desa memiliki otonomi anggaran, alokasi untuk mitigasi bencana sering kali sangat minim dan bersifat reaktif (hanya dicairkan saat bencana terjadi). Mutiarin dan Sari (2023) menggarisbawahi bahwa ketiadaan pos anggaran khusus untuk pemeliharaan alat peringatan dini, operasional pelatihan relawan, atau pengadaan logistik cadangan membuat organisasi lokal lumpuh secara finansial dalam menjalankan program prabencana. Kesenjangan pendanaan ini mencerminkan belum terinternalisasinya paradigma pengurangan risiko bencana dalam politik anggaran di tingkat desa.

Kesenjangan ketiga terletak pada ketersediaan peralatan dan infrastruktur operasional. Banyak KSB atau TSBD yang dibentuk dengan semangat tinggi namun tidak dibekali dengan Alat Pelindung Diri (APD) yang memadai,

peralatan evakuasi standar (seperti tandu, perahu karet, atau gergaji mesin), maupun alat komunikasi darurat yang independen dari jaringan seluler. Ketiadaan peralatan ini tidak hanya menghambat efektivitas operasi penyelamatan, tetapi juga membahayakan keselamatan jiwa para relawan itu sendiri. Identifikasi kesenjangan tripartit (SDM, dana, alat) ini memberikan justifikasi empiris bagi pemerintah pusat dan daerah untuk merealokasi program bantuan kapasitas agar lebih proporsional dan berbasis pada kebutuhan nyata organisasi di garis depan.

6.2.3 Studi Kasus Penguatan Kapasitas di Berbagai Wilayah Pesisir

Meskipun dihadapkan pada berbagai kesenjangan, sejumlah wilayah pesisir di Indonesia telah berhasil menunjukkan praktik baik (*best practices*) dalam penguatan kapasitas kelembagaan lokal. Studi kasus di kawasan pesisir selatan Jawa dan barat Sumatera memperlihatkan bahwa intervensi yang berkelanjutan mampu mentransformasi desa rentan menjadi entitas yang tangguh. Keberhasilan ini umumnya dipicu oleh adanya pendampingan intensif dari perguruan tinggi atau Non-Governmental Organizations (NGO) yang tidak hanya memberikan bantuan fisik, tetapi juga melakukan transfer pengetahuan (*knowledge transfer*) secara sistematis kepada kader-kader lokal. Pendekatan partisipatif ini memastikan bahwa program penguatan kapasitas berakar pada kearifan lokal dan diterima secara kultural oleh masyarakat.

Salah satu model keberhasilan yang menonjol adalah integrasi teknologi tepat guna dengan kelembagaan desa. Di beberapa desa pesisir, relawan lokal dilatih untuk merakit dan memelihara instrumen peringatan dini sederhana berbasis sensor pasang surut air laut atau ekstensometer untuk deteksi longsor. Pelatihan teknis ini secara drastis meningkatkan kemandirian desa, karena mereka tidak lagi bergantung sepenuhnya pada teknisi dari pusat untuk memperbaiki alat yang rusak. Selain itu, pembentukan unit usaha milik desa (BUMDes) yang menyisihkan sebagian keuntungannya untuk dana cadangan bencana merupakan inovasi brilian dalam mengatasi kesenjangan pendanaan, menciptakan kemandirian fiskal yang berkelanjutan bagi operasional relawan.

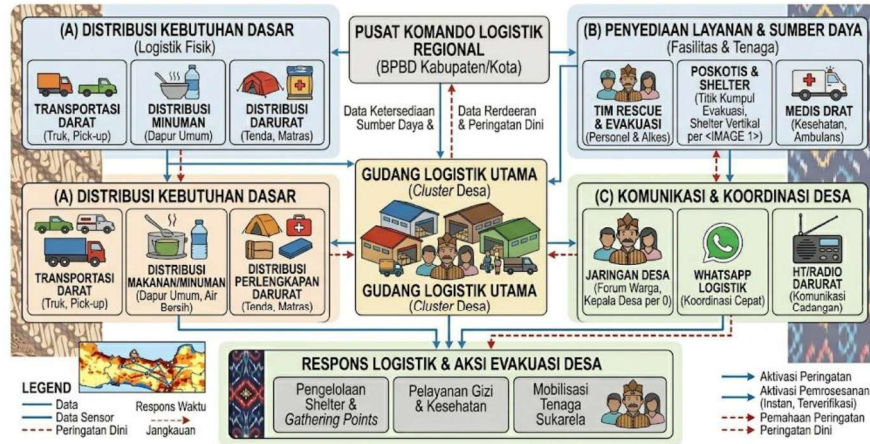
Pelajaran strategis yang dapat diekstraksi dari berbagai studi kasus ini adalah bahwa penguatan kapasitas tidak dapat dilakukan melalui

pendekatan proyek jangka pendek (*hit and run*). Transformasi kelembagaan membutuhkan waktu untuk mengubah kultur organisasi, membangun kepercayaan, dan melembagakan SOP baru. Oleh karena itu, replikasi model keberhasilan ini ke wilayah pesisir lainnya menuntut komitmen jangka panjang dari pemerintah daerah untuk bertindak sebagai fasilitator dan mentor. Dengan mempromosikan pertukaran pengalaman antar-desa (*peer-to-peer learning*) melalui forum relawan lintas daerah, praktik-praktik inovatif ini dapat didiseminasikan secara luas, mempercepat proses peningkatan kapasitas kelembagaan lokal secara nasional.

6.3 Manajemen Sumber Daya dan Anggaran Lokal

Manajemen sumber daya dan tata kelola anggaran di tingkat lokal merupakan urat nadi yang menentukan keberlangsungan operasional dari seluruh arsitektur mitigasi bencana. Dalam perspektif desentralisasi fiskal, pelimpahan wewenang kepada pemerintah desa tidak akan memiliki makna strategis apabila tidak diiringi dengan kapasitas untuk memobilisasi, mengalokasikan, dan mempertanggungjawabkan sumber daya finansial serta material secara mandiri. Ketiadaan manajemen sumber daya yang terstruktur sering kali mereduksi program kesiapsiagaan menjadi sekadar retorika administratif yang lumpuh ketika dihadapkan pada realitas krisis yang menuntut ketersediaan logistik secara instan.

Oleh karena itu, rekayasa tata kelola sumber daya di tingkat basis menuntut adanya pergeseran paradigma dari pendekatan yang bersifat reaktif-karitatif menuju pendekatan proaktif-investatif. Pemerintah desa dituntut untuk memiliki visi spasial dan finansial jangka panjang, di mana alokasi anggaran untuk mitigasi tidak lagi dipandang sebagai *sunk cost* (biaya hangus), melainkan sebagai investasi perlindungan aset dan nyawa warga. Sinergi antara optimalisasi instrumen fiskal formal, seperti Dana Desa, dengan pengelolaan logistik darurat dan skema kolaborasi lintas batas administratif, akan membentuk jaring pengaman sosial-ekonomi yang tangguh dalam menyerap guncangan katastrofik.



Gambar 6.2: Skema Manajemen Logistik Darurat dan Alur Distribusi Sumber Daya Berbasis Kerjasama Antar-Desa di Kawasan Pesisir Rawan Tsunami

Gambar 6.2: Skema Manajemen Logistik Darurat dan Alur Distribusi Sumber Daya Berbasis Kerjasama Antar-Desa di Kawasan Pesisir Rawan Tsunami.

6.3.1 Pemanfaatan Dana Desa untuk Program Mitigasi dan Kesiapsiagaan

Kehadiran instrumen fiskal berupa Dana Desa telah merevolusi lanskap pembangunan di tingkat akar rumput, memberikan ruang otonomi yang belum pernah terjadi sebelumnya bagi komunitas lokal untuk mendesain masa depan mereka sendiri. Pratama dan Setiawan (2022) mengartikulasikan bahwa secara regulatori, Dana Desa memiliki fleksibilitas yang memungkinkan pengalokasian anggaran secara spesifik untuk sub-bidang penanggulangan bencana, keadaan darurat, dan mendesak desa. Fleksibilitas ini secara teoretis memberikan amunisi finansial yang sangat kuat bagi pemerintah desa untuk mengeksekusi program mitigasi struktural, seperti pembangunan jalur evakuasi, maupun mitigasi non-struktural, seperti pelatihan relawan dan simulasi kebencanaan. Optimalisasi dana ini merupakan manifestasi nyata dari kemandirian fiskal dalam merespons ancaman geologis yang mengintai kawasan pesisir.

Namun, realitas empiris menunjukkan bahwa pemanfaatan Dana Desa untuk sektor kebencanaan sering kali terpinggirkan oleh dominasi proyek infrastruktur fisik yang dianggap lebih populis dan memiliki visibilitas

politik yang tinggi. Pratama dan Setiawan (2022) menyoroti bahwa rendahnya literasi risiko di kalangan elit desa dan Badan Permusyawaratan Desa (BPD) menyebabkan usulan program kesiapsiagaan kerap dicoret dalam forum Musyawarah Perencanaan Pembangunan Desa (Musrenbangdes). Keengganan untuk mengalokasikan dana pada program mitigasi juga dipicu oleh ketakutan aparat desa terhadap potensi temuan audit dari inspektorat, mengingat parameter keberhasilan program non-fisik (seperti peningkatan kapasitas warga) dinilai lebih sulit diukur secara kuantitatif dibandingkan dengan pembangunan jalan atau jembatan.

Untuk mendobrak kebuntuan alokasi ini, diperlukan intervensi kebijakan dari pemerintah supra-desa berupa penetapan persentase minimal (*earmarking*) dari total Dana Desa yang wajib disisihkan untuk program pengurangan risiko bencana. Selain itu, Pratama dan Setiawan (2022) merekomendasikan penyusunan petunjuk teknis (juknis) yang sangat detail dan komprehensif dari Kementerian Desa PDTT, yang secara eksplisit melegitimasi penggunaan dana untuk pemeliharaan alat peringatan dini, pengadaan logistik darurat, dan insentif bagi relawan Kampung Siaga Bencana (KSB). Melalui kepastian hukum dan pendampingan advokasi anggaran yang berkelanjutan, Dana Desa dapat ditransformasikan menjadi katalisator utama dalam membangun resiliensi komunitas pesisir secara mandiri dan berkesinambungan.

6.3.2 Ketersediaan Alat Pelindung Diri (APD) dan Logistik Darurat di Tingkat Desa

Kesiapsiagaan operasional di tingkat tapak sangat bergantung pada ketersediaan instrumen pendukung fisik, khususnya Alat Pelindung Diri (APD) dan cadangan logistik darurat. Yuliana dan Rahman (2024) dalam kajiannya menegaskan bahwa relawan lokal yang tergabung dalam Tim Siaga Bencana Desa (TSBD) merupakan responden pertama yang harus berhadapan langsung dengan kondisi medan yang sangat berbahaya pasca-tsunami. Tanpa dilengkapi dengan APD yang memenuhi standar keselamatan—seperti helm *rescue*, sepatu *safety*, rompi pelampung, dan sarung tangan tebal—tindakan penyelamatan yang mereka lakukan justru berpotensi menambah jumlah korban jiwa dari pihak penolong itu sendiri. Ketersediaan APD bukan sekadar kelengkapan administratif, melainkan

prasyarat mutlak yang menjamin keamanan dan kepercayaan diri relawan saat mengeksekusi manuver evakuasi di tengah puing-puing reruntuhan.

Di samping perlengkapan keselamatan personel, manajemen logistik darurat di tingkat desa merupakan pilar krusial untuk mempertahankan kelangsungan hidup penyintas pada fase *golden time*, sebelum rantai pasok bantuan dari pemerintah kabupaten atau provinsi berhasil menembus wilayah terdampak. Yuliana dan Rahman (2024) menyoroti bahwa desa-desa di kawasan pesisir rawan tsunami wajib memiliki lumbung sosial atau gudang logistik terdesentralisasi yang ditempatkan di zona aman (dataran tinggi). Gudang ini harus secara rutin diisi dengan kebutuhan dasar yang memiliki masa simpan panjang, seperti makanan siap saji, air mineral kemasan, tenda komunal, selimut, dan perlengkapan sanitasi khusus untuk kelompok rentan (perempuan, bayi, dan lansia). Desentralisasi logistik ini memutus ketergantungan absolut pada bantuan eksternal yang sering kali terhambat oleh rusaknya infrastruktur jalan dan jembatan.

Tantangan terbesar dalam manajemen logistik lokal adalah memastikan rotasi barang (*stock rotation*) berjalan dengan baik untuk mencegah kedaluwarsa, serta menjaga keamanan gudang dari potensi pencurian atau kerusakan akibat cuaca. Yuliana dan Rahman (2024) merekomendasikan integrasi pengelolaan lumbung sosial ini dengan Badan Usaha Milik Desa (BUMDes) atau koperasi warga. Dalam skema ini, barang-barang logistik dapat diputar sebagai komoditas niaga sehari-hari, namun dengan klausul bahwa stok minimal (*buffer stock*) harus selalu tersedia dan siap ditarik kapan saja saat status darurat ditetapkan. Pendekatan sirkuler ini tidak hanya menjamin kesegaran logistik darurat, tetapi juga memberikan nilai tambah ekonomi bagi desa di masa normal.

6.3.3 Skema Kerjasama Antar-Desa dalam Evakuasi dan Penanganan Pengungsi

Dampak destruktif dari bencana tsunami tidak pernah mengenal batas-batas administratif pemerintahan. Oleh karena itu, strategi mitigasi yang hanya berfokus pada ego-sektoral satu desa akan terbukti tidak memadai ketika gelombang raksasa menyapu kawasan pesisir secara luas. Yuliana dan Rahman (2024) memaparkan urgensi pembentukan skema kerjasama

antar-desas (*inter-village cooperation*), khususnya melalui konsep "Desa Bersaudara" (*Sister Village*). Konsep ini mengikat secara formal desadesa yang berada di zona merah (pesisir) dengan desadesa penyangga yang berada di zona aman (dataran tinggi atau pedalaman). Perjanjian kerjasama ini mencakup komitmen untuk saling berbagi sumber daya, menyediakan lahan evakuasi, dan menampung arus pengungsi secara terorganisir saat krisis terjadi.

Secara operasional, skema Desa Bersaudara memecahkan salah satu masalah paling pelik dalam manajemen pengungsi, yakni ketiadaan lahan yang representatif untuk mendirikan *shelter* darurat di desa terdampak. Yuliana dan Rahman (2024) menjelaskan bahwa melalui kesepakatan prabencana, desa penyangga telah menyiapkan fasilitas publik merekaseperti lapangan olahraga, balai desa, atau gedung sekolahuntuk dialihfungsikan seketika menjadi titik kumpul akhir (*final gathering point*). Selain itu, kerjasama ini juga mengatur pembagian beban logistik, di mana desa penyangga berkomitmen untuk mengaktifkan dapur umum dan menyediakan pasokan air bersih pada hari-hari pertama pasca-bencana, sementara desa terdampak fokus pada proses pencarian dan penyelamatan warganya.

Untuk memastikan skema ini tidak hanya berhenti sebagai dokumen *Memorandum of Understanding* (MoU) di atas meja, diperlukan simulasi evakuasi gabungan yang melibatkan warga dari kedua desa secara rutin. Yuliana dan Rahman (2024) menekankan bahwa interaksi kultural prabencana ini sangat penting untuk membangun kohesi sosial dan mereduksi potensi konflik horizontal yang sering kali muncul akibat perebutan sumber daya di lokasi pengungsian. Dengan melembagakan kerjasama lintas batas ini, pemerintah daerah dapat menciptakan sabuk resiliensi spasial yang terintegrasi, di mana beban katastrofik didistribusikan secara proporsional dan solidaritas komunal bertransformasi menjadi instrumen penyelamatan yang sangat efektif.

6.4 Kepemimpinan Lokal dan Koordinasi dalam Manajemen Bencana

Efektivitas dari seluruh infrastruktur teknologi, alokasi anggaran, dan kesiapan logistik pada akhirnya akan bermuara pada kualitas

kepemimpinan dan arsitektur koordinasi di lapangan. Dalam situasi krisis yang ditandai oleh kepanikan massal, ambiguitas informasi, dan tekanan waktu yang ekstrem, kehadiran figur pemimpin yang mampu mengorkestrasi kekacauan menjadi tindakan yang terstruktur adalah penentu utama antara keselamatan dan fatalitas. Kepemimpinan lokal dalam manajemen bencana tidak sekadar menuntut legitimasi administratif, melainkan membutuhkan ketangkasan taktis, kecerdasan emosional, dan kemampuan untuk mengonsolidasikan berbagai faksi di masyarakat.

Lebih jauh, kepemimpinan yang kuat harus ditopang oleh mekanisme koordinasi yang presisi, baik secara vertikal dengan otoritas supra-desa maupun secara horizontal dengan sesama aktor lokal. Disfungsi pada simpul koordinasi ini sering kali memicu tumpang tindih instruksi, duplikasi distribusi bantuan, dan terabaikannya kelompok-kelompok rentan di titik-titik terisolasi. Oleh karena itu, membedah dinamika kepemimpinan dan merajut benang merah koordinasi merupakan langkah pamungkas dalam mengonsolidasikan kapasitas kelembagaan lokal menjadi sebuah mesin respons krisis yang andal dan berwibawa.

6.4.1 Peran Pemimpin Komunitas sebagai Manajer Krisis di Tingkat Basis

Dalam ekosistem tata kelola desa, Kepala Desa beserta jajaran tokoh masyarakat mengemban mandat ganda: sebagai administrator pembangunan di masa normal, dan bertransformasi secara instan menjadi manajer krisis (*crisis manager*) saat bencana melanda. Susanto dan Wibowo (2021) mengartikulasikan bahwa transisi peran ini menuntut pergeseran gaya kepemimpinan dari pendekatan birokratis-deliberatif menuju komando yang asertif dan direktif. Sebagai manajer krisis di garis depan, pemimpin lokal adalah otoritas pertama yang harus mengambil keputusan krusial-seperti membunyikan alarm evakuasi lokal atau menetapkan titik kumpul darurat-sering kali hanya berdasarkan informasi yang sangat terbatas dan insting observasi terhadap anomali alam.

Kapasitas manajerial ini sangat diuji pada fase *golden time*, di mana setiap detik keraguan dapat dibayar dengan nyawa warga. Susanto dan Wibowo (2021) menyoroti bahwa pemimpin komunitas harus mampu mengendalikan kepanikan pribadinya dan memancarkan ketenangan

(*calmness*) yang dapat menular kepada massa. Mereka bertugas mengaktifkan struktur Pos Komando (Posko) desa, mendelegasikan tugas secara cepat kepada komandan regu relawan, dan memastikan bahwa protokol evakuasi bagi kelompok rentan (lansia, difabel, anak-anak) dieksekusi tanpa penundaan. Kegagalan pemimpin lokal dalam mengambil alih kendali pada menit-menit pertama ini akan menciptakan vakum kekuasaan yang memicu tindakan penyelamatan sporadis dan tidak terarah.

Namun, realitas di lapangan sering kali menunjukkan adanya fenomena kelumpuhan kepemimpinan (*leadership paralysis*) akibat trauma psikologis atau karena pemimpin tersebut turut menjadi korban bencana. Untuk memitigasi risiko ini, Susanto dan Wibowo (2021) menekankan pentingnya pelembagaan rantai komando cadangan (*chain of command redundancy*) dalam Rencana Kontinjensi Desa. Jika Kepala Desa berhalangan, mandat komando harus secara otomatis beralih kepada Sekretaris Desa, Ketua BPD, atau Komandan KSB yang telah ditunjuk sebelumnya. Kejelasan garis suksesi darurat ini memastikan bahwa mesin manajemen krisis di tingkat basis tidak akan pernah kehilangan nakhoda, seburuk apa pun guncangan awal yang menghantam struktur pemerintahan desa.

6.4.2 Pengaruh Kepemimpinan Karismatik terhadap Kepatuhan Warga dalam Evakuasi

Di tengah masyarakat pesisir yang masih memegang teguh nilai-nilai paternalistik dan patron-klien, efektivitas instruksi evakuasi sering kali tidak ditentukan oleh kecanggihan teknologi sirene, melainkan oleh siapa yang menyampaikan instruksi tersebut. Susanto dan Wibowo (2021) dalam analisis sosiologisnya menemukan bahwa kepemimpinan karismatik-yang melekat pada tokoh adat, kiai, pendeta, atau sesepuh desa-memiliki daya persuasi yang jauh melampaui otoritas formal aparaturnegara. Karisma ini bersumber dari akumulasi kepercayaan (*trust*), integritas moral, dan rekam jejak pengabdian tokoh tersebut di tengah komunitasnya. Ketika sirene resmi pemerintah gagal meyakinkan warga yang skeptis, seruan evakuasi dari tokoh karismatik ini mampu memutus rantai keraguan dan memicu pergerakan massa secara masif.

Pengaruh kepemimpinan karismatik ini sangat krusial dalam mengatasi fenomena resistensi evakuasi, di mana warga menolak meninggalkan rumah karena takut harta bendanya dijarah atau karena terikat pada fatalisme religius (pasrah pada takdir). Susanto dan Wibowo (2021) menjelaskan bahwa tokoh agama dan adat mampu membingkai ulang (*reframing*) narasi mitigasi menggunakan bahasa kultural dan teologis yang mudah dicerna. Mereka dapat memberikan justifikasi moral bahwa upaya menyelamatkan diri (ikhtiar) adalah bagian dari kewajiban agama, sehingga menghapus hambatan psikologis warga. Kepatuhan yang lahir dari ketundukan kultural ini terbukti sangat efektif dalam mempercepat proses pengosongan zona bahaya tanpa perlu menggunakan paksaan fisik.

Oleh karena itu, arsitektur komunikasi risiko di tingkat lokal wajib mengintegrasikan para pemimpin karismatik ini sebagai agen diseminasi utama. Pemerintah desa dan BPBD tidak boleh memposisikan mereka sekadar sebagai objek sosialisasi, melainkan harus dilibatkan secara aktif sejak fase penyusunan peta risiko hingga simulasi lapangan. Susanto dan Wibowo (2021) merekomendasikan pembekalan literasi saintifik dasar mengenai mekanisme tsunami kepada para tokoh ini, sehingga narasi kultural yang mereka sampaikan tetap sejalan dengan prinsip-prinsip keselamatan modern. Sinergi antara otoritas saintifik BMKG dan otoritas kultural tokoh lokal ini akan menciptakan resonansi peringatan dini yang absolut dan tak terbantahkan di telinga masyarakat.

6.4.3 Pelatihan Kapasitas Manajerial bagi Perangkat Desa dan Relawan

Mengingat kompleksitas tantangan dalam manajemen krisis, mengandalkan karisma dan insting semata tidaklah cukup untuk memimpin operasi tanggap darurat yang sistematis. Nugroho dan Fitri (2023) menegaskan bahwa perangkat desa dan komandan relawan mutlak membutuhkan intervensi peningkatan kapasitas manajerial melalui program pelatihan yang terstruktur dan bersertifikasi. Pelatihan ini harus melampaui sekadar keterampilan teknis pertolongan pertama, dan mulai menyentuh domain strategis seperti Sistem Komando Penanganan Darurat Bencana (SKPDB), manajemen logistik dan pergudangan, teknik kaji cepat kerusakan dan kebutuhan (*Rapid Health Assessment*), serta manajemen komunikasi krisis dengan media massa.

Desain kurikulum pelatihan manajerial ini harus disesuaikan dengan karakteristik sosiologis dan tingkat pendidikan aparatur desa. Nugroho dan Fitri (2023) menyoroti bahwa metode pembelajaran yang paling efektif bukanlah ceramah teoretis di dalam kelas, melainkan simulasi berbasis skenario (*Tabletop Exercise* - TTX) dan gladi posko (*Command Post Exercise* - CPX). Melalui metode ini, para pemimpin lokal dihadapkan pada dilema pengambilan keputusan yang disimulasikan secara *real-time*, seperti bagaimana mengalokasikan sumber daya yang terbatas, merespons informasi hoaks yang beredar di masyarakat, atau menangani konflik antar-pengungsi. Latihan tekanan tinggi ini berfungsi untuk membentuk ketahanan mental dan menajamkan intuisi manajerial mereka sebelum krisis nyata terjadi.

Selain itu, pelatihan ini juga harus memfasilitasi pemahaman yang mendalam mengenai regulasi dan administrasi kebencanaan. Banyak kepala desa yang ragu untuk mengeluarkan dana darurat karena ketidaktahuan mengenai prosedur pertanggungjawaban keuangan negara dalam situasi *force majeure*. Nugroho dan Fitri (2023) merekomendasikan pelibatan inspektorat daerah dan kejaksaan sebagai narasumber dalam pelatihan ini, guna memberikan jaminan keamanan hukum (*legal clearance*) bagi aparatur desa yang bertindak cepat demi penyelamatan nyawa. Dengan kapasitas manajerial yang mumpuni dan literasi hukum yang memadai, pemimpin lokal akan memiliki kepercayaan diri penuh untuk mengorkestrasi sumber daya desa secara maksimal tanpa dibayangi ketakutan akan kriminalisasi kebijakan.

6.4.4 Koordinasi Vertikal dan Horizontal Antara Lembaga Lokal dan Daerah

Arsitektur penanggulangan bencana nasional didesain berdasarkan prinsip subsidiaritas, di mana eskalasi penanganan bergerak dari tingkat desa, kabupaten, provinsi, hingga pusat, bergantung pada skala kerusakan dan kapasitas lokal. Dalam konteks ini, Nugroho dan Fitri (2023) memaparkan bahwa koordinasi vertikal antara Posko Desa dan Pusat Pengendalian Operasi (Pusdalops) BPBD Kabupaten merupakan saluran komunikasi paling vital untuk meminta bantuan perkuatan (*backup*). Pemimpin lokal harus mampu menyusun dan mengirimkan laporan kaji cepat yang akurat mengenai jumlah korban, kerusakan infrastruktur, dan kebutuhan logistik

mendesak. Kualitas data dari desa inilah yang akan menentukan presisi intervensi dari pemerintah daerah, mencegah terjadinya penumpukan bantuan di satu titik sementara titik lain terabaikan.

Di sisi lain, koordinasi horizontal antar-lembaga di tingkat lokal juga tidak kalah krusialnya. Nugroho dan Fitri (2023) menyoroti perlunya sinergitas yang erat antara Pemerintah Desa, Bintara Pembina Desa (Babinsa) dari unsur TNI, Bhayangkara Pembina Keamanan dan Ketertiban Masyarakat (Bhabinkamtibmas) dari unsur Polri, serta tenaga medis dari Pusat Kesehatan Masyarakat (Puskesmas) pembantu. Kolaborasi lintas sektoral ini sering kali terhambat oleh ego-sektoral dan perbedaan rantai komando dari masing-masing institusi induk. Oleh karena itu, pembentukan Forum Pengurangan Risiko Bencana (FPRB) tingkat desa menjadi wadah peleburan sekat-sekat birokrasi tersebut, memastikan bahwa seluruh elemen berseragam dan sipil bergerak dalam satu komando yang koheren di bawah kendali Kepala Desa saat status darurat ditetapkan.

Tantangan terbesar dalam memelihara koordinasi ini adalah menjaga kontinuitas komunikasi saat infrastruktur telekomunikasi konvensional lumpuh total akibat gempa. Nugroho dan Fitri (2023) menekankan bahwa koordinasi vertikal dan horizontal harus didukung oleh redundansi sistem komunikasi, seperti penggunaan radio amatir (VHF/UHF) atau telepon satelit yang dioperasikan oleh relawan terlatih. Selain itu, penyusunan Rencana Kontinjensi yang disepakati bersama oleh seluruh pemangku kepentingan akan menjadi buku putih (*playbook*) yang memandu siapa melakukan apa, kapan, dan di mana. Melalui jalinan koordinasi yang solid dan nir-friksi ini, kapasitas kelembagaan lokal akan teramplifikasi secara eksponensial, membentuk benteng pertahanan yang tangguh dalam melindungi peradaban pesisir dari ancaman tsunami.

Tabel 6.1 Matriks Evaluasi dan Strategi Penguatan Kapasitas Kelembagaan Lokal

Dimensi Kapasitas	Indikator Kesiapsiagaan Ideal	Tantangan & Kesenjangan Aktual	Strategi Penguatan (Intervensi)
Sumber Daya	Relawan terlatih, pemimpin	Rotasi perangkat desa,	Sertifikasi relawan, gladi posko rutin,

Manusia (SDM)	responsif, literasi risiko tinggi.	<i>volunteer fatigue</i> , minim keahlian manajerial.	pelibatan tokoh karismatik.
Tata Kelola Anggaran	Alokasi Dana Desa khusus mitigasi, kemandirian fiskal.	Takut audit inspektorat, dominasi proyek fisik, dana reaktif.	<i>Earmarking</i> anggaran mitigasi, pendampingan hukum/juknis dari pusat.
Peralatan & Logistik	Ketersediaan APD standar, lumbung sosial terdesentralisasi.	APD minim/tidak standar, logistik kedaluwarsa, gudang rentan rusak.	Integrasi lumbung dengan BUMDes, pengadaan APD via APBDes.
Koordinasi & Jejaring	Sinergi vertikal (BPBD) dan horizontal (TNI/Polri/NGO).	Ego-sektoral, <i>blank spot</i> komunikasi, kelompok komando awal.	Pembentukan FPRB Desa, skema "Desa Bersaudara", radio komunikasi cadangan.

BAB 7

IDENTIFIKASI DAN REVITALISASI KEARIFAN LOKAL MITIGASI BENCANA

Pendahuluan

Diskursus mengenai manajemen risiko bencana kontemporer sering kali didominasi oleh narasi teknokratis yang menempatkan instrumen modern sebagai solusi tunggal dalam menghadapi ancaman alam. Namun, jauh sebelum arsitektur *Tsunami Early Warning System* (TEWS) diintroduksi, komunitas pesisir Nusantara telah mengembangkan mekanisme pertahanan hidup yang berakar pada observasi empiris berabad-abad terhadap dinamika lingkungan. Pengetahuan tradisional atau kearifan lokal ini merepresentasikan akumulasi memori kolektif yang diwariskan secara lintas generasi, berfungsi sebagai sistem peringatan dini organik yang terenkripsi dalam bentuk mitos, ritual, dan praktik keseharian. Bab ini membedah ontologi kearifan lokal bukan sebagai entitas mistis yang irasional, melainkan sebagai bentuk Pengetahuan Ekologis Tradisional (*Traditional Ecological Knowledge* - TEK) yang memiliki validitas fungsional dalam menyelamatkan nyawa saat teknologi modern mengalami kelumpuhan.

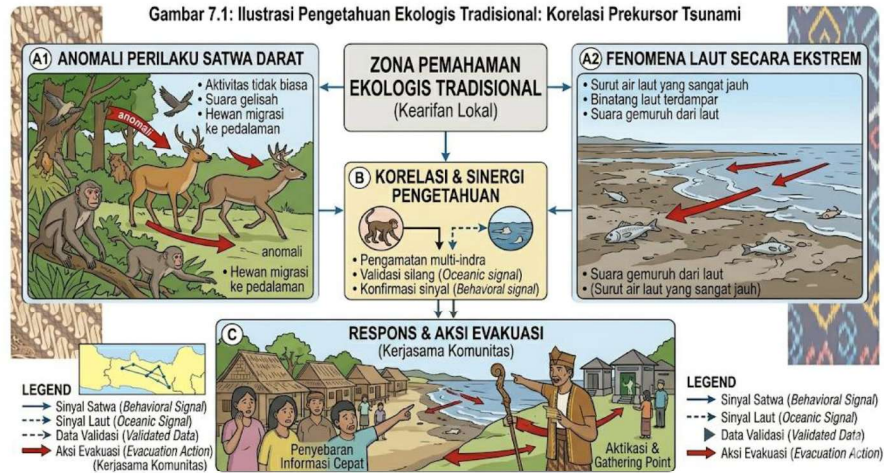
Meskipun literatur sosiologi kebencanaan mulai mengakui signifikansi kearifan lokal, masih terdapat *research gap* yang substansial terkait marginalisasi epistemologis pengetahuan tradisional dalam perumusan kebijakan publik. Banyak studi dan intervensi negara cenderung memposisikan kearifan lokal sekadar sebagai pelengkap eksotis (*exotic add-on*) atau artefak budaya masa lalu, alih-alih mengintegrasikannya secara simetris dengan sains modern. Celah akademis ini berimplikasi pada terjadinya erosi kultural yang masif, di mana generasi muda pesisir semakin terasing dari kemampuan membaca tanda-tanda alam dan instrumen komunikasi tradisional. Tanpa adanya upaya revitalisasi yang sistematis dan dekonstruksi akademis terhadap rasionalitas di balik mitos kebencanaan, kekayaan intelektual lokal ini berisiko punah, meninggalkan komunitas dalam kondisi kerentanan absolut ketika infrastruktur teknologi gagal beroperasi.

Berangkat dari identifikasi celah penelitian tersebut, bab ini dirumuskan untuk menjawab tiga pertanyaan penelitian utama. Pertama, bagaimana rasionalitas saintifik dari pengetahuan tradisional masyarakat pesisir dalam membaca tanda-tanda alam, seperti perilaku satwa dan anomali oseanografi, sebagai indikator awal tsunami? Kedua, sejauh mana efektivitas dan relevansi alat komunikasi tradisional (seperti kentongan dan bedug) dalam mengorkestrasi evakuasi massal di tengah keterbatasan infrastruktur modern? Ketiga, bagaimana struktur sosial, mitos, dan nilai-nilai teologis dapat direvitalisasi menjadi instrumen kohesi yang memperkuat resiliensi komunitas? Melalui elaborasi komprehensif ini, bab ini diharapkan mampu menyajikan kerangka sintesis untuk mengarusutamakan kearifan lokal ke dalam arsitektur mitigasi bencana nasional.

7.1 Pengetahuan Tradisional tentang Tanda-Tanda Alam

Pengetahuan tradisional mengenai tanda-tanda alam merupakan manifestasi dari interaksi dialogis yang panjang antara manusia dan ekosistem pesisir. Berbeda dengan sains modern yang memisahkan pengamat dari objek yang diamati melalui instrumen laboratorium, pengetahuan lokal menempatkan manusia sebagai bagian integral dari biosfer yang saling merespons. Kemampuan membaca anomali alam ini tidak diperoleh melalui pendidikan formal, melainkan melalui proses sosialisasi kultural dan pengalaman empiris yang diwariskan secara lisan. Dalam konteks mitigasi tsunami, literasi ekologis ini berfungsi sebagai sensor peringatan dini yang sangat presisi, karena ia mendeteksi perubahan lingkungan pada fase prekursor, jauh sebelum gelombang destruktif menghantam daratan.

Rasionalisasi terhadap pengetahuan tradisional ini sangat penting untuk menjembatani jurang epistemologis antara masyarakat lokal dan otoritas saintifik. Fenomena alam yang sering kali dibingkai dalam narasi mitologis sesungguhnya mengandung data observasional yang valid mengenai dinamika geofisika dan biologi. Dengan mendekodekan tanda-tanda alam ini ke dalam bahasa sains, otoritas kebencanaan dapat memvalidasi kearifan lokal sebagai instrumen mitigasi yang sah, sekaligus mengedukasi generasi muda bahwa warisan leluhur mereka memiliki pijakan rasional yang kuat dalam ilmu kebumihan.



Gambar 7.1: Ilustrasi Pengetahuan Ekologis Tradisional, menampilkan korelasi antara anomali perilaku satwa darat yang menjauhi pantai dan fenomena surutnya air laut secara ekstrem sebagai prekursor tsunami.

7.1.1 Perilaku Satwa sebagai Indikator Awal Gempa dan Tsunami

Pengamatan terhadap anomali perilaku satwa telah lama diakui oleh masyarakat tradisional sebagai salah satu indikator paling awal dari datangnya malapetaka geologis. Supriyanto dan Wulandari (2022) dalam kajian etnozooologinya memaparkan bahwa hewan memiliki sensitivitas biologis yang jauh melampaui ambang batas persepsi indrawi manusia. Komunitas pesisir secara turun-temurun meyakini bahwa migrasi massal hewan darat-seperti ular, tikus, atau kawanan kera-dari kawasan pesisir menuju perbukitan yang lebih tinggi merupakan sinyal bahaya yang tidak boleh diabaikan. Perilaku panik dan disorientasi pada hewan peliharaan, seperti anjing yang terus menggonggong tanpa sebab atau burung yang terbang menjauhi laut secara bergerombol, sering kali menjadi katalisator bagi warga tradisional untuk segera menginisiasi evakuasi mandiri sebelum guncangan gempa utama terjadi.

Secara saintifik, fenomena ini dapat dirasionalisasi melalui konsep biosensor alamiah. Supriyanto dan Wulandari (2022) menjelaskan bahwa banyak spesies hewan memiliki kemampuan untuk mendeteksi gelombang primer (Gelombang P) dari gempa bumi, yang merambat lebih cepat

namun dengan amplitudo lebih kecil dibandingkan gelombang sekunder (Gelombang S) yang merusak. Selain itu, satwa tertentu sangat peka terhadap perubahan medan elektromagnetik mikro, emisi gas radon dari rekahan kerak bumi, serta fluktuasi tekanan udara yang mendahului aktivitas tektonik masif. Kemampuan satwa dalam memproses stimulus geofisika ini menjadikan mereka sebagai instrumen peringatan dini biologis yang sangat responsif, memberikan jeda waktu kritis bagi manusia untuk bereaksi.

Meskipun demikian, tantangan terbesar dalam memanfaatkan perilaku satwa sebagai indikator mitigasi adalah tingginya tingkat ambiguitas dan potensi *false alarm*. Tidak semua anomali perilaku hewan berujung pada bencana alam; perubahan cuaca ekstrem atau aktivitas predator juga dapat memicu respons serupa. Oleh karena itu, Supriyanto dan Wulandari (2022) menekankan bahwa masyarakat tradisional tidak pernah membaca satu tanda alam secara terisolasi. Mereka selalu melakukan triangulasi observasi, menggabungkan anomali perilaku satwa dengan indikator lain seperti perubahan suhu udara atau kondisi pasang surut laut. Pemahaman holistik inilah yang membuat kearifan lokal memiliki tingkat akurasi yang dapat diandalkan dalam memprediksi ancaman katastrofik di lingkungan mikro mereka.

7.1.2 Fenomena Air Laut Surut, Perubahan Suhu, dan Bau Tak Lazim

Di antara berbagai tanda alam, fenomena surutnya air laut secara tiba-tiba dan ekstrem pasca-guncangan gempa merupakan prekursor tsunami yang paling definitif dan tertanam kuat dalam memori kolektif masyarakat pesisir Nusantara. Wibowo dan Mutiarin (2023) mengartikulasikan bahwa surutnya air laut ini terjadi akibat mekanisme *drawdown*, di mana dasar laut yang mengalami deformasi (penurunan) menyedot volume air dari garis pantai sebelum akhirnya memantulkannya kembali sebagai gelombang raksasa. Bagi masyarakat tradisional yang memiliki literasi oseanografi lokal, hamparan karang yang tiba-tiba mengering dan ikan-ikan yang menggelepar di dasar laut bukanlah berkah tangkapan, melainkan manifestasi dari "laut yang sedang menarik napas" sebelum menghempaskan amarahnya. Pemahaman empiris inilah yang menjadi inti dari narasi penyelamatan *Smong* di Simeulue.

Selain anomali hidrologis, perubahan suhu lingkungan dan munculnya bau tak lazim juga diidentifikasi sebagai indikator krusial. Wibowo dan Mutiarin (2023) mencatat kesaksian para penyintas yang sering kali melaporkan adanya penurunan suhu udara secara drastis (hawa dingin yang menusuk) atau sebaliknya, peningkatan suhu yang pengap sesaat sebelum tsunami menerjang. Lebih jauh, pelepasan gas-gas dari dasar laut akibat patahan tektonik atau longsoran bawah laut kerap kali membawa aroma belerang (sulfur) yang menyengat atau bau garam laut yang sangat pekat ke arah daratan. Bagi nelayan tradisional yang terbiasa dengan profil olfaktori (penciuman) pesisir yang normal, anomali bau ini bertindak sebagai alarm biokimiawi yang memicu kewaspadaan tingkat tinggi.

Sayangnya, di era modern, kemampuan membaca tanda-tanda fisik ini mulai tergerus oleh ketergantungan absolut pada teknologi. Wibowo dan Mutiarin (2023) menyoroti tragedi di mana banyak korban jiwa jatuh justru karena mereka berlarian ke pantai untuk memungut ikan saat air laut surut, menunjukkan hilangnya transmisi pengetahuan lokal tersebut. Oleh karena itu, revitalisasi kearifan lokal menuntut agar fenomena air laut surut, perubahan suhu, dan anomali bau ini diintegrasikan secara eksplisit ke dalam kurikulum pendidikan kebencanaan formal. Edukasi ini harus menekankan bahwa ketika tanda-tanda alam ini muncul, masyarakat tidak perlu menunggu bunyi sirene elektronik, melainkan harus segera mengeksekusi evakuasi vertikal sebagai respons refleksif yang tak dapat ditawar.

7.1.3 Literasi Langit dan Lingkungan: Membaca Awan dan Kondisi Alam

Dimensi lain dari pengetahuan ekologis tradisional yang tidak kalah pentingnya adalah literasi langit, yakni kemampuan masyarakat lokal dalam membaca formasi awan, arah angin, dan konstelasi benda langit sebagai indikator dinamika lingkungan. Supriyanto dan Wulandari (2022) memaparkan bahwa bagi komunitas nelayan dan pelaut tradisional, langit adalah kanvas informasi yang menyajikan data meteorologis dan geofisika secara *real-time*. Munculnya formasi awan tertentu yang berbentuk lurus memanjang seperti pilar (sering diasosiasikan dengan awan gempa) kerap diinterpretasikan oleh sesepuh desa sebagai manifestasi dari pelepasan energi termal atau gelombang elektromagnetik dari zona patahan aktif di dasar bumi. Meskipun korelasi langsung antara awan dan gempa bumi

masih menjadi perdebatan dalam sains arus utama, observasi empiris masyarakat lokal sering kali menunjukkan koinsidensi yang sulit diabaikan.

Selain formasi awan, perubahan pola angin pesisir juga menjadi parameter observasi yang sangat vital. Supriyanto dan Wulandari (2022) menjelaskan bahwa berhentinya embusan angin laut secara tiba-tiba, yang menciptakan kondisi atmosfer yang sangat hening dan menekan (*eerie silence*), sering kali dimaknai sebagai tanda bahaya yang mendahului badai besar atau tsunami. Keheningan ini terjadi karena adanya anomali tekanan udara yang ekstrem di atas permukaan laut. Bagi masyarakat tradisional, perubahan drastis dari dinamika lingkungan yang biasanya bising oleh deburan ombak dan angin menjadi kesunyian yang absolut adalah sinyal bahwa keseimbangan alam sedang terganggu dan sebuah pelepasan energi berskala masif akan segera terjadi.

Revitalisasi literasi langit dan lingkungan ini memiliki urgensi strategis dalam membangun ketangguhan komunitas yang mandiri. Di tengah ancaman perubahan iklim yang membuat cuaca semakin anomali, kemampuan membaca tanda-tanda atmosferik ini memberikan lapisan perlindungan tambahan bagi masyarakat pesisir. Supriyanto dan Wulandari (2022) merekomendasikan agar pengetahuan observasional ini didokumentasikan secara sistematis dan disandingkan dengan data meteorologi modern. Dengan mengawinkan kearifan membaca langit dengan informasi dari satelit cuaca, otoritas lokal dapat merumuskan sistem peringatan dini hibrida yang tidak hanya akurat secara saintifik, tetapi juga berakar kuat pada epistemologi budaya masyarakat setempat.

7.2 Alat Komunikasi Tradisional dan Fungsinya

Dalam ekosistem masyarakat tradisional, diseminasi informasi krisis tidak bergantung pada infrastruktur elektronik, melainkan ditopang oleh jaringan alat komunikasi akustik yang terbuat dari material alam. Instrumen seperti kentongan, bedug, lonceng, dan peluit merupakan teknologi tepat guna yang didesain untuk memecah kebisingan lingkungan dan menjangkau radius pendengaran komunal. Keberadaan alat-alat ini bukan sekadar artefak musikal, melainkan infrastruktur mitigasi vital yang memiliki protokol penggunaan, kode semiotik, dan hierarki otoritas yang sangat terstruktur.

Relevansi alat komunikasi tradisional ini kembali mengemuka ketika rentetan bencana besar membuktikan kerentanan sistem peringatan dini modern terhadap *blackout* kelistrikan dan putusnya jaringan seluler. Dalam kondisi kelumpuhan teknologi tersebut, instrumen akustik tradisional bertransformasi menjadi satu-satunya urat nadi komunikasi yang tersisa untuk mengorkestrasi penyelamatan. Oleh karena itu, pemahaman terhadap fungsi, jangkauan, dan kode etik penggunaan alat-alat ini merupakan fondasi penting dalam merancang strategi diseminasi peringatan dini yang berdaya tahan tinggi di tingkat tapak.

7.2.1 Kentongan: Kode Ketukan untuk Berbagai Jenis Bahaya dan Peringatan

Kentongan merupakan instrumen komunikasi akustik paling ikonik dan fungsional dalam struktur masyarakat agraris dan pesisir di Indonesia, khususnya di Pulau Jawa dan Bali. Terbuat dari batang bambu atau kayu keras yang dilubangi di bagian tengahnya sebagai resonator, kentongan dirancang untuk menghasilkan frekuensi suara yang tajam dan mampu merambat jauh melintasi topografi pedesaan. Haryono dan Santoso (2021) menjelaskan bahwa kentongan bukan sekadar alat penghasil bunyi, melainkan sebuah medium semiotik yang mentransmisikan pesan spesifik melalui variasi ritme dan tempo ketukan. Dalam sistem keamanan tradisional, setiap jenis ancaman-mulai dari pencurian, kebakaran, banjir, hingga gempa bumi-memiliki sandi ketukan yang berbeda dan telah disepakati secara komunal.

Untuk ancaman bencana alam berskala besar seperti gempa bumi atau potensi tsunami, masyarakat tradisional umumnya menggunakan kode ketukan *titir* atau ketukan terus-menerus tanpa jeda dengan tempo yang sangat cepat. Haryono dan Santoso (2021) menyoroti bahwa ritme *titir* ini secara psikologis didesain untuk menciptakan efek urgensi dan kepanikan yang terkendali, memaksa warga untuk segera terbangun dari tidur dan keluar dari rumah. Keunggulan utama dari sistem kentongan adalah sifatnya yang desentralistik dan partisipatif. Ketika satu kentongan di pos ronda utama dibunyikan dengan nada bahaya, warga di setiap rumah yang memiliki kentongan kecil akan secara refleks memukul alat mereka, menciptakan efek resonansi berantai (*chain reaction*) yang mengamplifikasi peringatan ke seluruh penjuru desa dalam hitungan detik.

Namun, di era modern, fungsi vital kentongan ini mengalami degradasi yang parah akibat pergeseran gaya hidup dan masuknya gawai pintar. Banyak pos ronda yang terbengkalai, dan generasi muda tidak lagi memahami makna dari berbagai sandi ketukan tersebut. Haryono dan Santoso (2021) menegaskan bahwa revitalisasi kentongan harus dilakukan melalui pelembagaan kembali sistem keamanan lingkungan (Siskamling) yang diintegrasikan dengan program Desa Tangguh Bencana (Destana). Kentongan harus diposisikan sebagai infrastruktur cadangan wajib (*mandatory backup*) di setiap rukun tetangga (RT) kawasan pesisir, di mana pelatihan mengenai sandi ketukan kebencanaan dimasukkan ke dalam agenda simulasi evakuasi rutin untuk merawat memori sonik masyarakat.

7.2.2 Bedug Masjid/Gereja sebagai Penanda Evakuasi Massal

Selain kentongan yang bersifat komunal-sekuler, instrumen akustik yang melekat pada institusi keagamaan, seperti bedug di masjid atau lonceng di gereja, memegang peranan yang sangat strategis dalam diseminasi peringatan dini. Haryono dan Santoso (2021) memaparkan bahwa secara historis, bedug dan lonceng memiliki fungsi ganda: sebagai penanda waktu ibadah pada kondisi normal, dan bertransformasi menjadi alarm darurat tertinggi pada saat krisis. Ukuran fisik bedug yang masif dan material kulit hewan yang diregangkan kuat memungkinkannya menghasilkan gelombang suara berfrekuensi rendah (bas) yang sangat menggelegar, mampu menembus kebisingan hujan badai atau deru ombak yang keras, serta menjangkau radius yang jauh lebih luas dibandingkan kentongan.

Penggunaan bedug atau lonceng gereja sebagai penanda evakuasi massal memiliki legitimasi psikologis dan sosiologis yang sangat kuat. Haryono dan Santoso (2021) menjelaskan bahwa ketika instrumen sakral ini dibunyikan di luar waktu ibadah dengan ritme yang bertalu-talu dan tidak beraturan, masyarakat secara instingtif menyadari bahwa sebuah anomali besar sedang terjadi. Otoritas kultural yang melekat pada rumah ibadah membuat peringatan yang bersumber dari tempat tersebut tidak pernah diragukan validitasnya oleh warga. Dalam konteks mitigasi tsunami, pukulan bedug darurat berfungsi sebagai komando absolut yang membatalkan seluruh aktivitas sekuler warga dan memobilisasi mereka menuju titik kumpul atau jalur evakuasi yang telah ditentukan.

Strategi revitalisasi fungsi bedug dan lonceng ini menuntut adanya koordinasi yang erat antara Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) dengan para takmir masjid dan pengurus gereja di kawasan pesisir. Haryono dan Santoso (2021) merekomendasikan penyusunan Standar Operasional Prosedur (SOP) lokal yang memberikan kewenangan penuh kepada pengurus rumah ibadah untuk membunyikan alarm darurat segera setelah mereka merasakan guncangan gempa kuat, tanpa perlu menunggu instruksi birokratis dari pemerintah daerah. Dengan mengintegrasikan instrumen keagamaan ini ke dalam arsitektur peringatan dini resmi, negara tidak hanya memperluas jangkauan diseminasi, tetapi juga menghormati dan memberdayakan pranata sosial lokal sebagai garda terdepan penyelamatan.

7.2.3 Penggunaan Peluit, Lonceng, dan Teriakan di Komunitas Nelayan

Di tingkat mikro, khususnya di lingkungan pelabuhan tradisional dan permukiman nelayan yang berhimpitan langsung dengan garis pantai, instrumen komunikasi darurat menuntut kepraktisan dan mobilitas yang tinggi. Dalam konteks ini, penggunaan peluit, lonceng kapal, dan teriakan vokal menjadi metode diseminasi peringatan dini yang paling primitif namun sangat efektif. Komunitas nelayan beroperasi di lingkungan dengan tingkat kebisingan latar (*ambient noise*) yang ekstrem-dari suara mesin perahu, angin laut, hingga aktivitas pelelangan ikan. Oleh karena itu, alat peringatan yang digunakan harus mampu menghasilkan frekuensi suara yang melengking tajam untuk memotong kebisingan tersebut.

Peluit, yang sering kali dikalungkan di leher para tetua nelayan atau petugas syahbandar lokal, berfungsi sebagai instrumen komando taktis. Tiupan peluit panjang yang berulang-ulang merupakan sandi universal di kalangan pelaut untuk mengindikasikan bahaya mendesak, memaksa para nelayan untuk segera meninggalkan perahu mereka dan berlari ke daratan. Demikian pula dengan lonceng kuningan yang terpasang di tiang dermaga atau di atas kapal; bunyinya yang nyaring dan berdentang cepat menjadi penanda visual dan akustik bahwa anomali oseanografi-seperti air laut yang tiba-tiba surut-telah terdeteksi oleh mereka yang berada di garis air terdepan.

Lebih dari sekadar alat bantu mekanis, komunikasi vokal melalui teriakan kata kunci spesifik merupakan bentuk peringatan dini kultural yang paling organik. Kasus *Smong* di Simeulue adalah bukti empiris bagaimana satu kata yang diteriakkan secara berantai oleh warga yang panik mampu memicu evakuasi massal yang menyelamatkan puluhan ribu nyawa. Teriakan ini bukan sekadar ekspresi ketakutan, melainkan transmisi data darurat yang telah terenkripsi dalam bahasa lokal. Oleh karena itu, upaya mitigasi modern tidak boleh meremehkan kekuatan komunikasi mikro ini. Pemerintah desa perlu memfasilitasi pengadaan peluit bagi setiap kepala keluarga di pesisir dan terus merawat memori kolektif mengenai kata sandi lokal kebencanaan, memastikan bahwa setiap individu memiliki kapasitas untuk menjadi agen peringatan dini bagi komunitasnya.

7.3 Struktur Sosial dan Sistem Nilai Masyarakat Pesisir

Struktur sosial dan sistem nilai yang hidup di tengah masyarakat pesisir merupakan fondasi sosiologis yang menentukan tingkat ketangguhan suatu komunitas dalam menghadapi guncangan eksternal. Berbeda dengan masyarakat urban yang cenderung individualistik dan sangat bergantung pada intervensi formal dari institusi negara, komunitas pesisir tradisional umumnya diikat oleh jaring-jaring kekerabatan yang rapat dan interdependensi ekonomi yang tinggi. Dalam konteks kebencanaan, kohesi sosial ini bertransformasi menjadi kapital sosial (*social capital*) yang sangat berharga, berfungsi sebagai bantalan penyerap kejutan (*shock absorber*) ketika infrastruktur fisik dan layanan publik mengalami kelumpuhan total pasca-tsunami.

Sistem nilai yang dianut oleh masyarakat pesisir tidak hanya mengatur tata cara berinteraksi antar-sesama manusia, tetapi juga mendikte relasi mereka dengan alam semesta dan entitas transenden. Nilai-nilai kultural ini terenkripsi dalam berbagai pranata sosial, mulai dari tradisi gotong royong, penghormatan terhadap hierarki kepemimpinan informal, hingga pelestarian narasi-narasi mitologis. Membedah struktur sosial ini sangat krusial bagi para perumus kebijakan, karena intervensi mitigasi yang mengabaikan atau bahkan bertentangan dengan sistem nilai lokal niscaya akan menghadapi resistensi kultural yang bermuara pada kegagalan program kesiapsiagaan di tingkat tapak.

! [Gambar 7.2: Skema Jaringan Kapital Sosial dan Transmisi Pengetahuan Kebencanaan melalui Struktur Keekerabatan dan Tokoh Adat di Komunitas Pesisir.]

7.3.1 Budaya Gotong Royong dan Solidaritas Sosial dalam Respons Bencana

Budaya gotong royong merupakan manifestasi paling autentik dari solidaritas mekanik yang mengikat komunitas pesisir di Indonesia. Kusuma dan Yuliana (2022) mengartikulasikan bahwa gotong royong bukan sekadar aktivitas tolong-menolong yang bersifat insidental, melainkan sebuah institusi sosial yang memiliki akar historis dan filosofis yang sangat dalam. Dalam keseharian nelayan, gotong royong terlihat dari tradisi menarik jaring atau memperbaiki perahu secara kolektif tanpa ekspektasi imbalan finansial. Ketika bencana tsunami meluluhlantakkan desa, etos kerja kolektif ini secara otomatis tereskalasi menjadi mekanisme respons darurat yang sangat terorganisir, di mana warga saling mengevakuasi, berbagi cadangan makanan, dan mendirikan tempat bernaung sementara dengan memanfaatkan sisa-sisa material yang ada.

Kekuatan utama dari solidaritas sosial ini terletak pada kemampuannya untuk mengisi kekosongan otoritas (*authority vacuum*) pada fase *golden time* pasca-bencana. Kusuma dan Yuliana (2022) menyoroti bahwa sebelum tim Search and Rescue (SAR) dari pemerintah daerah berhasil menembus wilayah yang terisolasi, warga lokal yang digerakkan oleh semangat gotong royong adalah responden pertama (*first responders*) yang paling efektif. Mereka melakukan kaji cepat kerusakan secara organik, memprioritaskan penyelamatan kelompok rentan seperti lansia dan anak-anak, serta mengelola distribusi logistik darurat berdasarkan prinsip pemerataan komunal. Kecepatan dan efisiensi respons organik ini sering kali melampaui protokol birokrasi formal karena didorong oleh ikatan emosional dan rasa senasib sepenanggungan.

Namun, di era modernisasi dan komersialisasi kawasan pesisir, nilai-nilai gotong royong ini menghadapi ancaman erosi yang serius. Kusuma dan Yuliana (2022) memperingatkan bahwa penetrasi ekonomi kapitalistik dan privatisasi lahan pesisir cenderung merusak kohesi sosial, mengubah relasi komunal menjadi relasi transaksional. Oleh karena itu, upaya pengurangan

risiko bencana harus secara sadar mengintegrasikan dan merevitalisasi budaya gotong royong ini ke dalam program-program formal seperti Desa Tangguh Bencana (Destana). Pemerintah perlu memberikan ruang otonomi bagi inisiatif warga dan memfasilitasi pembentukan lumbung sosial desa, sehingga kapital sosial yang telah diwariskan oleh leluhur ini tetap relevan dan fungsional sebagai instrumen resiliensi di abad ke-21.

7.3.2 Peran Tokoh Adat, Pemuka Agama, dan Sesepuh dalam Mobilisasi Warga

Dalam struktur masyarakat pesisir yang masih memegang teguh tradisi paternalistik, hierarki kepemimpinan informal sering kali memiliki legitimasi yang jauh lebih kuat dibandingkan dengan otoritas administratif negara. Mulyani dan Pratama (2023) menjelaskan bahwa tokoh adat, pemuka agama, dan sesepuh desa merupakan episentrum dari jaringan kepercayaan (*trust network*) di tingkat lokal. Mereka tidak hanya dipandang sebagai penjaga moral dan pelestari adat, tetapi juga sebagai rujukan utama dalam pengambilan keputusan kolektif. Ketika krisis terjadi dan informasi berseliweran secara simpang siur, masyarakat tradisional cenderung mencari validasi dan arahan dari figur-figur karismatik ini sebelum mengambil tindakan penyelamatan.

Peran sentral tokoh informal ini sangat krusial dalam memobilisasi massa dan mengatasi resistensi evakuasi. Mulyani dan Pratama (2023) mencatat bahwa dalam banyak kasus kebencanaan, peringatan dini yang disiarkan melalui pengeras suara pemerintah sering kali diabaikan oleh warga yang skeptis atau terikat pada fatalisme. Namun, ketika instruksi evakuasi tersebut disuarakan oleh seorang kiai dari mimbar masjid atau oleh ketua adat di balai pertemuan, tingkat kepatuhan warga meningkat secara drastis. Karisma dan integritas yang melekat pada tokoh-tokoh ini mampu menembus hambatan psikologis masyarakat, mengubah kepanikan yang melumpuhkan menjadi pergerakan evakuasi yang teratur dan disiplin.

Mengingat besarnya pengaruh sosiologis yang mereka miliki, integrasi tokoh adat dan pemuka agama ke dalam arsitektur mitigasi bencana formal adalah sebuah keharusan strategis. Mulyani dan Pratama (2023) merekomendasikan agar Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) secara proaktif merangkul para pemimpin informal ini sejak fase

prabencana. Mereka harus dilibatkan dalam penyusunan peta risiko desa, penentuan jalur evakuasi, dan diberikan literasi saintifik mengenai mekanisme tsunami. Dengan membekali para tokoh ini dengan pengetahuan kebencanaan yang komprehensif, negara secara efektif mendelegasikan fungsi komunikasi risiko kepada agen-agen kultural yang paling dipercaya oleh masyarakat, memastikan bahwa pesan keselamatan dapat beresonansi kuat di akar rumput.

7.3.3 Mitos, Legenda, dan Cerita Rakyat Terkait Bencana sebagai Media Edukasi

Mitos, legenda, dan cerita rakyat sering kali direduksi oleh kacamata sains modern sebagai narasi fiktif yang tidak memiliki nilai empiris. Namun, dalam kajian sosiologi kebencanaan, tradisi lisan ini diakui sebagai medium pedagogis yang sangat canggih untuk mentransmisikan pengetahuan ekologis lintas generasi. Mulyani dan Pratama (2023) memaparkan bahwa masyarakat tradisional Nusantara tidak memiliki tradisi literasi tulisan yang kuat untuk mendokumentasikan sejarah kebencanaan. Sebagai gantinya, mereka mengenkripsi pengalaman traumatis dari gempa bumi dan tsunami masa lalu ke dalam bentuk dongeng, pantun, atau nyanyian pengantar tidur. Narasi-narasi ini berfungsi sebagai kapsul waktu kultural yang menjaga memori kolektif agar tidak terhapus oleh pergantian zaman.

Kekuatan utama dari mitos dan cerita rakyat terletak pada kemampuannya untuk menyederhanakan fenomena geologis yang kompleks menjadi alegori yang mudah dicerna dan diingat oleh masyarakat awam, khususnya anak-anak. Mulyani dan Pratama (2023) mencontohkan legenda tentang naga raksasa di dasar laut yang menggeliat (sebagai metafora gempa tektonik) dan menyedot air laut sebelum menyemburkannya kembali ke daratan (sebagai metafora tsunami). Meskipun dibalut dalam bahasa metaforis, pesan mitigasi yang terkandung di dalamnya sangat presisi: jika tanah berguncang kuat dan air laut surut, segeralah lari ke perbukitan. Alegori ini terbukti jauh lebih efektif dalam menanamkan refleksi evakuasi dibandingkan dengan pamflet teknis yang berisi grafik dan angka statistik.

Oleh karena itu, revitalisasi cerita rakyat harus menjadi agenda prioritas dalam strategi komunikasi risiko di kawasan pesisir. Mulyani dan Pratama

(2023) menekankan bahwa kurikulum pendidikan lokal di sekolah-sekolah dasar harus mengintegrasikan kembali dongeng-dongeng kebencanaan ini sebagai muatan lokal wajib. Selain itu, pemerintah daerah dapat memfasilitasi pementasan seni tradisional, seperti wayang kulit, ketoprak, atau teater rakyat, yang mengangkat lakon-lakon bertema mitigasi bencana. Melalui pendekatan edutainment (edukasi dan hiburan) yang berakar pada kearifan lokal ini, literasi kebencanaan dapat ditanamkan secara organik, mendalam, dan berkelanjutan di dalam alam bawah sadar generasi penerus.

7.4 Integrasi Nilai Religi dan Budaya dalam Kesiapsiagaan

Agama dan budaya merupakan dua entitas yang saling berkelindan dan membentuk pandangan dunia (*worldview*) mayoritas masyarakat Indonesia. Dalam konteks kebencanaan, nilai-nilai teologis sering kali menjadi pisau bermata dua: ia dapat memicu sikap fatalistik yang menghambat upaya mitigasi, namun di sisi lain, ia juga dapat menjadi sumber resiliensi psikologis yang luar biasa kuat. Oleh karena itu, manajemen risiko bencana tidak dapat melepaskan diri dari diskursus keagamaan. Pendekatan yang murni sekuler dan teknokratis sering kali gagal menyentuh dimensi spiritual penyintas, yang justru merupakan fondasi utama bagi proses pemulihan pasca-trauma.

Integrasi nilai religi dan budaya ke dalam kerangka kesiapsiagaan menuntut adanya rekontekstualisasi doktrin-doktrin keagamaan agar selaras dengan prinsip-prinsip keselamatan modern. Rumah ibadah tidak hanya diposisikan sebagai pusat ritual, tetapi ditransformasikan menjadi infrastruktur mitigasi fisik dan sosial. Sementara itu, narasi teologis diarahkan untuk mendorong etos kerja keras (ikhtiar) dalam mencegah jatuhnya korban jiwa. Melalui sinergi antara otoritas saintifik dan otoritas keagamaan, arsitektur mitigasi bencana di Indonesia dapat dibangun di atas fondasi kultural yang kokoh, menciptakan masyarakat yang tidak hanya tangguh secara fisik, tetapi juga resilien secara spiritual.

7.4.1 Doa Bersama dan Ritual Keselamatan sebagai Penguat Mental Komunitas

Ritual keagamaan dan doa bersama merupakan mekanisme koping (*coping mechanism*) komunal yang sangat esensial bagi masyarakat pesisir

dalam menghadapi ketidakpastian alam. Fitri dan Arifin (2021) menjelaskan bahwa hidup berdampingan dengan ancaman tsunami yang dapat datang sewaktu-waktu menciptakan beban psikologis yang laten. Untuk mereduksi kecemasan eksistensial tersebut, komunitas lokal secara rutin menyelenggarakan ritual keselamatan, seperti selamatan laut, istigasah, atau doa tolak bala. Ritual-ritual ini berfungsi sebagai ruang katarsis kolektif, di mana warga dapat menyalurkan ketakutan mereka dan memohon perlindungan kepada entitas Yang Maha Kuasa, sehingga mengembalikan keseimbangan psikologis komunitas.

Lebih dari sekadar praktik spiritual, doa bersama memiliki implikasi sosiologis yang sangat nyata dalam memperkuat kohesi sosial. Fitri dan Arifin (2021) menyoroti bahwa persiapan dan pelaksanaan ritual ini menuntut partisipasi aktif dari seluruh elemen desa, mulai dari pengumpulan dana, penyiapan makanan komunal, hingga pelaksanaan ibadah itu sendiri. Interaksi intensif selama prosesi ritual ini mempertebal ikatan persaudaraan dan merawat jaringan kapital sosial. Ketika bencana benar-benar terjadi, solidaritas yang telah dipupuk melalui ritual-ritual prabencana ini akan secara otomatis bertransformasi menjadi jaringan saling bantu yang sangat solid, memfasilitasi proses evakuasi dan distribusi logistik darurat dengan lebih efisien.

Dalam fase pemulihan pasca-bencana, ritual keagamaan kembali memainkan peran sentral sebagai instrumen penyembuhan trauma (*trauma healing*). Fitri dan Arifin (2021) mencatat bahwa doa bersama yang diselenggarakan di tengah puing-puing reruntuhan memberikan ruang bagi para penyintas untuk meratapi kehilangan anggota keluarga secara bermartabat, sekaligus menemukan makna baru di balik tragedi yang menimpa mereka. Oleh karena itu, otoritas kebencanaan dan lembaga swadaya masyarakat (NGO) yang terlibat dalam program rehabilitasi harus memberikan ruang dan dukungan fasilitasi bagi pelaksanaan ritual-ritual kultural ini. Mengabaikan dimensi spiritual dalam proses pemulihan sama halnya dengan membiarkan luka psikologis masyarakat menganga tanpa pengobatan yang paripurna.

7.4.2 Masjid, Gereja, dan Balai Adat sebagai Tempat Perlindungan (Shelter) Sementara

Infrastruktur keagamaan dan kultural, seperti masjid, gereja, dan balai adat, memiliki fungsi ganda yang sangat strategis dalam ekosistem mitigasi bencana di tingkat lokal. Rahman dan Hidayat (2024) memaparkan bahwa secara arsitektural, rumah ibadah utama di suatu desa umumnya dibangun dengan konstruksi yang paling kokoh, menggunakan material terbaik, dan sering kali ditempatkan di lokasi dengan elevasi yang lebih tinggi dibandingkan permukiman warga. Keunggulan struktural ini menjadikan masjid dan gereja sebagai kandidat ideal untuk difungsikan sebagai Tempat Evakuasi Sementara (TES) atau *shelter* darurat ketika gelombang tsunami menerjang kawasan pesisir.

Selain keunggulan fisik, rumah ibadah memiliki daya tarik psikologis yang sangat kuat bagi masyarakat yang sedang dilanda kepanikan. Rahman dan Hidayat (2024) menjelaskan bahwa dalam situasi krisis yang mengancam nyawa, manusia secara instingtif akan mencari perlindungan di tempat-tempat yang dianggap suci dan memiliki perlindungan ilahiah. Fenomena ini terlihat jelas pada tragedi Tsunami Aceh 2004, di mana ribuan warga berhasil selamat karena berlindung di lantai atas masjid-masjid besar yang tetap berdiri kokoh di tengah sapuan gelombang. Status sakral dari bangunan ini memberikan rasa aman (*sense of security*) yang sangat dibutuhkan oleh para penyintas untuk meredakan histeria massal pada jam-jam pertama pasca-bencana.

Untuk mengoptimalkan fungsi *shelter* ini, diperlukan intervensi kebijakan tata ruang dan rekayasa sipil dari pemerintah daerah. Rahman dan Hidayat (2024) merekomendasikan agar setiap pembangunan atau renovasi rumah ibadah di kawasan rawan tsunami wajib mengadopsi standar bangunan tahan gempa dan didesain dengan konsep ruang terbuka di lantai dasar (*open ground floor*) agar air dapat melintas tanpa menghancurkan struktur utama. Selain itu, masjid dan gereja harus dilengkapi dengan fasilitas mitigasi dasar, seperti tandon air bersih cadangan, genset darurat, dan kotak pertolongan pertama. Dengan mengintegrasikan fungsi teologis dan fungsi mitigasi fisik, rumah ibadah dapat bertransformasi menjadi benteng penyelamatan yang paripurna bagi komunitas pesisir.

7.4.3 Konsep Tawakal, Ikhtiar, dan Sabar dalam Menghadapi Musibah

Pemahaman teologis mengenai takdir dan musibah sangat mewarnai cara pandang masyarakat Indonesia dalam merespons ancaman bencana. Fitri dan Arifin (2021) mengidentifikasi bahwa salah satu tantangan terbesar dalam edukasi mitigasi adalah adanya miskonsepsi terhadap konsep tawakal (berserah diri), yang sering kali ditafsirkan secara sempit sebagai sikap fatalistik atau kepasrahan absolut tanpa melakukan upaya pencegahan. Pandangan fatalistik ini meyakini bahwa bencana adalah hukuman mutlak dari Tuhan yang tidak dapat dihindari, sehingga membangun infrastruktur peringatan dini atau melakukan simulasi evakuasi dianggap sebagai tindakan yang sia-sia atau bahkan menentang kehendak Ilahi.

Untuk mendekonstruksi miskonsepsi tersebut, edukasi kebencanaan harus mengedepankan rekontekstualisasi teologis yang menyeimbangkan antara konsep tawakal dan ikhtiar (usaha maksimal). Fitri dan Arifin (2021) menegaskan bahwa dalam tradisi keagamaan yang sah, tawakal hanya dapat dibenarkan setelah manusia mengerahkan seluruh daya dan upayanya (ikhtiar) untuk melindungi kehidupan. Membangun rumah tahan gempa, menanam mangrove, dan berlari menjauhi pantai saat gempa terjadi adalah bentuk ikhtiar rasional yang diwajibkan oleh agama demi menjaga anugerah kehidupan. Pemahaman bahwa mitigasi bencana adalah bagian dari ibadah dan manifestasi dari ketaatan beragama merupakan kunci untuk membongkar mentalitas fatalistik di tengah masyarakat.

Selain ikhtiar dan tawakal, konsep sabar juga memegang peranan krusial, terutama pada fase pasca-bencana. Fitri dan Arifin (2021) menjelaskan bahwa sabar dalam konteks kebencanaan bukanlah sikap pasif menerima penderitaan, melainkan daya tahan psikologis (*psychological endurance*) untuk bangkit kembali dari keterpurukan, menata ulang kehidupan, dan tidak berputus asa dalam membangun kembali komunitas yang hancur. Integrasi ketiga konsep teologis ini-ikhtiar pada fase prabencana, tawakal saat bencana terjadi, dan sabar pada fase pemulihan-membentuk kerangka resiliensi spiritual yang sangat komprehensif, membekali masyarakat dengan ketangguhan mental yang tidak dapat diberikan oleh intervensi teknologi semata.

7.4.4 Peran Dakwah dan Penyuluhan Berbasis Nilai Lokal dalam Menyampaikan Pesan Mitigasi

Diseminasi informasi risiko bencana akan mencapai tingkat efektivitas maksimal apabila disampaikan melalui saluran komunikasi yang memiliki kedekatan kultural dan emosional dengan audiensnya. Rahman dan Hidayat (2024) menyoroti bahwa mimbar-mimbar keagamaan, seperti khotbah Jumat di masjid, kebaktian Minggu di gereja, atau pengajian majelis taklim, merupakan platform komunikasi massa yang paling strategis dan memiliki jangkauan penetrasi yang sangat luas di tingkat akar rumput. Berbeda dengan sosialisasi formal dari instansi pemerintah yang sering kali terkesan kaku dan teknokratis, dakwah keagamaan mampu menyentuh relung kesadaran masyarakat melalui pendekatan persuasif yang berbasis pada dalil-doktrin keselamatan.

Pemanfaatan mimbar agama untuk penyuluhan mitigasi menuntut adanya kolaborasi yang erat antara otoritas kebencanaan dan para pendakwah. Rahman dan Hidayat (2024) merekomendasikan penyusunan buku saku atau panduan khotbah tematik kebencanaan yang mengintegrasikan data saintifik dari BMKG dengan ayat-ayat suci yang relevan. Melalui panduan ini, para pemuka agama dapat menyampaikan pesan-pesan praktis-seperti pentingnya menjaga kebersihan saluran air, larangan merusak ekosistem mangrove, hingga tata cara evakuasi mandiri-dalam bahasa teologis yang mudah dipahami oleh jemaah. Transformasi pendakwah menjadi agen komunikasi risiko ini secara efektif melipatgandakan kapasitas diseminasi negara tanpa memerlukan alokasi anggaran yang besar.

Lebih jauh, penyuluhan berbasis nilai lokal juga harus mengakomodasi keragaman tradisi seni dan budaya di masing-masing daerah. Pesan mitigasi dapat disisipkan ke dalam lirik-lirik selawatan, tembang macapat, atau pantun adat yang sering dilantunkan dalam acara-acara komunal. Rahman dan Hidayat (2024) menegaskan bahwa pendekatan kultural ini tidak hanya berfungsi untuk mentransfer pengetahuan, tetapi juga untuk merawat warisan budaya takbenda itu sendiri. Dengan menjadikan kearifan lokal dan nilai religi sebagai kendaraan utama dalam kampanye pengurangan risiko bencana, pemerintah dapat memastikan bahwa budaya sadar bencana benar-benar terinternalisasi menjadi gaya hidup (*way of life*) masyarakat pesisir Nusantara.

Tabel 7.1 Analisis Komparatif Integrasi Nilai Kultural dan Religius dalam Mitigasi Bencana

Dimensi Integrasi	Bentuk Implementasi di Lapangan	Fungsi Mitigasi Utama	Tantangan Revitalisasi
Struktur Sosial & Gotong Royong	Lumbung sosial desa, evakuasi kolektif, perbaikan rumah bersama.	Mempercepat respons darurat dan distribusi logistik tanpa birokrasi.	Erosi nilai akibat komersialisasi dan gaya hidup individualistik.
Kepemimpinan Informal	Kiai/Tokoh Adat memimpin evakuasi dan menenangkan massa.	Mengatasi resistensi evakuasi dan memberikan legitimasi moral.	Kurangnya literasi saintifik kebencanaan pada sebagian tokoh lokal.
Tradisi Lisan & Mitos	Dongeng <i>Smong</i> , legenda naga laut, nyanyian pengantar tidur.	Transmisi pengetahuan ekologis dan peringatan dini lintas generasi.	Tergeser oleh media digital; dianggap sebagai takhayul oleh generasi muda.
Infrastruktur Religius	Masjid/Gereja sebagai <i>shelter</i> vertikal dan pusat komando darurat.	Menyediakan perlindungan fisik yang kokoh dan rasa aman spiritual.	Standar konstruksi bangunan ibadah yang belum sepenuhnya tahan gempa.
Dakwah & Teologi	Khotbah Jumat bertema mitigasi, rekontekstualisasi konsep ikhtiar.	Mendekonstruksi fatalisme dan mendorong partisipasi aktif warga.	Membutuhkan panduan khusus agar pesan sains selaras dengan

			doktrin agama.
--	--	--	----------------

BAB 8

SINERGI TEKNOLOGI DAN KEARIFAN LOKAL (HYBRID SYSTEM) DALAM PERINGATAN DINI

Pendahuluan

Diskursus mengenai manajemen risiko bencana pada dekade terakhir mulai bergeser dari pendekatan yang bersifat dikotomis menuju paradigma yang lebih integratif. Secara historis, terdapat polarisasi yang tajam antara penganut teknosentrisme-yang meyakini bahwa instrumen modern adalah solusi absolut-dengan penganut pendekatan kultural yang mengagungkan kearifan lokal sebagai mekanisme pertahanan organik. Bab ini memposisikan diri di tengah konstelasi keilmuan tersebut dengan menawarkan sintesis teoretis berupa sistem hibrida (*hybrid system*). Pendekatan ini tidak bermaksud untuk menundukkan salah satu epistemologi, melainkan mengawinkan presisi teknologi modern dengan daya terima sosiologis dari tradisi lokal. Melalui kerangka kerja ini, peringatan dini tidak lagi dipandang sekadar sebagai transmisi sinyal elektronik, melainkan sebagai proses komunikasi sosial yang bermakna dan menggerakkan.

Meskipun konsep integrasi ini mulai banyak digaungkan, masih terdapat *research gap* yang signifikan dalam tataran implementasi operasionalnya. Banyak studi terdahulu yang hanya berhenti pada jargon "kearifan lokal", tanpa memberikan peta jalan yang konkret mengenai bagaimana pengetahuan tradisional tersebut dapat didigitalisasi, atau bagaimana instrumen modern dapat diadaptasi agar sesuai dengan lanskap kultural masyarakat pesisir. Celah akademis ini mengakibatkan inisiatif integrasi sering kali bersifat artifisial; misalnya, sekadar menerjemahkan aplikasi ke dalam bahasa daerah tanpa memahami struktur kognitif penggunaannya. Tanpa adanya dekonstruksi yang mendalam mengenai mekanisme fusi sosio-teknis ini, sistem hibrida hanya akan menjadi eksperimen kebijakan yang gagal menjembatani kesenjangan antara kecanggihan sensor di laut dalam dan kesiapan warga di pesisir.

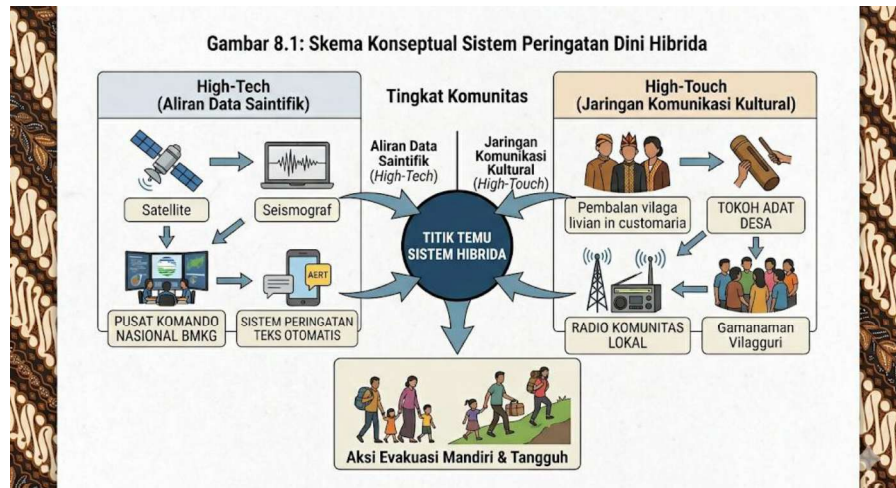
Berangkat dari identifikasi celah penelitian tersebut, bab ini dirumuskan untuk menjawab tiga pertanyaan penelitian utama. Pertama, apa

rasionalisasi teoretis dan filosofis yang mendasari urgensi penggabungan teknologi tinggi (*high-tech*) dengan sentuhan kultural (*high-touch*) dalam arsitektur peringatan dini? Kedua, bagaimana strategi digitalisasi dan pemetaan spasial dapat digunakan untuk mendokumentasikan serta merevitalisasi pengetahuan lokal agar relevan dengan tantangan kontemporer? Ketiga, bagaimana modernisasi alat komunikasi tradisional dan inovasi komunikasi risiko berbasis kesenian dapat mengamplifikasi efektivitas diseminasi informasi di tingkat akar rumput? Melalui elaborasi komprehensif ini, bab ini diharapkan mampu menyajikan model operasional yang solid bagi perancangan sistem peringatan dini yang inklusif, adaptif, dan berakar pada realitas sosiologis masyarakat Indonesia.

8.1 Konsep Integrasi Teknologi-Tradisi dalam Mitigasi

Konsep integrasi antara teknologi dan tradisi dalam mitigasi bencana merupakan sebuah keniscayaan evolusioner dalam merespons kompleksitas ancaman alam yang semakin eskalatif. Secara konseptual, integrasi ini berangkat dari kesadaran bahwa baik sistem modern maupun sistem tradisional memiliki keunggulan komparatif sekaligus titik buta (*blind spot*) masing-masing. Teknologi modern menawarkan kecepatan komputasi dan jangkauan observasi yang melampaui batas indrawi manusia, namun sering kali rapuh terhadap guncangan fisik dan terasing dari konteks sosial. Sebaliknya, tradisi lokal memiliki ketangguhan organik dan legitimasi kultural yang kuat, namun jangkauan deteksinya sangat terbatas pada anomali lingkungan mikro.

Oleh karena itu, fusi dari kedua entitas ini bertujuan untuk menciptakan sebuah arsitektur mitigasi yang saling menutupi kelemahan tersebut. Proses integrasi ini menuntut adanya dialog epistemologis yang setara, di mana data saintifik dari satelit dan sensor seismik diterjemahkan ke dalam narasi kultural yang dapat memicu refleksi penyelamatan komunal. Pemahaman yang komprehensif terhadap rasionalisasi dan filosofi integrasi ini merupakan fondasi utama sebelum melangkah pada rekayasa teknis di lapangan.



Gambar 8.1: Skema Konseptual Sistem Peringatan Dini Hibrida, mengilustrasikan titik temu antara aliran data saintifik (High-Tech) dengan jaringan komunikasi kultural (High-Touch) di tingkat komunitas.

8.1.1 Rasionalisasi Sistem Hibrida: Mengapa Modern Saja Tidak Cukup?

Rasionalisasi utama di balik urgensi sistem hibrida berakar pada rentetan kegagalan empiris dari sistem peringatan dini yang murni mengandalkan teknologi modern. Hidayat dan Wibowo (2022) dalam analisisnya memaparkan bahwa arsitektur *Tsunami Early Warning System* (TEWS) konvensional sangat bergantung pada rantai infrastruktur yang rentan terputus. Ketika gempa bumi berskala *megathrust* terjadi, guncangan hebat hampir dapat dipastikan akan melumpuhkan jaringan listrik dan merobohkan menara telekomunikasi seluler. Dalam skenario *blackout* total ini, secanggih apa pun algoritma di pusat komando nasional, informasi peringatan tersebut tidak akan pernah sampai ke telinga masyarakat pesisir jika hanya mengandalkan sirene elektronik atau aplikasi ponsel pintar. Ketergantungan absolut pada teknologi modern justru menciptakan kerentanan sistemik yang berakibat fatal pada fase *golden time*.

Selain kerentanan infrastruktur fisik, pendekatan modern yang bersifat teknokratis sering kali gagal mengatasi hambatan sosiologis di lapangan. Hidayat dan Wibowo (2022) menyoroti fenomena di mana masyarakat

pesisir kerap mengabaikan bunyi sirene resmi karena mengalami kebingungan kognitif atau ketidakpercayaan terhadap otoritas. Bahasa peringatan yang terlalu saintifik-seperti penyebutan *magnitudo*, *episentrum*, atau estimasi *run-up* dalam satuan meter-sering kali tidak mampu membangkitkan urgensi psikologis bagi warga awam. Kegagalan komunikasi risiko ini membuktikan bahwa transmisi data tidak identik dengan transmisi makna. Tanpa adanya medium kultural yang mampu mendekodekan informasi tersebut menjadi instruksi yang relevan secara emosional, teknologi modern hanya akan menghasilkan kebisingan tanpa arah.

Oleh karena itu, sistem hibrida hadir sebagai solusi rasional untuk mengisi kekosongan fungsional tersebut. Ketika teknologi modern lumpuh, sistem tradisional seperti kentongan, bedug, atau observasi visual terhadap surutnya air laut akan mengambil alih peran sebagai instrumen penyelamatan primer. Hidayat dan Wibowo (2022) menegaskan bahwa rasionalisasi ini tidak bermaksud mendegradasi pencapaian sains, melainkan menempatkannya dalam proporsi yang realistis. Sistem hibrida mengakui bahwa dalam situasi krisis yang ekstrem, kelangsungan hidup manusia tidak ditentukan oleh kecanggihan alat yang mereka miliki, melainkan oleh kelenturan sistem sosial dalam merespons anomali menggunakan segala sumber daya yang tersisa di lingkungan sekitar mereka.

8.1.2 Filosofi "High-Tech Meets High-Touch" dalam Peringatan Dini

Filosofi "*High-Tech Meets High-Touch*" merupakan kerangka berpikir yang menyeimbangkan antara intervensi teknologi tingkat tinggi dengan sentuhan kemanusiaan yang mendalam. Dalam konteks mitigasi bencana, Hidayat dan Wibowo (2022) mengartikulasikan bahwa *High-Tech* merepresentasikan instrumen observasi presisi seperti sensor *buoy*, satelit telemetri, dan kecerdasan buatan yang memproses data seismik secara *real-time*. Elemen ini bertugas memastikan bahwa deteksi ancaman dilakukan secepat dan seakurat mungkin. Namun, teknologi ini bersifat dingin, mekanis, dan tidak memiliki kapasitas untuk berempati atau memahami dinamika kepanikan massa. Di sinilah elemen *High-Touch* masuk untuk memberikan nyawa pada sistem tersebut.

Elemen *High-Touch* merujuk pada pendekatan sosiologis yang melibatkan interaksi tatap muka, pelibatan tokoh karismatik, dan penggunaan simbol-simbol kultural dalam mendiseminasikan peringatan. Hidayat dan Wibowo (2022) menjelaskan bahwa ketika data *High-Tech* mengonfirmasi adanya potensi tsunami, elemen *High-Touch* bertugas menerjemahkan data tersebut melalui jaringan sosial yang hangat dan dipercaya. Misalnya, alih-alih hanya mengirimkan pesan teks otomatis (*SMS Blast*), informasi tersebut juga disalurkan melalui pengeras suara masjid oleh kiai setempat dengan nada yang menenangkan namun tegas. Sentuhan kemanusiaan ini terbukti secara empiris mampu mereduksi histeria massal, mencegah evakuasi yang kacau, dan memastikan bahwa kelompok rentan tidak tertinggal di zona bahaya.

Penerapan filosofi ini menuntut perubahan paradigma di kalangan perumus kebijakan dan insinyur kebencanaan. Mereka tidak boleh lagi mendesain sistem peringatan dini di ruang hampa sosiologis. Hidayat dan Wibowo (2022) menekankan bahwa setiap investasi pada perangkat keras (*hardware*) harus diimbangi dengan investasi yang setara pada perangkat sosial (*social-ware*). Filosofi "*High-Tech Meets High-Touch*" mengajarkan bahwa teknologi terbaik bukanlah yang paling rumit secara algoritma, melainkan yang paling mulus berintegrasi dengan denyut nadi kehidupan masyarakat penggunaannya. Melalui keseimbangan ini, peringatan dini bertransformasi dari sekadar alarm mekanis menjadi panggilan solidaritas kemanusiaan.

8.1.3 Kerangka Kerja Integrasi: Komplementer bukan Substitusi

Untuk merealisasikan filosofi tersebut ke dalam tataran operasional, diperlukan sebuah kerangka kerja integrasi yang mendudukan teknologi dan tradisi dalam relasi yang komplementer, bukan saling mensubstitusi. Hidayat dan Wibowo (2022) memaparkan bahwa kesalahan fatal dalam banyak program modernisasi di negara berkembang adalah asumsi bahwa masuknya teknologi baru harus menggusur praktik-praktik lama. Dalam kerangka kerja hibrida, instrumen modern seperti sirene elektronik tidak didesain untuk menggantikan kentongan atau bedug, melainkan beroperasi secara paralel. Keduanya membentuk lapisan pertahanan (*lines of defense*) yang berlapis; jika lapisan pertama (teknologi) gagal, lapisan kedua (tradisi) akan secara otomatis menopang beban sistem.

Secara struktural, kerangka kerja komplementer ini diwujudkan melalui pembagian peran yang jelas berdasarkan fase waktu dan jangkauan spasial. Pada fase deteksi awal di laut lepas, teknologi modern memegang kendali absolut karena tradisi lokal tidak memiliki instrumen untuk menjangkau area tersebut. Namun, pada fase diseminasi di tingkat rukun tetangga (RT) dan eksekusi evakuasi, kearifan lokal mengambil alih peran dominan. Hidayat dan Wibowo (2022) menyoroti bahwa kerangka kerja ini juga mengatur mekanisme umpan balik (*feedback loop*), di mana observasi visual warga terhadap anomali alam (seperti air laut surut) dapat dilaporkan kembali ke pusat komando melalui radio komunikasi untuk memvalidasi data dari sensor instrumental yang mungkin mengalami malfungsi.

Keberhasilan kerangka kerja ini sangat bergantung pada pelembagaan protokol integrasi ke dalam Standar Operasional Prosedur (SOP) resmi pemerintah daerah. Hidayat dan Wibowo (2022) merekomendasikan agar dokumen Rencana Kontinjensi Desa secara eksplisit mencantumkan prosedur aktivasi alat tradisional bersamaan dengan aktivasi sirene modern. Selain itu, pelatihan gabungan antara operator Pusdalops yang mengendalikan teknologi dengan relawan lokal yang memegang instrumen tradisional harus dirutinkan. Dengan memposisikan keduanya sebagai mitra sejajar yang saling melengkapi, kerangka kerja integrasi ini menciptakan sebuah ekosistem resiliensi yang memiliki redundansi tinggi dan kebal terhadap berbagai skenario kelumpuhan infrastruktur.

8.2 Digitalisasi dan Dokumentasi Pengetahuan Lokal

Pengetahuan lokal mengenai mitigasi bencana sering kali menghadapi ancaman kepunahan karena sifatnya yang ditransmisikan secara lisan dan sangat bergantung pada ingatan para sesepuh desa. Di tengah arus urbanisasi dan perubahan gaya hidup generasi muda pesisir, rantai transmisi kultural ini perlahan terputus. Oleh karena itu, digitalisasi dan dokumentasi pengetahuan lokal bukan sekadar upaya pengarsipan budaya, melainkan strategi krusial untuk menyelamatkan data-data penyelamatan nyawa agar tetap relevan dan dapat diakses oleh generasi digital (*digital native*).

Proses digitalisasi ini melibatkan ekstraksi nilai-nilai kearifan lokal, pemetaan spasial berbasis memori kolektif, dan pengemasannya kembali ke dalam platform teknologi informasi modern. Melalui konversi dari format lisan ke format digital, pengetahuan tradisional yang tadinya bersifat eksklusif dan terbatas pada komunitas tertentu dapat didiseminasikan secara luas, direplikasi, dan diintegrasikan dengan basis data kebencanaan nasional. Langkah ini merupakan manifestasi nyata dari upaya menjembatani masa lalu yang kaya akan pengalaman empiris dengan masa depan yang digerakkan oleh teknologi.

8.2.1 Pengembangan Aplikasi Berbasis Konten Lokal dan Bahasa Daerah

Salah satu inovasi paling menjanjikan dalam digitalisasi pengetahuan lokal adalah pengembangan aplikasi seluler yang dikustomisasi secara spesifik menggunakan konten dan bahasa daerah. Fitri dan Susanto (2022) mengartikulasikan bahwa aplikasi peringatan dini berskala nasional sering kali mengalami kendala penerimaan di tingkat akar rumput karena menggunakan bahasa Indonesia formal yang kaku dan istilah teknis yang asing. Untuk mengatasi hambatan linguistik ini, pengembangan aplikasi lokal memprioritaskan antarmuka pengguna (*user interface*) yang mengadopsi dialek setempat, simbol-simbol kultural yang akrab, dan narasi peringatan yang disesuaikan dengan konteks sosiologis pengguna.

Secara fungsional, aplikasi berbasis konten lokal ini tidak hanya menyalurkan data gempa dari BMKG, tetapi juga mengintegrasikan fitur-fitur edukasi yang bersumber dari kearifan lokal. Fitri dan Susanto (2022) mencontohkan aplikasi yang memuat ensiklopedia digital mengenai tanda-tanda alam tradisional, panduan membaca formasi awan, hingga kompilasi cerita rakyat terkait bencana dalam bentuk animasi interaktif. Selain itu, notifikasi peringatan dini dapat diatur agar mengeluarkan suara rekaman ketukan kentongan *titir* atau teriakan sandi lokal (seperti kata *Smong*), alih-alih menggunakan nada dering standar pabrik. Personalisasi akustik dan visual ini terbukti secara signifikan meningkatkan respons kognitif pengguna saat situasi darurat terjadi.

Tantangan utama dalam pengembangan aplikasi ini adalah memastikan keberlanjutan pemeliharaan server dan pembaruan perangkat lunak. Fitri dan Susanto (2022) menekankan bahwa inisiatif ini tidak boleh hanya

bergantung pada proyek jangka pendek dari perguruan tinggi atau lembaga donor. Pemerintah daerah, melalui Dinas Komunikasi dan Informatika (Diskominfo) berkolaborasi dengan Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD), harus mengambil alih kepemilikan (*ownership*) aplikasi tersebut. Pelibatan komunitas pemuda lokal yang memiliki keahlian pemrograman (*local developers*) dalam proses perancangan dan pemeliharaan juga sangat krusial untuk menumbuhkan rasa bangga dan memastikan bahwa aplikasi tersebut benar-benar merepresentasikan identitas kultural desa mereka.

8.2.2 Pemetaan Kearifan Lokal menggunakan GIS (Geographic Information System)

Kearifan lokal sering kali mengandung informasi spasial yang sangat kaya, seperti lokasi bukit penyelamatan historis, jalur evakuasi tradisional yang terbukti aman dari genangan, hingga zona-zona pesisir yang secara turun-temurun dilarang untuk didirikan bangunan. Pratama dan Yuliana (2023) memaparkan bahwa informasi spasial yang tersimpan dalam memori kolektif ini dapat diekstraksi dan divisualisasikan secara presisi menggunakan teknologi *Geographic Information System* (GIS). Proses pemetaan partisipatif (*participatory mapping*) ini melibatkan para sesepuh desa dan tokoh adat untuk menunjukkan titik-titik krusial tersebut, yang kemudian didigitasi oleh para ahli pemetaan ke dalam format poligon dan koordinat geospasial.

Integrasi data kultural ke dalam platform GIS menghasilkan peta risiko hibrida yang jauh lebih komprehensif dibandingkan peta teknokratis konvensional. Pratama dan Yuliana (2023) menjelaskan bahwa peta GIS ini tidak hanya menampilkan kontur batimetri dan estimasi *run-up* tsunami, tetapi juga melapisinya (*overlay*) dengan data toponimi lokal (penamaan tempat berdasarkan sejarah bencana) dan distribusi lumbung sosial tradisional. Visualisasi ini sangat membantu otoritas kebencanaan dalam merancang tata ruang yang menghormati batas-batas kultural, sekaligus memastikan bahwa infrastruktur evakuasi modern dibangun di lokasi yang secara historis dan sosiologis dapat diterima oleh masyarakat setempat.

Lebih jauh, hasil pemetaan GIS ini dapat diakses secara terbuka (*open source*) melalui portal web desa atau dasbor BPBD. Pratama dan Yuliana

(2023) menyoroti bahwa demokratisasi data spasial ini memberdayakan masyarakat untuk memahami lanskap kerentanan mereka sendiri secara interaktif. Bagi generasi muda, melihat cerita-cerita leluhur mereka tervalidasi dalam bentuk peta digital tiga dimensi memberikan legitimasi saintifik terhadap kearifan lokal tersebut. Pemetaan GIS dengan demikian berfungsi sebagai jembatan epistemologis yang menerjemahkan kebijaksanaan masa lalu ke dalam bahasa visual yang diakui oleh tata kelola pemerintahan modern.

8.2.3 Media Sosial dan Platform Digital sebagai Sarana Revitalisasi Budaya Mitigasi

Di era hiperkonektivitas, media sosial telah bertransformasi menjadi ruang publik baru di mana wacana kultural direproduksi dan dikonsumsi secara masif. Fitri dan Susanto (2022) mengidentifikasi bahwa platform seperti YouTube, Instagram, dan TikTok menawarkan potensi yang luar biasa besar untuk merevitalisasi budaya mitigasi tradisional agar kembali diminati oleh generasi milenial dan Gen Z. Melalui kampanye digital yang kreatif, narasi-narasi kearifan lokal yang tadinya dianggap kuno dapat dikemas ulang menjadi konten visual yang menarik, dinamis, dan mudah dibagikan (*shareable*). Media sosial memecah isolasi geografis, memungkinkan praktik baik dari satu desa pesisir untuk menginspirasi komunitas di pulau lain dalam hitungan detik.

Strategi revitalisasi melalui platform digital ini menuntut pendekatan *storytelling* yang kuat. Fitri dan Susanto (2022) mencontohkan pembuatan film dokumenter pendek, *podcast* yang mewawancarai penyintas sejarah, atau kompetisi video pendek bertema kearifan lokal kebencanaan. Konten-konten ini tidak hanya mendokumentasikan pengetahuan, tetapi juga memicu diskursus publik mengenai pentingnya menjaga harmoni dengan alam. Selain itu, media sosial memfasilitasi pembentukan komunitas virtual (*virtual communities of practice*) di mana para relawan lokal, akademisi, dan praktisi kebencanaan dapat saling bertukar informasi, memvalidasi mitos-mitos lokal dengan data saintifik, dan merancang inisiatif mitigasi kolaboratif.

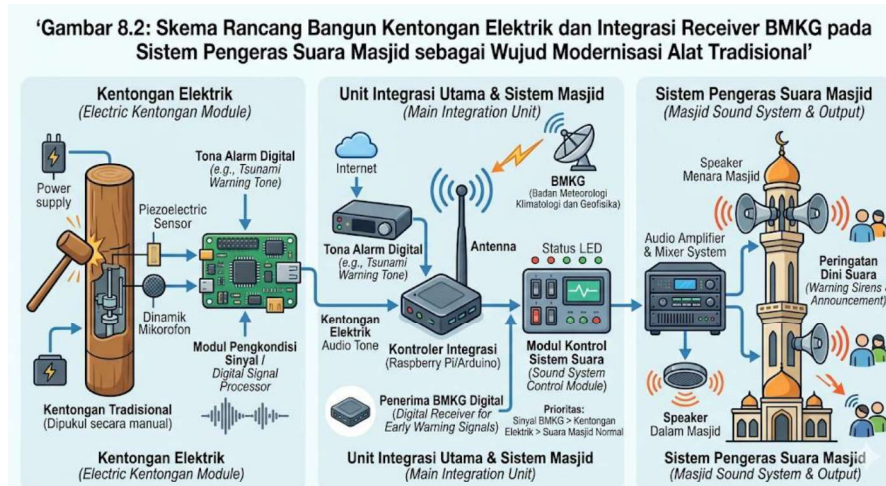
Namun, pemanfaatan media sosial juga membawa risiko penyebaran disinformasi atau hoaks yang dapat mendistorsi makna asli dari kearifan

lokal tersebut. Fitri dan Susanto (2022) menekankan perlunya kehadiran otoritas kebencanaan dan akademisi sebagai kurator konten (*content curators*) yang secara aktif memverifikasi narasi yang beredar. Akun-akun resmi pemerintah daerah harus secara rutin mempublikasikan infografis yang meluruskan miskonsepsi kultural, sekaligus mempromosikan praktik tradisional yang terbukti aman. Dengan mengorkestrasi algoritma media sosial untuk kepentingan edukasi, platform digital dapat diubah dari sekadar alat hiburan menjadi mesin pelestari peradaban yang tangguh terhadap bencana.

8.3 Modernisasi Alat Komunikasi Tradisional

Eksistensi alat komunikasi tradisional dalam ekosistem masyarakat pesisir sering kali dihadapkan pada dilema fungsional di era modern. Di satu sisi, instrumen seperti kentongan dan bedug memiliki keunggulan absolut dalam hal penerimaan kultural dan keakraban kognitif (*cognitive familiarity*) bagi warga lokal. Di sisi lain, alat-alat ini memiliki keterbatasan inheren secara mekanis, seperti radius jangkauan suara yang terbatas, ketergantungan pada tenaga manusia untuk membunyikannya, serta kerentanan terhadap faktor cuaca. Oleh karena itu, membiarkan alat tradisional beroperasi secara konvensional di tengah ancaman *megathrust* yang membutuhkan respons dalam hitungan detik adalah sebuah langkah yang tidak memadai secara taktis.

Untuk menjembatani dilema tersebut, modernisasi alat komunikasi tradisional muncul sebagai inovasi rekayasa sosio-teknis yang sangat revolusioner. Modernisasi ini tidak bertujuan untuk mengubah bentuk fisik atau menghilangkan nilai filosofis dari instrumen tersebut, melainkan menginjeksi teknologi otomasi dan elektronika ke dalamnya. Melalui proses hibridisasi ini, alat tradisional diubah menjadi terminal pintar (*smart nodes*) yang terhubung langsung dengan jaringan sensor peringatan dini nasional. Transformasi ini memastikan bahwa kearifan lokal tetap menjadi medium utama dalam komunikasi risiko, namun dengan tingkat kecepatan, keandalan, dan jangkauan yang setara dengan infrastruktur teknologi modern.



Gambar 8.2: Skema Rancang Bangun Kentongan Elektrik dan Integrasi Receiver BMKG pada Sistem Pengeras Suara Masjid sebagai Wujud Modernisasi Alat Tradisional.

8.3.1 Kentongan Elektrik dan Bedug Digital Terintegrasi Sensor Peringatan Dini

Inovasi rancang bangun kentongan elektrik merepresentasikan lompatan kuantum dalam sejarah teknologi mitigasi berbasis kearifan lokal. Santoso dan Arifin (2021) memaparkan bahwa secara arsitektural, kentongan elektrik tetap menggunakan material bambu atau kayu resonansi untuk mempertahankan timbre suara aslinya. Namun, di dalam rongga resonator tersebut ditanamkan modul mikrokontroler, motor penggerak mekanis (solenoid), dan modul komunikasi nirkabel (seperti modul GSM atau frekuensi radio). Ketika server pusat Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) mendeteksi anomali seismik yang berpotensi tsunami, sinyal *trigger* akan dikirimkan secara otomatis ke modul penerima di dalam kentongan tersebut, yang kemudian mengaktifkan motor pemukul tanpa memerlukan intervensi manusia.

Keunggulan utama dari kentongan elektrik ini adalah kemampuannya untuk mengeliminasi *human error* dan *time lag* (keterlambatan waktu) yang sering terjadi pada sistem manual. Santoso dan Arifin (2021) menyoroti bahwa dalam situasi gempa bumi yang sangat kuat, warga yang

bertugas di pos ronda sering kali panik, terjatuh, atau bahkan melarikan diri untuk menyelamatkan keluarganya, sehingga lupa membunyikan kentongan. Dengan sistem otomasi, kentongan akan langsung memukul ritme *titir* (sandi bahaya) secara presisi pada detik yang sama saat peringatan BMKG diterbitkan. Selain itu, sistem ini dilengkapi dengan baterai cadangan (*uninterruptible power supply*) dan panel surya mini, memastikan tetap beroperasi secara independen meskipun jaringan listrik PLN terputus akibat guncangan gempa.

Pengembangan lebih lanjut juga menyentuh instrumen bedug digital di lingkungan masjid. Santoso dan Arifin (2021) menjelaskan bahwa sensor aktuator dapat dipasang pada membran bedug, yang akan memukul secara otomatis dengan ritme darurat ketika menerima sinyal telemetri. Modernisasi instrumen ini memecahkan masalah skalabilitas diseminasi di kawasan pedesaan yang padat. Alih-alih menginvestasikan miliaran rupiah untuk membangun menara sirene raksasa yang rentan terhadap vandalisme, pemerintah daerah dapat mendistribusikan modul otomasi ini ke ratusan pos ronda dan masjid yang sudah eksis. Pendekatan desentralistik ini menciptakan jaring laba-laba peringatan dini (*warning web*) yang sangat rapat, memastikan bahwa suara peringatan kultural ini mengema secara serentak dan merata di seluruh penjuru desa.

8.3.2 Penggunaan Speaker Masjid/Gereja untuk Diseminasi Data BMKG dan Informasi Lokal

Infrastruktur pengeras suara (*speaker*) yang terpasang di menara-menara masjid dan gereja merupakan aset komunikasi publik yang paling tersebar luas dan terawat dengan baik di Indonesia. Santoso dan Arifin (2021) mengartikulasikan bahwa mengintegrasikan jaringan *speaker* rumah ibadah ini ke dalam arsitektur *Tsunami Early Warning System* (TEWS) adalah strategi hibrida yang sangat efisien dan hemat biaya. Secara teknis, integrasi ini dilakukan dengan memasang perangkat *Warning Receiver System* (WRS) generasi terbaru yang dihubungkan langsung ke *amplifier* (penguat suara) masjid atau gereja. Ketika peringatan dini tsunami berstatus "Awat" diterbitkan, sistem WRS akan secara otomatis mengambil alih (*override*) saluran audio rumah ibadah tersebut untuk menyiarkan pesan suara darurat.

Pemanfaatan *speaker* rumah ibadah ini memiliki keunggulan komparatif yang signifikan dibandingkan dengan sirene konvensional, terutama dalam hal kejelasan pesan (*message clarity*). Santoso dan Arifin (2021) menjelaskan bahwa sirene hanya mampu menghasilkan nada lengkingan yang mengindikasikan adanya bahaya, namun tidak memberikan instruksi spesifik mengenai apa yang harus dilakukan. Sebaliknya, melalui *speaker* masjid, sistem dapat menyiarkan pesan suara (**voice announcement*) yang direkam sebelumnya dalam bahasa daerah setempat. Pesan tersebut dapat memberikan instruksi taktis yang presisi, misalnya: "*Perhatian, gempa berpotensi tsunami. Segera tinggalkan rumah dan berlari ke arah Bukit Harapan sekarang juga.*" Kejelasan instruksi verbal ini secara drastis mereduksi kebingungan kognitif warga dan mencegah terjadinya evakuasi ke arah yang salah.

Selain untuk menyiarkan data otomatis dari BMKG, sistem pengeras suara ini juga dioptimalkan untuk diseminasi informasi lokal oleh para pemuka agama atau kepala desa pasca-guncangan. Santoso dan Arifin (2021) menekankan bahwa suara tokoh karismatik yang dikenal oleh warga-yang disiarkan secara langsung melalui mikrofon masjid-memiliki efek penenang psikologis yang luar biasa di tengah kepanikan massal. Mereka dapat memandu proses evakuasi, menenangkan warga agar tidak berdesak-desakan, dan memberikan pembaruan informasi mengenai kondisi jalur evakuasi. Sinergi antara teknologi penerima sinyal satelit dan infrastruktur akustik kultural ini membuktikan bahwa rumah ibadah dapat bertransformasi menjadi pusat komando komunikasi krisis yang paling andal di tingkat akar rumput.

8.3.3 Jaringan Komunikasi Komunitas Berbasis Radio dan Tradisi Lisan

Di tengah kerentanan infrastruktur telekomunikasi modern terhadap guncangan bencana, jaringan radio komunikasi amatir (VHF/UHF) yang dikelola oleh komunitas lokal tetap menjadi tulang punggung (*backbone*) komunikasi darurat yang tak tergantikan. Nugroho dan Mutiarin (2021) memaparkan bahwa integrasi antara teknologi radio dua arah (*Handy Talky/HT*) dengan tradisi lisan masyarakat pesisir menciptakan sistem diseminasi informasi yang sangat tangguh dan organik. Komunitas relawan lokal, seperti Radio Antar Penduduk Indonesia (RAPI) atau Organisasi Amatir Radio Indonesia (ORARI), memiliki infrastruktur *repeater* mandiri

yang beroperasi menggunakan tenaga surya atau genset, sehingga kebal terhadap *blackout* kelistrikan dan kelumpuhan sinyal seluler yang kerap terjadi pasca-gempa *megathrust*.

Kekuatan utama dari jaringan radio komunitas ini terletak pada kemampuannya untuk memfasilitasi komunikasi dua arah (*two-way communication*) secara *real-time*. Nugroho dan Mutiarin (2021) menyoroti bahwa berbeda dengan sirene atau SMS *Blast* yang bersifat satu arah (*broadcasting*), radio komunikasi memungkinkan relawan di garis pantai untuk melaporkan observasi visual secara langsung—seperti fenomena air laut yang tiba-tiba surut—kepada Posko Induk di balai desa. Laporan pandangan mata (*eyewitness report*) ini sangat krusial untuk memvalidasi atau bahkan mengoreksi data instrumental dari BMKG yang mungkin mengalami *time lag*. Dalam banyak kasus, keputusan evakuasi lokal yang menyelamatkan ribuan nyawa justru dipicu oleh laporan cepat dari nelayan yang memegang HT di dermaga, bukan dari alarm satelit.

Lebih jauh, penggunaan radio komunikasi ini sangat kental diwarnai oleh tradisi lisan dan sandi-sandi lokal yang hanya dipahami oleh komunitas tersebut. Nugroho dan Mutiarin (2021) menjelaskan bahwa para relawan sering kali menggunakan istilah-istilah kultural atau toponimi lokal (nama tempat tradisional) untuk mendeskripsikan lokasi kerusakan atau titik kumpul, yang mempercepat proses pemahaman di antara sesama warga. Untuk merawat dan mengoptimalkan sistem hibrida ini, pemerintah daerah perlu memberikan legalitas frekuensi khusus kebencanaan bagi komunitas lokal, serta memfasilitasi pengadaan perangkat HT bagi para ketua Rukun Tetangga (RT) di zona merah. Melalui perpaduan antara ketahanan teknologi gelombang radio dan kekayaan tradisi lisan, komunitas pesisir memiliki jaring pengaman komunikasi yang absolut.

8.4 Strategi Komunikasi Risiko yang Efektif dan Adaptif

Komunikasi risiko bencana bukanlah sekadar proses linear memindahkan data ancaman dari otoritas saintifik ke masyarakat awam. Secara sosiologis, komunikasi risiko adalah proses negosiasi makna (*meaning-making process*) di mana informasi yang disampaikan harus mampu menembus filter kognitif, sistem kepercayaan, dan latar belakang kultural audiensnya. Strategi komunikasi yang hanya mengandalkan pendekatan

teknokratis-seperti penyebaran pamflet berisi grafik probabilitas atau jargon seismologi-terbukti sering kali gagal memicu perubahan perilaku (*behavioral change*) yang diharapkan. Masyarakat membutuhkan narasi yang relevan dengan realitas keseharian mereka agar informasi tersebut dapat diinternalisasi menjadi kesiapsiagaan refleksif.

Oleh karena itu, strategi komunikasi risiko yang efektif menuntut tingkat adaptabilitas yang tinggi terhadap lanskap sosiokultural lokal. Pendekatan ini mengharuskan para komunikator bencana untuk turun dari menara gading akademis dan mulai menggunakan instrumen-instrumen kultural yang telah mengakar di masyarakat. Penggunaan bahasa daerah, pemanfaatan kesenian tradisional sebagai medium edukasi, hingga perancangan simulasi evakuasi yang berbasis pada skenario kehidupan nyata warga, merupakan manifestasi dari strategi komunikasi yang adaptif. Melalui pendekatan yang membumi ini, pesan-pesan mitigasi tidak lagi terdengar sebagai instruksi asing dari pemerintah pusat, melainkan sebagai nasihat penyelamatan dari dalam rahim kebudayaan mereka sendiri.

8.4.1 Penggunaan Simbol, Narasi, dan Bahasa Lokal dalam Papan Informasi dan Edukasi

Papan informasi peringatan dini dan rambu-rambu jalur evakuasi merupakan infrastruktur visual yang paling sering dijumpai di kawasan pesisir. Namun, efektivitas rambu-rambu ini sering kali tereduksi karena desainnya yang terlalu kaku, menggunakan piktogram standar internasional yang kadang tidak dipahami oleh masyarakat tradisional, serta menggunakan bahasa Indonesia formal yang berjarak dengan dialek keseharian warga. Mulyani dan Kusuma (2024) menegaskan bahwa lokalisasi desain visual dan linguistik pada infrastruktur edukasi ini adalah langkah pertama yang krusial dalam strategi komunikasi risiko yang adaptif. Penggunaan bahasa ibu (*mother tongue*) dalam papan peringatan terbukti secara psikologis mampu mempercepat proses dekode informasi di otak manusia, terutama saat berada dalam kondisi panik yang ekstrem.

Selain lokalisasi bahasa, integrasi simbol-simbol kultural dan narasi lokal ke dalam media edukasi memberikan daya lekat memori (*memory retention*) yang jauh lebih kuat. Mulyani dan Kusuma (2024)

mencontohkan pembuatan papan informasi yang tidak hanya menampilkan arah panah evakuasi, tetapi juga menyertakan ilustrasi tokoh legenda lokal atau kutipan pepatah adat yang berkaitan dengan kewaspadaan alam. Misalnya, di kawasan pesisir tertentu, rambu evakuasi dapat dibingkai dengan narasi visual mengenai "Naga Laut yang Sedang Bangun", sebuah metafora kultural untuk gempa *megathrust*. Pendekatan semiotik ini mengubah papan informasi dari sekadar penunjuk arah mekanis menjadi monumen peringatan kultural yang dihormati oleh warga setempat.

Lebih jauh, narasi lokal juga harus diarusutamakan dalam penyusunan buku saku mitigasi atau modul pembelajaran di sekolah-sekolah dasar pesisir. Mulyani dan Kusuma (2024) merekomendasikan agar materi edukasi tidak lagi menggunakan contoh-contoh abstrak dari luar negeri, melainkan mengangkat sejarah kebencanaan lokal yang pernah menimpa desa mereka sendiri. Menceritakan kembali pengalaman kakek-nenek mereka saat menghadapi tsunami masa lalu, lengkap dengan nama-nama tempat yang spesifik di desa tersebut, akan menciptakan ikatan emosional yang kuat bagi para siswa. Melalui personalisasi narasi ini, ancaman bencana tidak lagi dipandang sebagai probabilitas statistik yang jauh, melainkan sebagai realitas historis yang menuntut kesiapsiagaan kolektif.

8.4.2 Sosialisasi Mitigasi melalui Kesenian Tradisional (Wayang, Teater Rakyat, Cerita)

Kesenian tradisional merupakan medium komunikasi massa yang paling organik dan memiliki daya penetrasi kultural yang sangat dalam di masyarakat Indonesia. Mulyani dan Kusuma (2024) memaparkan bahwa pertunjukan seni seperti wayang kulit, ketoprak, ludruk, atau teater tutur rakyat (seperti *kaba* di Sumatera) bukan sekadar tontonan hiburan, melainkan institusi pendidikan informal yang telah berabad-abad berfungsi sebagai penyampai pesan moral dan kritik sosial. Mengintegrasikan pesan-pesan mitigasi bencana ke dalam lakon kesenian tradisional ini merupakan strategi *edutainment* (edukasi dan hiburan) yang sangat brilian, karena ia mampu menembus resistensi psikologis warga yang sering kali merasa bosan atau terintimidasi oleh penyuluhan formal dari instansi pemerintah.

Dalam praktiknya, sosialisasi melalui kesenian tradisional menuntut kolaborasi kreatif antara ahli kebencanaan dan para seniman lokal (dalang, sutradara, atau budayawan). Mulyani dan Kusuma (2024) menjelaskan bahwa pesan mitigasi tidak boleh disisipkan secara kaku seperti iklan layanan masyarakat, melainkan harus dilebur secara halus ke dalam alur cerita (*plot*). Sebagai contoh, seorang dalang wayang kulit dapat mengubah lakon carangan (kisah gubahan) di mana tokoh Punakawan (Semar, Gareng, Petruk, Bagong) memberikan petuah jenaka namun sarat makna mengenai pentingnya menjaga kelestarian hutan mangrove untuk menahan amukan gelombang samudra. Melalui dialog-dialog improvisasi yang diselingi humor khas daerah, informasi teknis mengenai *golden time* evakuasi dapat tersampaikan dengan sangat efektif tanpa menggurui penonton.

Keunggulan komparatif dari metode ini adalah kemampuannya untuk mengumpulkan massa dalam jumlah besar secara sukarela dan menciptakan ruang diskursus komunal. Mulyani dan Kusuma (2024) menyoroti bahwa pasca-pertunjukan, pesan-pesan kebencanaan yang disampaikan oleh tokoh-tokoh panggung tersebut sering kali menjadi bahan perbincangan (*word of mouth*) di warung-warung kopi atau balai desa selama sehari-hari. Resonansi sosial inilah yang menjadi indikator keberhasilan komunikasi risiko. Oleh karena itu, pemerintah daerah dan Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) perlu mengalokasikan dana hibah khusus untuk mensponsori kelompok-kelompok seni tradisional agar mereka dapat terus memproduksi karya-karya kreatif yang bertemakan ketangguhan bencana, menjadikan panggung seni sebagai garda terdepan dalam kampanye mitigasi kultural.

8.4.3 Simulasi Evakuasi Berbasis Skenario Lokal dan Partisipasi Komunitas

Simulasi evakuasi (*drill exercise*) merupakan instrumen pengujian paling komprehensif untuk mengukur tingkat kesiapsiagaan suatu komunitas. Namun, banyak simulasi yang diselenggarakan oleh otoritas formal sering kali terjebak pada rutinitas administratif yang bersifat koreografis, di mana warga hanya diarahkan untuk berjalan santai mengikuti rute yang telah disterilkan. Rahman dan Sari (2023) mengkritik pendekatan *top-down* ini karena gagal mereplikasi kondisi kekacauan (*chaos*) yang sesungguhnya

terjadi saat bencana. Untuk mencapai efektivitas maksimal, simulasi evakuasi harus dirancang menggunakan pendekatan *bottom-up*, berbasis pada skenario lokal yang sangat spesifik, dan menuntut partisipasi aktif komunitas sejak fase perencanaannya.

Simulasi berbasis skenario lokal berarti menginjeksi variabel-variabel sosiologis dan topografis yang unik dari desa tersebut ke dalam latihan. Rahman dan Sari (2023) mencontohkan perancangan simulasi yang dilakukan pada waktu-waktu kritis, seperti saat hari pasar tradisional sedang ramai, saat warga sedang melaksanakan ibadah salat Jumat, atau bahkan simulasi evakuasi malam hari dalam kondisi listrik dipadamkan secara sengaja (*blackout scenario*). Skenario-skenario realistis ini memaksa warga dan relawan lokal untuk melatih kemampuan pengambilan keputusan di bawah tekanan ekstrem, menguji efektivitas alat komunikasi tradisional seperti kentongan dalam kegelapan, serta mengevaluasi *bottleneck* (titik kemacetan) di gang-gang sempit permukiman yang tidak terdeteksi dalam simulasi siang hari.

Lebih dari sekadar latihan fisik, simulasi partisipatif ini berfungsi sebagai medium konsolidasi sosial. Rahman dan Sari (2023) menekankan bahwa pelibatan komunitas secara penuh-mulai dari penentuan skenario, pembagian peran sebagai korban luka, hingga evaluasi pasca-latihan (*after-action review*)-akan menumbuhkan rasa kepemilikan (*sense of ownership*) yang kuat terhadap sistem peringatan dini hibrida yang mereka miliki. Warga tidak lagi merasa menjadi objek proyek pemerintah, melainkan subjek aktif yang bertanggung jawab atas keselamatan kolektifnya. Melalui simulasi yang dikontekstualisasikan dengan realitas lokal ini, memori otot (*muscle memory*) dan refleks evakuasi warga akan terasah secara tajam, memastikan bahwa mereka siap merespons anomali alam kapan pun ia datang.

8.4.4 Evaluasi Penerimaan Masyarakat terhadap Sistem Peringatan Dini Hibrida

Implementasi sistem peringatan dini hibrida yang mengawinkan teknologi modern dan kearifan lokal tidak akan memiliki legitimasi operasional tanpa adanya evaluasi yang sistematis terhadap tingkat penerimaan masyarakat (*community acceptance*). Rahman dan Sari (2023)

memaparkan bahwa evaluasi ini merupakan mekanisme umpan balik (*feedback mechanism*) yang esensial untuk mengukur sejauh mana inovasi sosio-teknis tersebut benar-benar dipahami, dipercaya, dan diadopsi oleh warga pesisir. Evaluasi penerimaan tidak boleh hanya diukur dari metrik kuantitatif seperti jumlah aplikasi yang diunduh atau jumlah kentongan elektrik yang dipasang, melainkan harus membedah dimensi kualitatif terkait perubahan persepsi dan perilaku masyarakat terhadap risiko bencana.

Parameter utama dalam evaluasi ini adalah tingkat kepercayaan (*trust level*) masyarakat terhadap instrumen hibrida tersebut. Rahman dan Sari (2023) menjelaskan bahwa kepercayaan ini dibangun di atas dua pilar: keandalan teknis (apakah alat tersebut berfungsi tanpa *false alarm*) dan kesesuaian kultural (apakah alat tersebut menghormati nilai-nilai lokal). Jika warga merasa bahwa integrasi *speaker* masjid untuk peringatan dini melanggar kesakralan rumah ibadah, maka sistem tersebut akan menghadapi resistensi pasif. Oleh karena itu, evaluasi harus dilakukan melalui metode partisipatif, seperti *Focus Group Discussion* (FGD) dengan para tokoh adat, pemuka agama, dan perwakilan kelompok rentan, guna menggali keluhan, keraguan, atau saran perbaikan dari sudut pandang pengguna akhir (*end-users*).

Hasil dari evaluasi penerimaan ini harus dijadikan landasan empiris (*evidence-based*) bagi pemerintah daerah untuk melakukan iterasi dan penyempurnaan sistem secara berkelanjutan. Rahman dan Sari (2023) menegaskan bahwa sistem hibrida bukanlah sebuah produk final yang statis, melainkan sebuah proses adaptasi yang dinamis. Jika evaluasi menunjukkan bahwa narasi bahasa daerah pada aplikasi ponsel masih sulit dipahami oleh lansia, maka pengembang harus segera merevisi antarmuka audio tersebut. Melalui siklus evaluasi dan kalibrasi yang terus-menerus ini, sistem peringatan dini hibrida akan berevolusi menjadi infrastruktur mitigasi yang tidak hanya canggih secara saintifik, tetapi juga mengakar kuat secara sosiologis di jantung peradaban masyarakat pesisir.

Tabel 8.1 Analisis Komparatif Sistem Peringatan Dini Konvensional vs. Sistem Hibrida

Dimensi Analisis	Sistem Konvensional	Sistem Hibrida (<i>High-Tech</i>)
------------------	---------------------	-------------------------------------

	(Murni Modern)	<i>Meets High-Touch</i>)
Pendekatan Filosofis	Teknokratis, sentralistik, dan <i>top-down</i> .	Sosio-teknis, desentralistik, dan partisipatif.
Instrumen Diseminasi	Sirene elektronik, SMS <i>Blast</i> , aplikasi <i>smartphone</i> .	Integrasi sirene dengan kentongan elektrik, <i>speaker</i> masjid, dan radio HT.
Bahasa & Komunikasi	Bahasa Indonesia formal, jargon saintifik, kaku.	Bahasa daerah, narasi kultural, simbol lokal, dan <i>edutainment</i> .
Ketahanan Infrastruktur	Sangat rentan terhadap <i>blackout</i> listrik dan sinyal.	Redundansi tinggi; alat tradisional beroperasi saat teknologi lumpuh.
Penerimaan Masyarakat	Sering memicu kebingungan kognitif dan <i>false alarm</i> .	Keakraban kognitif tinggi, dipercaya karena melibatkan tokoh lokal.

BAB 9

PERENCANAAN DAN DESAIN SISTEM PERINGATAN DINI TSUNAMI ADAPTIF

Pendahuluan

Diskursus mengenai arsitektur *Tsunami Early Warning System* (TEWS) sering kali terjebak pada asumsi bahwa satu model teknologi dapat diterapkan secara universal di berbagai lanskap geografis. Padahal, realitas ancaman geologis dan kerentanan demografis di kawasan pesisir bersifat sangat dinamis dan asimetris. Perencanaan dan desain sistem peringatan dini tidak dapat lagi didekati dengan paradigma statis yang hanya berfokus pada pengadaan perangkat keras (*hardware*). Sebaliknya, ia menuntut sebuah pendekatan adaptif yang mampu merespons perubahan lingkungan, fluktuasi kepadatan penduduk, serta evolusi ancaman bencana itu sendiri. Bab ini membedah anatomi perencanaan TEWS adaptif, mengeksplorasi bagaimana prinsip-prinsip desain rekayasa diintegrasikan dengan realitas sosiologis untuk menciptakan infrastruktur mitigasi yang lentur, tangguh, dan berkelanjutan.

Meskipun investasi dalam pembangunan infrastruktur peringatan dini terus meningkat, masih terdapat *research gap* yang signifikan terkait diskoneksi antara fase perencanaan teknis dengan konteks lokal di mana sistem tersebut diimplementasikan. Banyak studi rekayasa cenderung mengabaikan variabel sosial dan spasial, menghasilkan desain sistem yang canggih di atas kertas namun gagal beroperasi optimal di lapangan akibat kendala topografi, vandalisme, atau ketidaksesuaian dengan kapasitas pemeliharaan daerah. Celah akademis ini menciptakan paradoks di mana teknologi yang seharusnya menjadi solusi justru berubah menjadi beban fiskal dan administratif bagi pemerintah lokal. Tanpa adanya kerangka perencanaan yang partisipatif dan adaptif, sistem peringatan dini berisiko menjadi monumen teknologi yang usang sebelum sempat menjalankan fungsi penyelamatannya.

Berangkat dari identifikasi celah penelitian tersebut, bab ini dirumuskan untuk menjawab empat pertanyaan penelitian utama. Pertama, apa saja prinsip dasar yang harus dipenuhi dalam merencanakan TEWS yang efektif

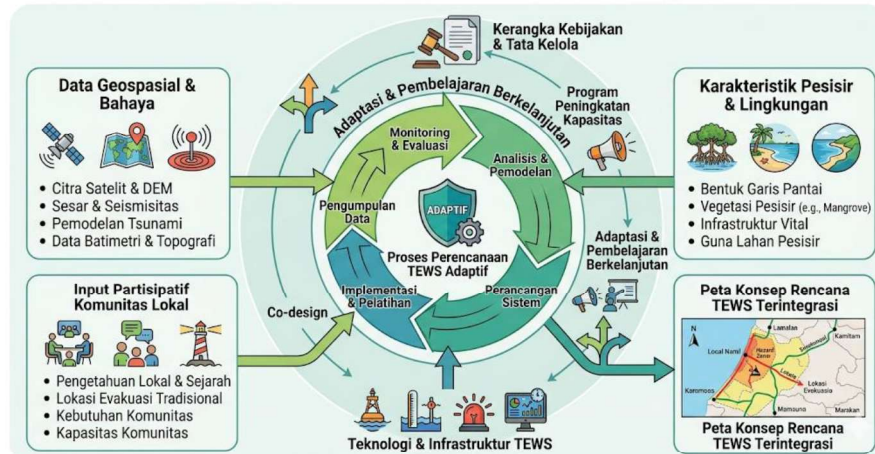
dan peka terhadap karakteristik wilayah pesisir? Kedua, bagaimana pemilihan komponen teknis dan desain jaringan komunikasi dapat direkayasa untuk menjamin redundansi dan ketahanan sistem terhadap guncangan bencana? Ketiga, bagaimana pengembangan Prosedur Operasional Standar (SOP) mampu mengakomodasi klasifikasi ancaman yang kompleks dan memastikan aktivasi peringatan yang presisi? Keempat, strategi apa yang diperlukan untuk menjamin keberlanjutan operasional dan skalabilitas sistem di tengah keterbatasan anggaran? Melalui elaborasi komprehensif ini, bab ini diharapkan mampu menyajikan cetak biru (*blueprint*) bagi perancangan sistem peringatan dini yang benar-benar berdaya guna.

9.1 Prinsip Dasar Perencanaan TEWS yang Efektif

Perencanaan *Tsunami Early Warning System* (TEWS) merupakan fase paling determinan yang akan mendikte kinerja sistem tersebut selama beberapa dekade ke depan. Secara filosofis, perencanaan yang efektif harus bertumpu pada pemahaman bahwa TEWS bukanlah sekadar proyek pengadaan barang elektronik, melainkan pembangunan sebuah ekosistem keselamatan publik. Oleh karena itu, prinsip dasar perencanaannya menuntut pergeseran dari pendekatan teknokratis murni menuju pendekatan sosio-teknis yang holistik.

Prinsip-prinsip ini mencakup identifikasi kebutuhan yang presisi, pelibatan pemangku kepentingan di tingkat tapak, serta pemanfaatan data spasial sebagai basis pengambilan keputusan. Kegagalan dalam mengadopsi prinsip-prinsip dasar ini pada fase awal perencanaan akan berakumulasi menjadi cacat desain (*design flaw*) yang sangat mahal dan sulit untuk diperbaiki pada fase implementasi operasional.

Gambar 9.1: Peta Konseptual Perencanaan TEWS Adaptif



Gambar 9.1: Peta Konseptual Perencanaan TEWS Adaptif, mengilustrasikan integrasi antara data geospasial, karakteristik pesisir, dan input partisipatif dari komunitas lokal.

9.1.1 Identifikasi Kebutuhan dan Karakteristik Wilayah Pesisir

Langkah fundamental pertama dalam merancang TEWS yang adaptif adalah melakukan identifikasi kebutuhan (*needs assessment*) yang didasarkan pada karakteristik unik dari masing-masing wilayah pesisir. Hidayat dan Pratama (2022) mengartikulasikan bahwa setiap segmen pantai memiliki profil batimetri, kelerengan daratan, dan tingkat paparan ancaman yang berbeda-beda. Kawasan pesisir yang berhadapan langsung dengan zona subduksi *megathrust* membutuhkan arsitektur sistem yang memprioritaskan kecepatan deteksi absolut, mengingat waktu tiba gelombang (*estimated time of arrival*) bisa kurang dari 20 menit. Sebaliknya, kawasan pesisir yang berada di teluk tertutup mungkin lebih membutuhkan sensor deteksi longsor bawah laut dan sistem peringatan lokal yang bersifat otonom.

Selain karakteristik fisik, identifikasi kebutuhan juga harus membedah profil demografis dan aktivitas ekonomi masyarakat setempat. Hidayat dan Pratama (2022) menyoroti bahwa desain peringatan dini untuk kawasan pariwisata premium yang dipadati oleh wisatawan asing tentu berbeda dengan desain untuk desa nelayan tradisional. Di kawasan

pariwisata, sistem mungkin memerlukan integrasi dengan alarm hotel dan papan informasi multibahasa. Sementara di desa nelayan, sistem harus mampu menjangkau warga yang sedang melaut melalui frekuensi radio komunikasi khusus. Kegagalan dalam memetakan variasi kebutuhan ini sering kali berujung pada penempatan infrastruktur yang salah sasaran, seperti pembangunan menara sirene raksasa di area yang sebenarnya tidak berpenduduk padat.

Proses identifikasi ini menuntut otoritas perencana untuk melakukan audit komprehensif terhadap infrastruktur mitigasi yang sudah eksis (*existing assets*). Hidayat dan Pratama (2022) menekankan bahwa perencanaan TEWS tidak selalu berarti membangun segala sesuatunya dari nol. Sering kali, langkah yang paling efisien adalah mengidentifikasi celah (*gap*) pada sistem yang ada dan merancang intervensi untuk menambal celah tersebut. Misalnya, jika sebuah desa sudah memiliki jaringan pengeras suara masjid yang sangat baik, maka kebutuhan utamanya bukanlah pengadaan sirene baru, melainkan penyediaan modul penerima sinyal (*receiver*) yang dapat dihubungkan dengan *amplifier* masjid tersebut. Pendekatan berbasis kebutuhan ini memastikan efisiensi alokasi anggaran negara.

9.1.2 Pendekatan Partisipatif dalam Desain Sistem Peringatan

Paradigma perencanaan TEWS modern secara tegas menolak pendekatan *top-down* yang memposisikan masyarakat sekadar sebagai objek pasif penerima teknologi. Hidayat dan Pratama (2022) memaparkan bahwa pendekatan partisipatif (*participatory design*) merupakan prasyarat mutlak untuk menjamin penerimaan kultural dan keberlanjutan sistem di tingkat lokal. Dalam pendekatan ini, perwakilan komunitas—seperti tokoh adat, pemimpin kelompok nelayan, dan perwakilan perempuan—dilibatkan secara aktif sejak fase perumusan konsep, penentuan lokasi penempatan alat, hingga perancangan pesan peringatan. Keterlibatan ini memastikan bahwa desain sistem tidak berbenturan dengan nilai-nilai sosiologis atau merusak tatanan ruang hidup masyarakat.

Secara operasional, pendekatan partisipatif sangat krusial dalam menentukan titik-titik penempatan infrastruktur diseminasi. Hidayat dan Pratama (2022) mencatat bahwa insinyur dari pusat sering kali

menentukan lokasi menara sirene hanya berdasarkan pemodelan akustik di atas peta, tanpa menyadari bahwa lokasi tersebut mungkin merupakan tanah ulayat yang disakralkan atau area yang rawan konflik sengketa lahan. Melalui dialog partisipatif, masyarakat lokal dapat memberikan masukan mengenai lokasi alternatif yang secara akustik tetap efektif namun secara sosial lebih aman dan mudah diawasi dari potensi vandalisme. Rasa kepemilikan (*sense of ownership*) yang lahir dari proses pelibatan ini merupakan benteng pertahanan terbaik bagi aset-aset mitigasi negara.

Lebih jauh, desain partisipatif juga menyentuh aspek linguistik dan semiotik dari pesan peringatan itu sendiri. Hidayat dan Pratama (2022) menegaskan bahwa masyarakat lokal adalah pihak yang paling otoritatif dalam menentukan jenis nada alarm atau pilihan kata dalam bahasa daerah yang paling efektif untuk memicu refleksi evakuasi. Jika sistem dirancang untuk menyiarkan pesan suara otomatis, maka draf naskah pesan tersebut harus diuji coba dan divalidasi oleh komunitas setempat untuk menghindari ambiguitas makna. Dengan menempatkan warga sebagai *co-designer*, sistem peringatan dini bertransformasi dari sekadar instrumen teknis menjadi artefak sosial yang dihormati dan dipatuhi oleh seluruh elemen masyarakat.

9.1.3 Integrasi Data Geospasial dan Informasi Risiko Bencana

Perencanaan TEWS yang presisi tidak dapat dilepaskan dari pemanfaatan teknologi *Geographic Information System* (GIS) sebagai fondasi analisisnya. Hidayat dan Pratama (2022) menjelaskan bahwa integrasi data geospasial memungkinkan para perencana untuk melakukan tumpang susun (*overlay*) antara berbagai variabel risiko, seperti peta bahaya tsunami (*hazard map*), peta kerentanan demografis, dan peta kapasitas infrastruktur eksisting. Melalui analisis spasial ini, otoritas kebencanaan dapat mengidentifikasi zona-zona merah yang memiliki kepadatan penduduk ekstrem namun belum terjangkau oleh radius suara sirene (*blind spots*). Data kuantitatif dan visual ini memberikan justifikasi saintifik yang tak terbantahkan bagi pengambilan keputusan terkait alokasi penempatan sensor baru.

Selain untuk penempatan instrumen, integrasi informasi risiko bencana sangat vital dalam merancang skenario evakuasi yang terhubung langsung

dengan sistem peringatan. Hidayat dan Pratama (2022) menyoroti bahwa TEWS tidak akan efektif jika masyarakat yang mendengar alarm tidak mengetahui ke mana mereka harus berlari. Oleh karena itu, data geospasial digunakan untuk memodelkan rute evakuasi terpendek, menghitung kapasitas tampung jalan, dan menentukan lokasi Tempat Evakuasi Sementara (TES) yang elevasinya dipastikan aman dari genangan maksimum (*maximum inundation*). Pemodelan ini bahkan dapat mensimulasikan potensi kemacetan (*bottleneck*) jika seluruh populasi bergerak secara serentak pada saat peringatan dibunyikan.

Di era digital, integrasi data geospasial ini juga menjadi tulang punggung bagi pengembangan aplikasi peringatan dini berbasis lokasi (*Location-Based Services*). Hidayat dan Pratama (2022) memaparkan bahwa dengan memetakan poligon risiko secara akurat, sistem dapat mengirimkan notifikasi peringatan secara selektif hanya kepada gawai pintar yang berada di dalam zona bahaya (*geofencing*), sehingga mencegah kepanikan massal di wilayah yang sebenarnya aman. Pemutakhiran data geospasial secara berkala-mengingat dinamika perubahan tata guna lahan pesisir yang sangat cepat-merupakan keharusan administratif agar desain TEWS tetap relevan dan adaptif terhadap profil risiko yang terus berevolusi.

9.2 Komponen Teknis dan Infrastruktur Pendukung

Arsitektur teknis dari *Tsunami Early Warning System* (TEWS) merupakan manifestasi dari rekayasa sistem yang sangat kompleks, di mana perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) harus bekerja secara sinkron dalam hitungan milidetik. Komponen teknis ini berfungsi sebagai sistem saraf pusat yang mendeteksi anomali alam, mentransmisikan data mentah, dan mengeksekusi perintah diseminasi ke ruang publik. Keandalan komponen ini sangat menentukan apakah sistem mampu memberikan *golden time* yang cukup bagi masyarakat atau justru gagal beroperasi saat guncangan pertama terjadi.

Desain infrastruktur pendukung tidak boleh hanya berorientasi pada kecanggihan teknologi semata, melainkan harus memprioritaskan prinsip ketahanan (*robustness*) dan redundansi (*redundancy*). Dalam skenario bencana *megathrust*, infrastruktur ini akan diuji oleh kondisi lingkungan yang paling ekstrem. Oleh karena itu, pemilihan material, topologi

jaringan, dan desain pusat kontrol harus dikalibrasi untuk bertahan dari skenario terburuk (*worst-case scenario*), memastikan bahwa aliran informasi keselamatan tidak pernah terputus.

9.2.1 Pemilihan Teknologi Sensor dan Sistem Akuisisi Data

Jantung dari kemampuan deteksi TEWS terletak pada pemilihan teknologi sensor yang ditempatkan di garis depan observasi geologis. Wibisono dan Santoso (2023) menjelaskan bahwa desain sistem akuisisi data modern menuntut penggunaan instrumen multi-parameter untuk menghindari ketergantungan pada satu jenis sensor saja. Jaringan seismograf pita lebar (*broadband*) tetap menjadi instrumen primer untuk mengkalkulasi parameter gempa tektonik secara instan. Namun, untuk mengatasi *blind spot* terhadap tsunami yang dipicu oleh longsoran bawah laut atau anomali vulkanik, sistem harus diintegrasikan dengan sensor tekanan dasar laut (*Ocean Bottom Pressure* - OBP) yang terhubung dengan *buoy*, serta jaringan *tide gauge* (perekam pasang surut) beresolusi tinggi di perairan dangkal.

Pemilihan teknologi sensor ini harus mempertimbangkan karakteristik lingkungan laut Indonesia yang sangat korosif dan dinamis. Wibisono dan Santoso (2023) menyoroti bahwa instrumen yang ditanam di laut lepas harus memiliki spesifikasi *marine-grade* dengan ketahanan absolut terhadap tekanan hidrostatik, *biofouling* (penumpukan organisme laut), dan cuaca ekstrem. Selain itu, sistem akuisisi data (*data logger*) pada sensor harus dilengkapi dengan algoritma pemrosesan awal (*edge computing*) yang mampu menyaring gangguan sinyal (*noise filtering*) secara mandiri. Kemampuan komputasi di tingkat sensor ini sangat penting untuk mengurangi beban transmisi data dan mempercepat proses identifikasi anomali sebelum data tersebut dikirimkan ke pusat komando.

Tantangan terbesar dalam desain sistem akuisisi data adalah memastikan ketersediaan pasokan daya yang berkelanjutan di lokasi-lokasi terpencil. Wibisono dan Santoso (2023) menegaskan bahwa setiap modul sensor wajib dilengkapi dengan sistem manajemen daya hibrida, yang menggabungkan panel surya efisiensi tinggi dengan baterai litium siklus dalam (*deep-cycle*). Untuk sensor bawah laut, penggunaan teknologi baterai tahan lama yang dapat beroperasi bertahun-tahun tanpa

penggantian adalah sebuah keharusan. Kesalahan dalam mengkalkulasi kebutuhan daya pada fase desain ini akan berakibat pada matinya instrumen secara prematur, yang secara langsung membutuhkan kemampuan deteksi sistem peringatan dini nasional.

9.2.2 Desain Jaringan Komunikasi yang Redundan dan Tahan Bencana

Kecepatan sensor dalam mendeteksi anomali tidak akan memiliki nilai mitigasi apabila data tersebut tidak dapat ditransmisikan ke pusat komando akibat putusnya jaringan komunikasi. Wibisono dan Santoso (2023) mengartikulasikan bahwa desain jaringan komunikasi TEWS harus dibangun di atas prinsip redundansi berlapis (*multi-layered redundancy*). Mengandalkan jaringan seluler komersial atau kabel serat optik terestrial sebagai jalur komunikasi tunggal adalah sebuah kecerobohan rekayasa, mengingat infrastruktur tersebut sangat rentan hancur akibat guncangan gempa atau likuifaksi tanah. Oleh karena itu, arsitektur jaringan harus mengadopsi topologi yang memungkinkan perpindahan jalur transmisi secara otomatis (*failover*) ketika jalur utama terputus.

Sebagai tulang punggung (*backbone*) komunikasi utama, penggunaan konstelasi satelit *Very Small Aperture Terminal* (VSAT) merupakan standar emas dalam desain TEWS adaptif. Wibisono dan Santoso (2023) memaparkan bahwa komunikasi satelit menawarkan kekebalan absolut terhadap kerusakan topografi di permukaan bumi. Data dari sensor seismik dan *buoy* dipancarkan langsung ke satelit dan dipantulkan kembali ke stasiun bumi di pusat komando tanpa melewati infrastruktur darat di zona bencana. Namun, karena komunikasi satelit rentan terhadap gangguan cuaca ekstrem (*rain attenuation*), sistem harus dilengkapi dengan jalur komunikasi cadangan berbasis frekuensi radio (VHF/UHF) atau sistem gelombang mikro (*microwave link*) *point-to-point* untuk menghubungkan simpul-simpul terdekat.

Desain jaringan yang tahan bencana juga menuntut pengamanan fisik terhadap perangkat transmisi di lapangan. Wibisono dan Santoso (2023) merekomendasikan agar antena satelit dan menara pemancar radio dibangun dengan struktur fondasi yang mampu menahan percepatan tanah puncak (*Peak Ground Acceleration* - PGA) dari gempa bermagnitudo besar. Selain itu, seluruh modul komunikasi (*router*, *switch*, dan *modem*)

harus ditempatkan di dalam kabinet pelindung yang kedap air dan tahan benturan. Melalui desain jaringan yang redundan dan terproteksi secara fisik ini, aliran data peringatan dini dijamin memiliki tingkat ketersediaan (*availability*) yang mendekati 99,9%, memastikan bahwa pesan keselamatan selalu menemukan jalannya di tengah kehancuran infrastruktur sipil.

9.2.3 Pengembangan Pusat Kontrol dan Operasi Peringatan Dini

Pusat kontrol dan operasi merupakan otak analitik dari seluruh arsitektur TEWS, tempat di mana aliran data mentah dari ribuan sensor dikonvergensi, dianalisis, dan diterjemahkan menjadi keputusan evakuasi. Wibisono dan Santoso (2023) menjelaskan bahwa desain fasilitas *National Tsunami Warning Centre* (NTWC) maupun Pusat Pengendalian Operasi (Pusdalops) di tingkat daerah harus memenuhi standar fasilitas kritis (*critical facility*). Bangunan pusat kontrol wajib didirikan di zona yang terbebas dari ancaman inundasi tsunami dan memiliki struktur *base isolation* untuk meredam guncangan gempa, sehingga para operator dan perangkat *server* di dalamnya dapat terus bekerja tanpa gangguan saat bencana terjadi.

Secara perangkat lunak (*software*), pengembangan pusat operasi modern sangat bergantung pada integrasi *Decision Support System* (DSS) yang ditenagai oleh kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*). Wibisono dan Santoso (2023) menyoroti bahwa DSS berfungsi untuk mencocokkan parameter gempa aktual yang baru saja terjadi dengan basis data yang berisi ratusan ribu skenario pemodelan tsunami yang telah dihitung sebelumnya (*pre-computed scenarios*). Algoritma ini mampu memprediksi estimasi waktu tiba gelombang dan tinggi genangan di setiap segmen pesisir dalam waktu kurang dari tiga menit. Desain antarmuka pengguna (*User Interface*) pada layar monitor operator juga harus dirancang secara ergonomis, menampilkan visualisasi spasial yang intuitif agar keputusan dapat diambil secara cepat dan akurat di bawah tekanan psikologis yang ekstrem.

Selain keandalan teknologi, desain pusat operasi harus mengakomodasi kebutuhan operasional sumber daya manusia yang bertugas selama 24 jam penuh. Wibisono dan Santoso (2023) menekankan pentingnya

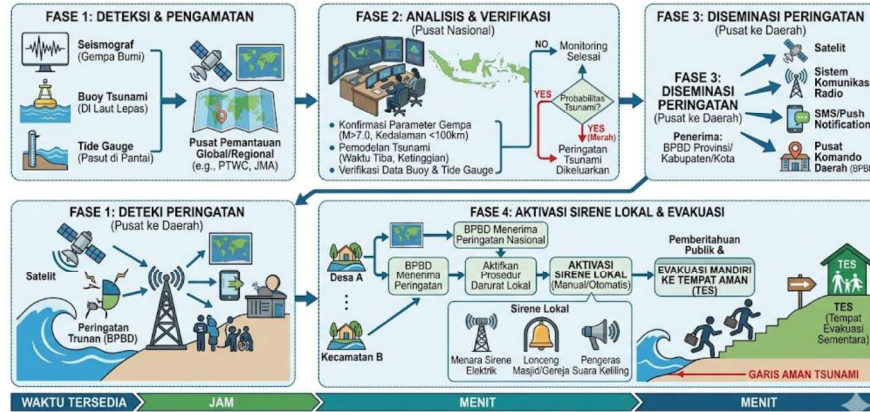
penyediaan fasilitas pendukung kehidupan yang mandiri (*self-sustaining*), seperti cadangan air bersih, logistik makanan, dan ruang istirahat bagi operator, mengingat mereka mungkin terisolasi di dalam gedung selama sehari-hari pasca-bencana. Lebih jauh, pusat kontrol utama harus memiliki fasilitas cadangan (*backup center*) yang berlokasi di pulau atau provinsi yang berbeda (*disaster recovery site*). Jika pusat kontrol utama mengalami kelumpuhan total, fasilitas cadangan ini akan secara otomatis mengambil alih seluruh fungsi komando, menjamin bahwa negara tidak pernah kehilangan kendali atas sistem peringatan dini nasionalnya.

9.3 Pengembangan Protokol dan Prosedur Operasional Standar (SOP)

Keberadaan infrastruktur teknologi yang mutakhir tidak akan memiliki dampak mitigasi yang signifikan apabila tidak ditopang oleh kerangka regulasi operasional yang solid. Prosedur Operasional Standar (SOP) berfungsi sebagai jembatan birokrasi yang menerjemahkan data saintifik dari mesin menjadi serangkaian tindakan taktis oleh manusia. Dalam situasi krisis di mana kepanikan merusak rasionalitas, SOP bertindak sebagai kompas institusional yang mendikte siapa melakukan apa, kapan, dan melalui saluran komunikasi mana. Tanpa adanya protokol yang terstandarisasi, aliran informasi peringatan dini akan terjebak dalam kebingungan yurisdiksi dan kelumpuhan rantai komando.

Pengembangan SOP dalam arsitektur *Tsunami Early Warning System* (TEWS) menuntut sinkronisasi yang presisi antara otoritas saintifik di tingkat pusat dan otoritas eksekutif di tingkat daerah. Protokol ini harus dirancang dengan prinsip kejelasan (*clarity*), kecepatan (*rapidity*), dan akuntabilitas (*accountability*). Mengingat jendela waktu evakuasi tsunami sering kali kurang dari tiga puluh menit, SOP tidak boleh memuat birokrasi yang berbelit-belit. Setiap detik keterlambatan dalam pengambilan keputusan aktivasi peringatan memiliki ekuivalensi langsung dengan hilangnya nyawa manusia di kawasan pesisir.

Gambar 9.2: Alur Kerja Prosedur Operasional Standar (SOP) dalam Sistem Peringatan Dini Tsunami: Dari Deteksi hingga Aktivasi Sirene Lokal



Gambar 9.2: Alur Kerja Prosedur Operasional Standar (SOP) dalam Sistem Peringatan Dini Tsunami: Dari Deteksi hingga Aktivasi Sirene Lokal

Gambar 9.2: Alur Kerja Prosedur Operasional Standar (SOP) dalam Sistem Peringatan Dini Tsunami, menampilkan proses berjenjang dari deteksi anomali hingga aktivasi sirene lokal.

9.3.1 Klasifikasi Tingkat Ancaman dan Pesan Peringatan yang Jelas

Langkah fundamental dalam penyusunan SOP peringatan dini adalah penetapan klasifikasi tingkat ancaman yang terstandarisasi secara nasional. Mutiarin dan Sari (2021) memaparkan bahwa Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) telah merumuskan triase ancaman tsunami ke dalam tiga status eskalatif: Waspada (estimasi tinggi gelombang kurang dari 0,5 meter), Siaga (estimasi 0,5 hingga 3 meter), dan Awas (estimasi lebih dari 3 meter). Klasifikasi kuantitatif ini sangat krusial bagi operator di Pusat Pengendalian Operasi (Pusdalops) daerah untuk menentukan skala respons kedaruratan. Status "Awat" menuntut aktivasi seluruh instrumen diseminasi, termasuk sirene dan evakuasi massal secara paksa, sementara status "Waspada" mungkin hanya memerlukan imbauan agar warga menjauhi bibir pantai tanpa perlu meninggalkan permukiman.

Namun, klasifikasi teknis tersebut harus diterjemahkan ke dalam pesan peringatan publik yang jelas, ringkas, dan bebas dari ambiguitas. Mutiarin dan Sari (2021) menyoroti bahwa masyarakat awam tidak memiliki kapasitas kognitif untuk memproses data seismologi di tengah situasi

panik. Oleh karena itu, SOP harus mewajibkan penggunaan templat pesan (*message templates*) yang telah disusun sebelumnya. Pesan tersebut harus secara eksplisit memuat tiga elemen utama: jenis ancaman (tsunami), estimasi waktu kedatangan, dan instruksi tindakan (misalnya, "Segera evakuasi ke tempat tinggi"). Penghilangan jargon saintifik seperti "episentrum" atau "magnitudo momen" dari pesan publik terbukti secara empiris mampu mempercepat waktu reaksi warga.

Lebih jauh, kejelasan pesan peringatan juga berkaitan erat dengan manajemen ekspektasi psikologis masyarakat. Mutiarin dan Sari (2021) menjelaskan bahwa SOP harus mengatur format penyampaian informasi yang tegas namun tidak memicu histeria yang kontraproduktif. Penggunaan bahasa daerah dalam siaran pengeras suara masjid atau radio komunitas, yang diatur secara resmi dalam protokol daerah, memberikan sentuhan kedekatan kultural yang membuat instruksi tersebut lebih mudah dipatuhi. Dengan menstrukturkan klasifikasi ancaman ke dalam narasi komunikasi yang membumi, SOP memastikan bahwa peringatan dini tidak hanya terdengar, tetapi juga dipahami dan dilaksanakan secara refleksif.

9.3.2 Prosedur Aktivasi dan Diseminasi Informasi Berjenjang

Desain arsitektur diseminasi informasi di Indonesia menganut sistem desentralisasi berjenjang, yang menuntut adanya protokol aktivasi yang sangat terkoordinasi. Rahman dan Fitri (2023) mengartikulasikan bahwa alur informasi bergerak dari BMKG sebagai produsen data (*warning provider*), menuju Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) dan pemerintah daerah (BPBD) sebagai pemegang otoritas eksekusi, hingga akhirnya bermuara pada masyarakat di tingkat tapak. SOP harus mengatur secara rigid batas waktu maksimal (*time limit*) pada setiap simpul birokrasi tersebut. Berdasarkan regulasi ideal, BMKG diwajibkan menerbitkan peringatan pertama maksimal lima menit setelah gempa bumi terjadi, dan BPBD memiliki waktu kurang dari tiga menit untuk memutuskan aktivasi sirene lokal.

Tantangan terbesar dalam prosedur berjenjang ini adalah potensi terjadinya *bottleneck* birokrasi di tingkat pemerintah daerah. Rahman dan Fitri (2023) mengkritik praktik di beberapa daerah di mana aktivasi sirene

tsunami masih mensyaratkan tanda tangan atau persetujuan verbal dari bupati atau wali kota. Dalam skenario gempa besar yang terjadi pada dini hari, mencari persetujuan kepala daerah adalah tindakan yang membuang waktu kritis. Oleh karena itu, SOP modern harus memuat klausul pendelegasian wewenang absolut (*delegation of authority*) kepada komandan jaga Pusdalops BPBD. Operator yang bertugas harus diberikan imunitas hukum untuk menekan tombol aktivasi sirene secara otonom segera setelah menerima status "Awat" dari BMKG, tanpa perlu menunggu instruksi hierarkis.

Selain itu, prosedur diseminasi harus dirancang dengan pendekatan multi-saluran (*multi-channel approach*) untuk menjamin redundansi informasi. Rahman dan Fitri (2023) menjelaskan bahwa SOP wajib menginstruksikan aktivasi serentak pada seluruh platform yang tersedia: menyalakan sirene elektronik, mengirimkan SMS *Blast*, menginterupsi siaran televisi dan radio lokal, serta mengaktifkan jaringan komunikasi tradisional seperti kentongan melalui komando radio HT ke desa-desa. Diseminasi berjenjang yang dieksekusi secara paralel ini memastikan bahwa jika satu saluran mengalami kelumpuhan akibat guncangan gempa, pesan keselamatan tetap dapat menembus ruang publik melalui saluran alternatif lainnya.

9.3.3 Mekanisme Verifikasi dan Validasi Informasi Peringatan

Dalam ekosistem peringatan dini, ancaman *false alarm* (peringatan palsu) memiliki daya rusak sosiologis yang sama fatalnya dengan kegagalan mendeteksi tsunami itu sendiri. Rahman dan Fitri (2023) memaparkan bahwa peringatan palsu yang terjadi berulang kali akan memicu fenomena *cry wolf syndrome*, di mana masyarakat kehilangan kepercayaan terhadap otoritas dan memilih untuk mengabaikan sirene di masa depan. Oleh karena itu, SOP harus memuat mekanisme verifikasi dan validasi informasi yang ketat, yang berjalan secara simultan dengan proses evakuasi. Verifikasi ini melibatkan triangulasi data dari berbagai instrumen observasi, seperti mencocokkan data pemodelan seismik dengan pembacaan aktual dari sensor *buoy* di laut lepas dan *tide gauge* di pesisir.

Proses validasi tidak hanya bergantung pada instrumen teknologi, tetapi juga melibatkan observasi visual dari garis depan. Rahman dan Fitri (2023) menyoroti pentingnya SOP yang mengatur komunikasi timbal balik

(*feedback loop*) antara Pusdalops dengan relawan pemantau pantai atau personel TNI/Polri yang berada di lapangan. Laporan pandangan mata mengenai anomali oseanografi, seperti surutnya air laut secara ekstrem, merupakan data validasi kualitatif yang sangat berharga untuk mengonfirmasi kebenaran ancaman. Mekanisme hibrida yang menggabungkan validasi saintifik dan observasi empiris ini memberikan tingkat keyakinan (*confidence level*) yang tinggi bagi pengambil kebijakan dalam mempertahankan atau membatalkan status kedaruratan.

Bagian paling krusial dari mekanisme ini adalah protokol pengakhiran peringatan (*all-clear protocol*). Rahman dan Fitri (2023) menegaskan bahwa SOP harus mengatur secara spesifik kapan dan bagaimana otoritas menyatakan bahwa ancaman tsunami telah benar-benar berakhir. Keputusan ini tidak boleh diambil secara tergesa-gesa, mengingat tsunami sering kali datang dalam beberapa gelombang, di mana gelombang kedua atau ketiga bisa jauh lebih destruktif daripada yang pertama. Pengumuman status aman harus disiarkan melalui saluran yang sama luasnya dengan saat peringatan awal dikeluarkan, disertai dengan instruksi yang jelas mengenai prosedur kembali ke rumah atau ke tempat pengungsian yang telah disterilkan.

9.4 Aspek Keberlanjutan dan Skalabilitas Sistem

Paradoks terbesar dalam pembangunan infrastruktur mitigasi di negara berkembang adalah sindrom "bangun dan lupakan" (*build-and-forget syndrome*). Banyak proyek TEWS yang diinisiasi dengan anggaran triliunan rupiah dan teknologi paling mutakhir, namun berujung menjadi besi tua dalam kurun waktu kurang dari lima tahun akibat ketiadaan visi keberlanjutan. Perencanaan sistem peringatan dini tidak boleh berhenti pada fase serah terima aset (*handover*), melainkan harus memproyeksikan siklus hidup (*life cycle*) teknologi tersebut selama beberapa dekade ke depan.

Aspek keberlanjutan dan skalabilitas menuntut pergeseran fokus dari sekadar belanja modal (*capital expenditure*) menuju manajemen belanja operasional (*operational expenditure*). Hal ini mencakup pelembagaan rutinitas pemeliharaan, rekayasa skema pendanaan yang independen, serta perancangan arsitektur sistem yang modular. Tanpa adanya fondasi

keberlanjutan yang terencana sejak awal, sistem peringatan dini hanya akan memberikan ilusi keamanan (*illusion of safety*) yang sangat berbahaya bagi masyarakat pesisir.

9.4.1 Perencanaan Pemeliharaan Preventif dan Korektif Infrastruktur

Keandalan operasional TEWS sangat bergantung pada implementasi rezim pemeliharaan yang disiplin dan terstruktur. Nugroho dan Yuliana (2024) mengartikulasikan bahwa perencanaan harus membedakan secara tegas antara pemeliharaan preventif (pencegahan) dan pemeliharaan korektif (perbaikan). Pemeliharaan preventif melibatkan penjadwalan inspeksi rutin, kalibrasi sensor, pelumasan komponen mekanis, dan penggantian baterai cadangan sebelum masa pakainya habis. Di lingkungan pesisir yang memiliki tingkat salinitas dan kelembapan ekstrem, korosi merupakan musuh utama perangkat elektronik. Oleh karena itu, SOP pemeliharaan harus mewajibkan pelapisan anti-karat secara berkala pada panel surya dan sirkuit internal sirene untuk mencegah degradasi material.

Di sisi lain, pemeliharaan korektif menuntut adanya kesiapan rantai pasok (*supply chain*) suku cadang dan ketersediaan teknisi yang kompeten. Nugroho dan Yuliana (2024) menyoroti bahwa banyak peralatan TEWS di daerah yang rusak ringan terpaksa dibiarkan terbengkalai berbulan-bulan karena suku cadangnya harus diimpor dari luar negeri atau karena BPBD lokal tidak memiliki insinyur yang memahami arsitektur sistem tersebut. Untuk mengatasi hal ini, perencanaan awal harus memprioritaskan penggunaan komponen yang tersedia di pasar lokal (*commercial off-the-shelf*) dan mewajibkan transfer pengetahuan (*knowledge transfer*) dari vendor penyedia alat kepada teknisi pemerintah daerah. Kemandirian teknis ini adalah kunci untuk memangkas waktu henti (*downtime*) sistem.

Lebih jauh, strategi pemeliharaan modern harus mengintegrasikan partisipasi komunitas lokal sebagai lapis pertama pengawasan. Nugroho dan Yuliana (2024) menjelaskan bahwa masyarakat yang tinggal di sekitar menara sirene atau stasiun *tide gauge* dapat diberdayakan untuk melakukan pemeliharaan dasar, seperti membersihkan panel surya dari kotoran burung atau melaporkan indikasi vandalisme. Dengan memberikan insentif kecil atau mengintegrasikan tugas ini ke dalam program Desa Tangguh Bencana, pemerintah tidak hanya menghemat

biaya inspeksi lapangan, tetapi juga menumbuhkan rasa kepemilikan warga terhadap infrastruktur penyelamat nyawa tersebut.

9.4.2 Strategi Pendanaan Jangka Panjang untuk Operasional TEWS

Ketergantungan absolut pada dana hibah internasional atau proyek insidental pemerintah pusat merupakan titik lemah utama dalam keberlanjutan TEWS di tingkat daerah. Setiawan dan Wibowo (2025) memaparkan bahwa ketika masa proyek berakhir, pemerintah daerah sering kali tidak memiliki ruang fiskal untuk menanggung biaya operasional, langganan *bandwidth* satelit, dan honorarium operator Pusdalops. Oleh karena itu, perencanaan sistem harus disertai dengan rekayasa strategi pendanaan jangka panjang yang diintegrasikan secara permanen ke dalam Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah (APBD). Pemeliharaan TEWS harus diklasifikasikan sebagai belanja wajib (*mandatory spending*) yang tidak dapat dipotong, setara dengan anggaran untuk layanan kesehatan atau pendidikan dasar.

Untuk mengurangi beban fiskal negara, perencana kebijakan harus mengeksplorasi skema pembiayaan alternatif yang inovatif. Setiawan dan Wibowo (2025) merekomendasikan penerapan model Kemitraan Pemerintah dan Badan Usaha (KPBU) atau optimalisasi dana *Corporate Social Responsibility* (CSR). Kawasan industri pesisir, pelabuhan komersial, dan resor pariwisata mewah yang mendapatkan manfaat langsung dari keberadaan sistem peringatan dini harus didorong untuk berkontribusi secara finansial dalam pemeliharaannya. Skema *cost-sharing* ini tidak hanya meringankan beban APBD, tetapi juga menciptakan ekosistem tanggung jawab kolektif antara sektor publik dan privat dalam menjaga ketangguhan wilayah ekonomi mereka.

Di tingkat akar rumput, optimalisasi Dana Desa menawarkan potensi pendanaan yang sangat strategis untuk komponen TEWS skala mikro. Setiawan dan Wibowo (2025) menjelaskan bahwa regulasi nasional telah mengizinkan penggunaan Dana Desa untuk program mitigasi bencana. Anggaran ini dapat dialokasikan untuk membiayai pengadaan dan pemeliharaan kentongan elektrik, perbaikan *speaker* masjid untuk diseminasi peringatan, hingga penyediaan radio komunikasi bagi relawan lokal. Melalui desentralisasi pendanaan ini, keberlanjutan sistem

peringatan dini hibrida dapat dijamin secara otonom oleh komunitas, menciptakan struktur resiliensi finansial yang kebal terhadap fluktuasi anggaran di tingkat makro.

9.4.3 Desain Sistem yang Fleksibel untuk Adaptasi Perubahan Lingkungan

Lanskap risiko di kawasan pesisir tidak bersifat statis; ia terus berevolusi akibat intervensi antropogenik dan dampak perubahan iklim global. Kusuma dan Arifin (2022) mengidentifikasi bahwa fenomena kenaikan muka air laut (*sea-level rise*), penurunan muka tanah (*land subsidence*), dan abrasi pantai secara drastis mengubah garis pantai dan memperluas zona inundasi tsunami. Sistem peringatan dini yang didesain berdasarkan peta risiko sepuluh tahun yang lalu mungkin tidak lagi relevan saat ini, karena permukiman yang dulunya dianggap aman kini telah masuk ke dalam zona merah. Oleh karena itu, arsitektur TEWS harus dirancang dengan tingkat fleksibilitas tinggi agar dapat beradaptasi dengan dinamika lingkungan tersebut.

Fleksibilitas ini diwujudkan melalui penerapan arsitektur sistem yang modular (*modular design*). Kusuma dan Arifin (2022) menjelaskan bahwa perangkat keras dan perangkat lunak harus didesain sedemikian rupa sehingga penambahan sensor baru, pembaruan algoritma deteksi, atau relokasi menara sirene dapat dilakukan tanpa harus membongkar ulang seluruh sistem inti (*core system*). Jika sebuah kawasan pesisir mengalami reklamasi besar-besaran yang mengubah profil batimetrinya, sistem DSS di pusat komando harus dapat dengan mudah menerima pembaruan basis data pemodelan tsunami yang baru. Kemampuan *plug-and-play* ini memastikan bahwa teknologi peringatan dini dapat terus berevolusi sejalan dengan kemajuan sains kebumih.

Selain adaptasi teknologi, fleksibilitas juga menuntut adanya evaluasi dan kalibrasi ulang secara periodik terhadap infrastruktur fisik di lapangan. Kusuma dan Arifin (2022) menekankan bahwa rambu-rambu jalur evakuasi dan titik kumpul (TES) harus ditinjau ulang setiap lima tahun. Jika penurunan muka tanah membuat sebuah titik kumpul menjadi rawan tergenang, maka otoritas harus segera merelokasi titik tersebut dan memperbarui peta geospasial di dalam aplikasi peringatan dini. Perencanaan yang adaptif mengakui bahwa mitigasi bencana adalah

sebuah proses iteratif yang tidak pernah selesai, menuntut kewaspadaan konstan terhadap setiap perubahan kecil di lingkungan pesisir.

9.4.4 Potensi Replikasi dan Pengembangan Model di Wilayah Lain

Desain TEWS yang terbukti berhasil di satu wilayah pesisir memiliki nilai strategis yang tinggi jika dapat direplikasi ke wilayah lain yang memiliki karakteristik ancaman serupa. Kusuma dan Arifin (2022) memaparkan bahwa standardisasi arsitektur sistem-baik dari segi protokol komunikasi, format data, maupun spesifikasi perangkat keras-merupakan prasyarat utama untuk memfasilitasi replikasi ini. Dengan membangun sistem berbasis standar terbuka (*open standards*), pemerintah pusat dapat menciptakan cetak biru (*blueprint*) peringatan dini yang dapat dikloning oleh berbagai kabupaten/kota tanpa harus membayar lisensi perangkat lunak yang mahal kepada vendor asing.

Namun, replikasi tidak boleh dimaknai sebagai proses *copy-paste* yang membabi buta. Kusuma dan Arifin (2022) menegaskan bahwa model dasar teknologi tersebut harus selalu dikalibrasi ulang dan dikawinkan dengan kearifan lokal di wilayah tujuan (pendekatan hibrida). Misalnya, arsitektur otomasi sirene yang sukses di Jawa dapat direplikasi di pesisir Sumatera, namun antarmuka audionya harus diubah menggunakan bahasa Minang atau Aceh, dan integrasi kulturalnya mungkin lebih difokuskan pada surau atau meunasah setempat. Fleksibilitas dalam replikasi ini memastikan bahwa efisiensi biaya pengembangan teknologi tetap tercapai, tanpa mengorbankan penerimaan sosiologis di tingkat tapak.

Pada akhirnya, pengembangan model replikasi ini akan bermuara pada terciptanya sebuah kerangka interoperabilitas nasional. Kusuma dan Arifin (2022) menyoroti bahwa ketika berbagai daerah telah memiliki sistem peringatan dini lokal yang tangguh, sistem-sistem tersebut harus dapat saling "berbicara" dan bertukar data secara *real-time*. Jika sensor *tide gauge* di satu kabupaten mendeteksi anomali, data tersebut harus secara otomatis memicu peringatan kewaspadaan di kabupaten tetangganya yang berada di garis pantai yang sama. Melalui jaringan sistem yang saling terhubung ini, Indonesia dapat membangun sebuah perisai mitigasi tsunami yang komprehensif, merata, dan berdaya tahan tinggi dari Sabang hingga Merauke.

Tabel 9.1 Analisis Matriks Keberlanjutan Sistem Peringatan Dini Tsunami

Dimensi Keberlanjutan	Tantangan Utama di Lapangan	Strategi Intervensi Adaptif	Indikator Keberhasilan
Infrastruktur & Teknis	Korosi material, vandalisme, kelangkaan suku cadang.	Desain modular, komponen lokal, pelibatan warga dalam pengawasan.	<i>Downtime</i> sistem < 5% per tahun; respons perbaikan < 24 jam.
Finansial & Anggaran	Ketergantungan pada hibah; APBD yang fluktuatif.	Integrasi ke belanja wajib APBD, skema CSR, optimalisasi Dana Desa.	Alokasi anggaran pemeliharaan tersedia secara permanen setiap tahun.
Operasional & SOP	<i>Bottleneck</i> birokrasi, <i>cry wolf syndrome</i> akibat <i>false alarm</i> .	Pendelegasian wewenang aktivasi, triangulasi data, protokol <i>all-clear</i> .	Waktu aktivasi sirene < 3 menit pasca-peringatan BMKG.
Lingkungan & Spasial	Perubahan garis pantai, penurunan muka tanah.	Pembaruan peta GIS berkala, relokasi aset berbasis data risiko terbaru.	Akurasi pemodelan genangan sesuai dengan kondisi topografi aktual.

BAB 10

PENINGKATAN EFEKTIVITAS DISEMINASI PERINGATAN DINI TSUNAMI

Pendahuluan

Diseminasi peringatan dini tsunami merupakan fase paling krusial dan berisiko tinggi dalam keseluruhan rantai manajemen risiko bencana. Meskipun infrastruktur deteksi di hulu-seperti jaringan sensor seismik dan *buoy* oseanografi-telah mengalami kemajuan komputasional yang pesat, keberhasilan mitigasi pada akhirnya ditentukan secara absolut di hilir: sejauh mana informasi bahaya tersebut dapat menjangkau, dipahami, dan direspons dengan tepat oleh masyarakat di kawasan pesisir. Efektivitas diseminasi tidak dapat direduksi sekadar sebagai persoalan transmisi sinyal elektronik dari pemancar ke penerima. Lebih dari itu, ia merupakan sebuah proses komunikasi sosial yang sangat kompleks, yang sangat dipengaruhi oleh variabel psikologis, hambatan kultural, dan dinamika kepercayaan publik terhadap otoritas negara.

Meskipun investasi pemerintah dalam pengadaan teknologi diseminasi terus meningkat, masih terdapat *research gap* yang substansial antara kecanggihan instrumen peringatan dengan tingkat kepatuhan evakuasi di lapangan. Banyak studi terdahulu yang terlalu berfokus pada aspek rekayasa perangkat keras (*hardware engineering*) dan mengabaikan dimensi sosiologis dari komunikasi risiko. Kegagalan evakuasi sering kali terjadi bukan karena ketiadaan informasi atau matinya sirene, melainkan karena pesan yang disampaikan tidak relevan secara kontekstual, menggunakan jargon yang sulit didekodekan oleh warga awam, atau berasal dari sumber institusional yang kredibilitasnya diragukan oleh komunitas lokal. Celah akademis ini menegaskan bahwa pendekatan teknokratis murni tidak lagi memadai untuk menjamin keselamatan publik di era informasi yang asimetris.

Berangkat dari identifikasi celah penelitian tersebut, bab ini dirumuskan untuk menjawab tiga pertanyaan penelitian utama. Pertama, apa saja faktor determinan yang secara empiris memengaruhi tingkat efektivitas diseminasi peringatan dini di tingkat akar rumput? Kedua, bagaimana

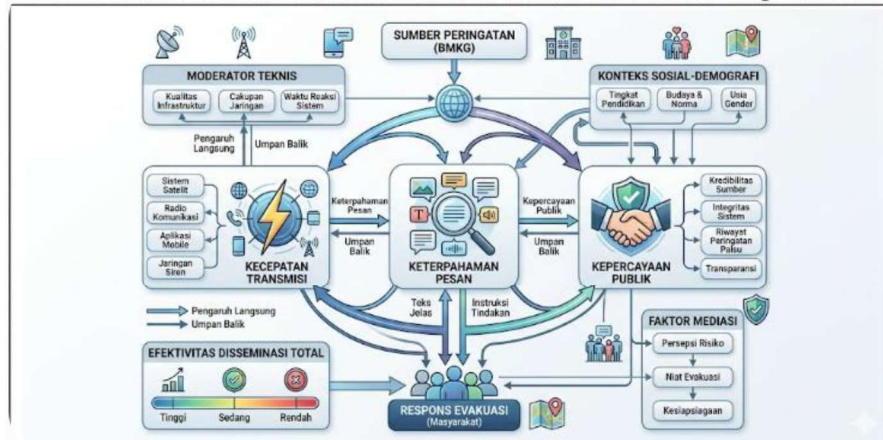
strategi komunikasi risiko berbasis komunitas dapat direkayasa untuk menjembatani kesenjangan epistemologis antara otoritas saintifik dan masyarakat tradisional? Ketiga, bagaimana inovasi teknologi masa depan—seperti Kecerdasan Buatan (AI) dan *Virtual Reality* (VR)—dapat diintegrasikan secara etis untuk memperkuat kapasitas respons dan evakuasi kelompok rentan? Melalui elaborasi komprehensif ini, bab ini diharapkan mampu menyajikan paradigma baru dalam merancang arsitektur diseminasi yang tidak hanya cepat secara teknis, tetapi juga persuasif secara sosiologis.

10.1 Analisis Faktor Penentu Efektivitas Diseminasi

Efektivitas diseminasi peringatan dini merupakan akumulasi dari berbagai variabel yang saling berinteraksi dalam sebuah ekosistem komunikasi krisis yang dinamis. Arifin dan Kusuma (2023) menegaskan bahwa keberhasilan transmisi data dari pusat komando ke perangkat penerima di lapangan hanyalah tahap awal dari sebuah proses panjang yang bermuara pada tindakan penyelamatan diri. Tanpa adanya pemahaman yang utuh terhadap faktor-faktor yang memengaruhi proses tersebut, infrastruktur peringatan dini hanya akan menjadi instrumen pasif yang gagal mengubah perilaku masyarakat.

Untuk mengukur dan meningkatkan tingkat keberhasilan sistem ini, diperlukan analisis mendalam terhadap tiga faktor penentu utama: kecepatan dan akurasi penyampaian, keterpahaman pesan oleh audiens, serta tingkat kepercayaan publik terhadap sumber informasi. Ketiga elemen ini beroperasi secara simultan dan saling bergantung; kelemahan pada salah satu aspek akan secara otomatis mendegradasi kinerja keseluruhan sistem peringatan dini, berpotensi memicu kelumpuhan respons pada fase *golden time*.

Gambar 10.1: Skema Analisis Faktor Penentu Efektivitas Diseminasi Peringatan Dini



Gambar 10.1: Skema Analisis Faktor Penentu Efektivitas Diseminasi Peringatan Dini, mengilustrasikan interaksi antara kecepatan transmisi, keterpahaman pesan, dan kepercayaan publik dalam memicu respons evakuasi.

10.1.1 Kecepatan dan Akurasi Penyampaian Informasi

Kecepatan transmisi informasi merupakan variabel paling absolut dan tidak dapat ditawar dalam menentukan keberhasilan evakuasi tsunami. Arifin dan Kusuma (2023) menjelaskan bahwa dalam konteks gempa *megathrust* yang episentrumnya berada sangat dekat dengan garis pantai Indonesia, waktu kedatangan gelombang (*estimated time of arrival*) sering kali kurang dari dua puluh menit. Dalam jendela waktu yang sangat sempit dan kritis ini, setiap detik keterlambatan dalam mendiseminasikan peringatan akan berbanding lurus dengan peningkatan eksponensial jumlah korban jiwa. Oleh karena itu, arsitektur sistem komunikasi harus dirancang dengan presisi tinggi untuk meminimalkan latensi (*time lag*) antara deteksi anomali seismik oleh sensor BMKG hingga aktivasi sirene dan pengiriman notifikasi seluler di tingkat lokal.

Namun, tuntutan akan kecepatan ini tidak boleh mengorbankan akurasi informasi yang disampaikan. Arifin dan Kusuma (2023) menyoroti dilema klasik yang sering dihadapi oleh otoritas kebencanaan: tekanan publik dan prosedural untuk segera merilis peringatan sering kali berbenturan

dengan kebutuhan saintifik untuk memvalidasi data agar terhindar dari *false alarm* (peringatan palsu). Peringatan yang disebarkan dengan sangat cepat namun tidak akurat-misalnya memprediksi tsunami besar yang ternyata tidak terjadi-dapat memicu kepanikan massal yang tidak perlu, yang pada gilirannya dapat menyebabkan kecelakaan fatal atau serangan jantung selama proses evakuasi yang kacau. Sebaliknya, menunggu data observasi yang seratus persen akurat dari *buoy* dapat menghilangkan *golden time* yang sangat berharga bagi masyarakat pesisir untuk melarikan diri.

Untuk menyeimbangkan kedua variabel yang saling tarik-menarik tersebut, diperlukan integrasi algoritma pemrosesan data tingkat lanjut dan protokol diseminasi yang bersifat adaptif. Arifin dan Kusuma (2023) merekomendasikan penerapan sistem peringatan berjenjang (*tiered warning system*), di mana informasi awal disebarkan segera setelah parameter gempa bumi terdeteksi untuk meningkatkan kewaspadaan dasar, disusul dengan pembaruan data yang lebih presisi seiring dengan masuknya konfirmasi dari sensor oseanografi di laut lepas. Pendekatan iteratif ini memastikan bahwa masyarakat memiliki waktu maksimal untuk bersiap siaga, sekaligus menjaga kredibilitas otoritas melalui penyampaian informasi yang terus dimutakhirkan sesuai dengan dinamika ancaman aktual.

10.1.2 Keterpahaman Pesan Peringatan oleh Masyarakat

Keterpahaman pesan (*message comprehensibility*) merupakan jembatan kognitif yang krusial untuk mengubah informasi bahaya menjadi tindakan penyelamatan yang konkret. Arifin dan Kusuma (2023) memaparkan bahwa peringatan dini yang sarat dengan jargon teknis-seperti penyebutan magnitudo momen, kedalaman hiposentrum dalam kilometer, atau estimasi *run-up*-sering kali gagal diproses oleh masyarakat awam yang sedang berada dalam kondisi stres dan panik. Kegagalan dekode informasi ini menciptakan disonansi kognitif, di mana warga justru menghabiskan waktu berharga untuk mencari klarifikasi dari tetangga atau menelusuri media sosial, alih-alih segera mengeksekusi protokol evakuasi vertikal maupun horizontal.

Oleh karena itu, konstruksi pesan peringatan harus disesuaikan secara presisi dengan tingkat literasi dan latar belakang sosiokultural audiens sasaran. Arifin dan Kusuma (2023) menekankan pentingnya penggunaan bahasa yang lugas, imperatif, dan bebas dari ambiguitas interpretasi. Pesan peringatan yang efektif harus secara eksplisit menjawab tiga pertanyaan mendasar secara instan: apa jenis ancaman yang sedang terjadi, seberapa besar tingkat bahayanya bagi lokasi spesifik pengguna, dan tindakan taktis apa yang harus segera dilakukan. Penggunaan bahasa daerah atau dialek lokal dalam siaran pengeras suara terbukti secara empiris mampu mempercepat waktu reaksi warga secara signifikan dibandingkan dengan penggunaan bahasa nasional yang terkesan formal dan berjarak.

Lebih jauh, tingkat keterpahaman juga sangat dipengaruhi oleh format penyampaian pesan itu sendiri. Arifin dan Kusuma (2023) menyarankan penggunaan pendekatan multi-modal yang menggabungkan elemen audio, visual, dan teks secara harmonis. Sebagai contoh, notifikasi SMS *blast* atau aplikasi ponsel pintar tidak hanya berisi teks peringatan yang kaku, tetapi juga menyertakan tautan ke peta evakuasi interaktif yang mudah dibaca, atau piktogram yang mengilustrasikan arah pelarian. Dengan mengakomodasi berbagai gaya penerimaan informasi kognitif, sistem peringatan dini dapat memastikan bahwa pesan keselamatan dapat dipahami secara instan oleh seluruh lapisan masyarakat, termasuk kelompok rentan seperti lansia, anak-anak, dan penyandang disabilitas.

10.1.3 Tingkat Kepercayaan Publik terhadap Sumber Informasi

Kepercayaan publik (*public trust*) merupakan fondasi sosiologis yang paling determinan dalam menentukan apakah sebuah peringatan dini akan dipatuhi secara mutlak atau justru diabaikan. Arifin dan Kusuma (2023) mengartikulasikan bahwa dalam situasi krisis yang penuh ketidakpastian, masyarakat secara instingtif akan mengevaluasi kredibilitas sumber informasi sebelum mengambil keputusan evakuasi yang mempertaruhkan harta benda mereka. Jika otoritas kebencanaan memiliki rekam jejak operasional yang buruk-misalnya sering mengeluarkan peringatan palsu (*cry wolf syndrome*) atau gagal memberikan notifikasi pada kejadian bencana sebelumnya-maka masyarakat akan bersikap skeptis dan

cenderung mencari validasi dari sumber alternatif yang tidak resmi dan berpotensi menyesatkan.

Membangun dan merawat kepercayaan publik bukanlah proses instan yang dapat direkayasa saat bencana terjadi, melainkan sebuah investasi institusional jangka panjang pada fase prabencana. Arifin dan Kusuma (2023) menjelaskan bahwa transparansi otoritas dalam mengomunikasikan keterbatasan sistem teknologi merupakan langkah krusial untuk mengelola ekspektasi warga. Pemerintah harus secara jujur mengedukasi masyarakat bahwa sistem peringatan dini buatan manusia tidak pernah luput dari potensi kesalahan teknis, sehingga observasi mandiri terhadap tanda-tanda alam (kearifan lokal) tetap menjadi instrumen validasi yang esensial. Keterbukaan epistemologis ini justru akan meningkatkan respek dan kepercayaan warga terhadap integritas institusi resmi.

Selain itu, kepercayaan publik sangat dipengaruhi oleh kedekatan emosional dan kultural dengan pihak penyampai pesan. Arifin dan Kusuma (2023) menyoroti bahwa informasi bahaya yang disalurkan melalui figur otoritas lokal—seperti kepala desa, kiai, atau ketua adat—sering kali memiliki tingkat kepatuhan yang jauh lebih tinggi dibandingkan instruksi anonim yang disiarkan dari pusat komando di ibu kota. Oleh karena itu, strategi diseminasi nasional harus mengintegrasikan tokoh-tokoh tepercaya ini sebagai perpanjangan tangan (*extension*) dari sistem peringatan dini resmi. Memastikan bahwa pesan saintifik dibungkus dengan legitimasi kultural yang kuat adalah kunci untuk menembus dinding keraguan di tengah masyarakat pesisir.

10.2 Strategi Komunikasi Risiko Berbasis Komunitas

Komunikasi risiko yang efektif tidak dapat dirancang di ruang hampa sosiologis atau sekadar mengandalkan instruksi satu arah dari pemerintah pusat. Mulyani dan Hidayat (2022) menegaskan bahwa pendekatan *top-down* yang menyeragamkan pesan mitigasi untuk seluruh wilayah pesisir nusantara sering kali gagal menyentuh kesadaran kolektif masyarakat, karena mengabaikan keragaman lanskap kultural dan geografis. Pesan yang tidak memiliki resonansi lokal akan dianggap sebagai angin lalu yang tidak relevan dengan realitas keseharian warga.

Untuk mengatasi inefisiensi tersebut, diperlukan pergeseran paradigma menuju strategi komunikasi risiko berbasis komunitas yang menempatkan warga lokal sebagai subjek aktif, bukan sekadar audiens pasif. Strategi ini melibatkan pemanfaatan saluran komunikasi informal yang sudah mengakar, pengembangan media edukasi yang sangat kontekstual, serta pelibatan tokoh masyarakat sebagai agen diseminasi utama. Melalui pendekatan partisipatif ini, komunikasi risiko bertransformasi menjadi dialog pemberdayaan yang memperkuat resiliensi dari dalam.

10.2.1 Pemanfaatan Saluran Komunikasi Formal dan Informal

Ekosistem komunikasi di tingkat akar rumput terdiri dari perpaduan yang kompleks antara saluran formal yang dikelola oleh instansi negara dan saluran informal yang tumbuh secara organik di tengah dinamika sosial masyarakat. Mulyani dan Hidayat (2022) memaparkan bahwa diseminasi peringatan dini yang hanya mengandalkan saluran formal—seperti aktivasi sirene BPBD, rilis pers resmi, atau siaran televisi nasional—memiliki keterbatasan jangkauan penetrasi, terutama di wilayah pesisir terpencil yang minim infrastruktur. Oleh karena itu, integrasi strategis dengan saluran komunikasi informal menjadi sebuah keharusan operasional untuk memastikan bahwa informasi keselamatan dapat menjangkau setiap lorong permukiman padat dalam waktu sesingkat mungkin.

Saluran informal mencakup jaringan sosial digital maupun konvensional yang digunakan warga dalam interaksi keseharian mereka, seperti grup WhatsApp Rukun Tetangga (RT), forum arisan ibu-ibu, hingga perkumpulan pengajian majelis taklim. Mulyani dan Hidayat (2022) menjelaskan bahwa saluran-saluran komunal ini memiliki tingkat interaktivitas dan kecepatan penyebaran (*virality*) yang sangat tinggi. Ketika peringatan resmi dari BMKG diteruskan ke dalam grup-grup komunitas ini oleh individu yang dipercaya (*opinion leaders*), pesan tersebut akan langsung mendapatkan atensi penuh dari anggotanya. Sifat komunikasi yang dialogis dalam saluran informal juga memungkinkan warga untuk saling mengonfirmasi status keselamatan anggota keluarga lainnya secara *real-time*.

Untuk mengoptimalkan sinergi antara kedua saluran tersebut, pemerintah daerah perlu memfasilitasi pembentukan jejaring komunikasi hibrida yang

terstruktur. Mulyani dan Hidayat (2022) merekomendasikan agar BPBD secara proaktif mendaftarkan nomor kontak para ketua RT, pengurus masjid, dan tokoh pemuda ke dalam sistem SMS *blast* prioritas atau grup komunikasi kedaruratan resmi. Dengan demikian, ketika status bahaya diaktifkan, para simpul komunikasi informal ini akan menjadi pihak pertama yang menerima informasi terverifikasi. Mereka kemudian dapat mengamplifikasi pesan tersebut ke dalam jaringan komunitas masing-masing menggunakan bahasa, nada, dan pendekatan yang paling sesuai dengan karakteristik psikologis warganya.

10.2.2 Pengembangan Media Edukasi yang Relevan dengan Konteks Lokal

Media edukasi kebencanaan sering kali diproduksi secara massal di tingkat pusat dengan menggunakan desain visual dan narasi yang bersifat generik demi efisiensi anggaran. Rahman dan Wibowo (2022) mengkritik pendekatan sentralistik ini karena materi yang menampilkan topografi perkotaan modern atau menggunakan piktogram standar internasional sering kali tidak beresonansi dengan realitas kehidupan masyarakat nelayan tradisional. Ketidaksesuaian konteks ini menyebabkan media edukasi—seperti poster, brosur, atau video animasi—hanya dipandang sebagai ornamen administratif yang menempel di dinding balai desa, tanpa memberikan dampak pedagogis yang bermakna bagi peningkatan kesiapsiagaan warga.

Pengembangan media edukasi yang efektif menuntut proses lokalisasi yang mendalam dan partisipatif. Rahman dan Wibowo (2022) menjelaskan bahwa materi kampanye mitigasi harus merefleksikan lanskap geografis, mata pencaharian, dan identitas kultural komunitas sasaran secara akurat. Sebagai contoh, poster jalur evakuasi di sebuah desa pesisir harus menggunakan foto atau ilustrasi *landmark* lokal yang sangat dikenal oleh warga, seperti bukit penyelamatan tertentu, pohon beringin besar di persimpangan, atau bangunan masjid bersejarah. Penggunaan toponimi lokal (penamaan tempat berdasarkan tradisi) dalam media edukasi terbukti secara drastis mempercepat proses pemahaman spasial warga saat mereka harus menentukan arah pelarian dalam kondisi panik.

Selain penyesuaian elemen visual, narasi edukasi juga harus diadaptasi dengan kekayaan kearifan lokal setempat. Rahman dan Wibowo (2022) mencontohkan keberhasilan integrasi cerita rakyat, pantun, atau peribahasa daerah yang mengandung pesan kewaspadaan alam ke dalam buku saku mitigasi untuk anak-anak sekolah dasar. Pendekatan *edutainment* (edukasi dan hiburan) yang kontekstual ini tidak hanya mempermudah transfer pengetahuan saintifik mengenai ancaman tsunami, tetapi juga menumbuhkan rasa kebanggaan kultural di kalangan generasi muda. Dengan menjadikan media edukasi sebagai cermin dari realitas lokal, pesan-pesan pengurangan risiko bencana akan terinternalisasi secara organik ke dalam memori kolektif masyarakat.

10.2.3 Pelibatan Tokoh Masyarakat dan Pemuka Agama sebagai Agen Diseminasi

Dalam struktur masyarakat paternalistik yang masih mendominasi lanskap sosiologis di sebagian besar wilayah pesisir Indonesia, figur otoritas informal memegang peranan sentral dalam membentuk opini publik dan menggerakkan massa. Mulyani dan Hidayat (2022) menegaskan bahwa tokoh masyarakat, pemuka agama, dan tetua adat memiliki modal sosial (*social capital*) yang sangat besar, berupa kepercayaan dan kepatuhan absolut dari para pengikutnya. Ketika terjadi krisis bencana dan informasi berseliweran secara simpang siur, masyarakat tradisional cenderung mencari validasi dan arahan dari figur-figur karismatik ini sebelum memutuskan untuk melakukan evakuasi massal atau tetap bertahan di rumah.

Mengabaikan peran strategis tokoh informal dalam arsitektur diseminasi peringatan dini adalah sebuah kesalahan taktis yang dapat berakibat fatal. Mulyani dan Hidayat (2022) memaparkan bahwa BPBD harus secara sistematis merekrut, melatih, dan melembagakan para pemuka agama serta tokoh adat untuk menjadi agen komunikasi risiko (*risk communication agents*) di garis depan. Mereka harus dibekali dengan literatur saintifik dasar mengenai mekanisme tsunami dan prosedur evakuasi yang benar, agar pesan teologis yang mereka sampaikan di mimbar-mimbar keagamaan selaras dengan protokol keselamatan modern. Mulyani dan Hidayat (2022) mencontohkan bahwa ketika seorang kiai mengintegrasikan pesan kewaspadaan bencana ke dalam

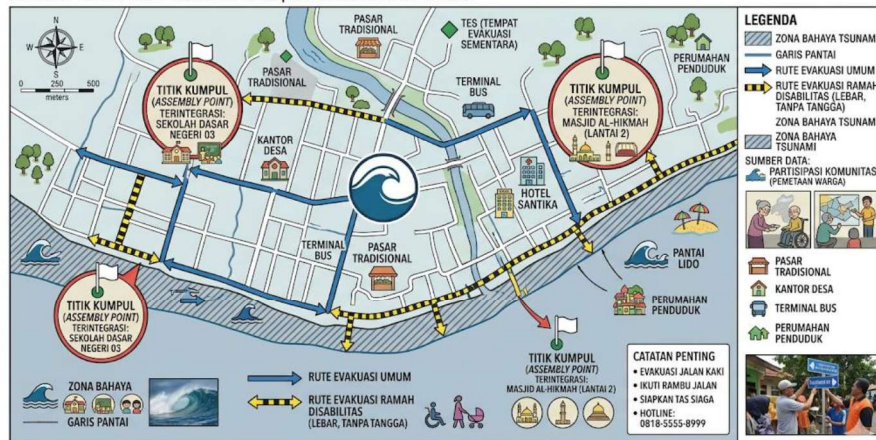
khotbah Jumat, atau ketika seorang ketua adat menetapkan sanksi moral bagi warga yang merusak rambu evakuasi, efektivitas diseminasi akan meningkat secara eksponensial. Transformasi tokoh masyarakat menjadi agen diseminasi ini tidak hanya memperluas jangkauan informasi, tetapi juga memberikan legitimasi kultural yang membuat pesan peringatan dini dipatuhi tanpa keraguan.

10.3 Peningkatan Kapasitas Respons dan Evakuasi

Diseminasi informasi peringatan dini yang cepat dan dapat dipahami tidak akan bermakna jika masyarakat tidak memiliki kapasitas fisik dan organisasional untuk meresponsnya. Kapasitas respons merupakan variabel hilir yang menentukan apakah informasi bahaya dapat dikonversi menjadi tindakan penyelamatan jiwa yang efektif. Dalam konteks ancaman tsunami *megathrust*, di mana waktu evakuasi sangat terbatas, kapasitas respons tidak dapat dibangun secara instan pada saat krisis terjadi; ia harus dilatih, diuji, dan dilembagakan jauh sebelum bencana melanda.

Peningkatan kapasitas ini menuntut intervensi yang komprehensif dari pemerintah daerah dan komunitas itu sendiri. Intervensi tersebut mencakup penyelenggaraan simulasi yang realistis, penyediaan infrastruktur spasial yang memadai, serta penerapan pendekatan inklusif yang menjamin keselamatan kelompok rentan. Tanpa adanya kapasitas respons yang terukur, peringatan dini hanya akan memicu kepanikan massal yang berujung pada kekacauan dan tingginya angka fatalitas di jalur evakuasi.

Gambar 10.2: Peta Evakuasi Partisipatif Berbasis Komunitas



Gambar 10.2: Peta Evakuasi Partisipatif Berbasis Komunitas

Gambar 10.2: Peta Evakuasi Partisipatif Berbasis Komunitas, menampilkan rute pelarian yang ramah disabilitas dan lokasi titik kumpul yang terintegrasi dengan infrastruktur lokal.

10.3.1 Program Pelatihan Kesiapsiagaan dan Simulasi Evakuasi Rutin

Pelatihan kesiapsiagaan dan simulasi evakuasi (*drill*) merupakan instrumen pedagogis paling fundamental untuk membangun memori otot (*muscle memory*) masyarakat dalam merespons peringatan dini. Yuliana dan Pratama (2024) mengartikulasikan bahwa pengetahuan teoretis mengenai bahaya tsunami sering kali menguap ketika individu dihadapkan pada situasi stres ekstrem. Melalui simulasi yang dilakukan secara berulang dan terstruktur, kepanikan yang melumpuhkan dapat ditransformasikan menjadi refleks tindakan yang terorganisir. Warga yang telah terbiasa mengikuti simulasi akan secara otomatis mengetahui rute mana yang harus diambil, barang apa saja yang perlu dibawa dalam tas siaga bencana, dan bagaimana cara membantu tetangga yang membutuhkan pertolongan.

Namun, efektivitas simulasi sangat bergantung pada tingkat realisme skenario yang diterapkan. Rahman dan Wibowo (2022) mengkritik praktik simulasi seremonial yang sering kali dilakukan pada siang hari dengan kondisi cuaca cerah dan rute yang telah disterilkan dari hambatan. Untuk menguji kapasitas respons yang sesungguhnya, otoritas kebencanaan

harus merancang simulasi dengan skenario yang kompleks dan tidak terduga (*unannounced drills*). Misalnya, menyelenggarakan simulasi pada malam hari dengan kondisi pemadaman listrik total (*blackout*), atau pada saat jam sibuk di pasar tradisional pesisir. Skenario ekstrem ini memaksa warga dan relawan untuk melatih kemampuan navigasi dan pengambilan keputusan di bawah tekanan yang mendekati realitas bencana sebenarnya.

Selain itu, program pelatihan harus diintegrasikan secara permanen ke dalam kalender kegiatan komunitas dan institusi pendidikan lokal. Yuliana dan Pratama (2024) merekomendasikan agar sekolah-sekolah di kawasan rawan tsunami mewajibkan pelaksanaan simulasi evakuasi minimal dua kali dalam setahun sebagai bagian dari kurikulum ekstrakurikuler. Di tingkat desa, pemerintah dapat mengalokasikan sebagian Dana Desa untuk membiayai pelatihan pertolongan pertama (*first aid*) dan manajemen barak pengungsian bagi anggota Kampung Siaga Bencana (KSB). Pelembagaan rutinitas ini memastikan bahwa kapasitas respons tidak hanya menjadi proyek insidental, melainkan berevolusi menjadi budaya keselamatan yang diwariskan lintas generasi.

10.3.2 Pengembangan Peta Evakuasi dan Jalur Aman yang Mudah Diakses

Infrastruktur spasial berupa peta evakuasi dan rambu penunjuk arah merupakan panduan visual yang sangat krusial untuk mengarahkan pergerakan massa secara efisien. Rahman dan Wibowo (2022) memaparkan bahwa banyak kawasan pesisir di Indonesia masih kekurangan rambu evakuasi yang memadai, atau memiliki peta yang desainnya terlalu rumit untuk dipahami secara cepat. Peta evakuasi yang efektif harus dirancang dengan prinsip kesederhanaan kognitif (*cognitive simplicity*), menggunakan kontras warna yang tajam, piktogram yang universal, dan orientasi arah yang disesuaikan dengan perspektif pembaca di lokasi tersebut (*heads-up orientation*).

Proses pengembangan peta evakuasi tidak boleh dilakukan secara sepihak oleh ahli pemetaan di belakang meja, melainkan harus melibatkan partisipasi aktif warga setempat. Rahman dan Wibowo (2022) menjelaskan bahwa warga lokal memiliki pengetahuan empiris mengenai

kondisi topografi mikro yang sering kali tidak terekam oleh citra satelit, seperti keberadaan gang sempit yang rawan macet, jembatan kayu yang rapuh, atau area yang sering tergenang banjir rob. Melalui pemetaan partisipatif (*participatory mapping*), otoritas dapat merancang rute evakuasi yang tidak hanya secara matematis merupakan jarak terpendek menuju titik aman, tetapi juga secara sosiologis dan fisik paling layak untuk dilalui oleh ribuan orang secara serentak.

Lebih jauh, jalur evakuasi yang telah disepakati harus dipelihara dan dipastikan aksesibilitasnya setiap saat. Rahman dan Wibowo (2022) menyoroti fenomena di mana jalur evakuasi yang telah dibangun dengan dana besar justru beralih fungsi menjadi area parkir liar, tempat pembuangan sampah, atau bahkan tertutup oleh perluasan bangunan komersial. Pemerintah daerah harus menerbitkan regulasi tata ruang yang secara tegas melarang segala bentuk okupansi di atas jalur evakuasi utama. Selain itu, pemasangan lampu penerangan jalan bertenaga surya (*solar street lights*) di sepanjang rute pelarian menjadi keharusan mutlak untuk menjamin kelancaran evakuasi pada skenario bencana malam hari.

10.3.3 Penguatan Kelompok Rentan dalam Proses Evakuasi

Evaluasi terhadap berbagai tragedi tsunami di masa lalu secara konsisten menunjukkan bahwa kelompok rentan—seperti lansia, anak-anak, ibu hamil, dan penyandang disabilitas—selalu menempati persentase korban jiwa tertinggi. Yuliana dan Pratama (2024) menegaskan bahwa sistem peringatan dini dan protokol evakuasi yang mengabaikan kebutuhan spesifik kelompok ini adalah sistem yang cacat secara moral dan operasional. Kecepatan lari rata-rata seorang pemuda sehat tidak dapat dijadikan standar tunggal dalam menghitung *golden time* evakuasi. Oleh karena itu, peningkatan kapasitas respons harus mengadopsi pendekatan inklusif yang menempatkan perlindungan kelompok rentan sebagai prioritas tertinggi.

Langkah operasional pertama dalam penguatan ini adalah pemetaan demografis yang presisi di tingkat Rukun Tetangga (RT). Yuliana dan Pratama (2024) menjelaskan bahwa relawan desa harus memiliki basis data mutakhir mengenai lokasi rumah warga yang mengalami keterbatasan mobilitas. Berdasarkan data tersebut, komunitas dapat

menerapkan sistem "Satu Pendamping, Satu Warga Rentan" (*buddy system*), di mana pemuda atau tetangga terdekat secara spesifik ditugaskan untuk menjemput dan mengevakuasi individu rentan tersebut segera setelah sirene berbunyi. Sistem pendampingan komunal ini terbukti jauh lebih efektif dan cepat dibandingkan menunggu kedatangan tim SAR dari pemerintah daerah.

Selain intervensi sosial, infrastruktur evakuasi juga harus direkayasa agar ramah terhadap penyandang disabilitas (*disability-friendly infrastructure*). Yuliana dan Pratama (2024) merekomendasikan agar Tempat Evakuasi Sementara (TES) atau *shelter* vertikal dilengkapi dengan jalur landai (*ramp*) untuk pengguna kursi roda, bukan hanya tangga darurat yang curam. Rambu-rambu peringatan juga harus mengakomodasi kebutuhan sensorik yang beragam, misalnya dengan mengombinasikan alarm suara berfrekuensi tinggi untuk tunanetra dan lampu strobo kilat (*strobe lights*) untuk tunarungu. Melalui desain infrastruktur dan rekayasa sosial yang inklusif ini, prinsip "tidak ada satu pun yang tertinggal" (*no one left behind*) dapat direalisasikan secara nyata di lapangan.

10.4 Inovasi dan Tren Masa Depan dalam Diseminasi Peringatan Dini

Seiring dengan revolusi industri 4.0, lanskap teknologi mitigasi bencana tengah mengalami transformasi yang radikal. Pendekatan konvensional yang sangat bergantung pada analisis manual dan diseminasi analog perlahan mulai digantikan oleh sistem otonom yang digerakkan oleh algoritma cerdas dan konektivitas digital tanpa batas. Inovasi teknologi masa depan menawarkan potensi yang luar biasa untuk memangkas latensi waktu, meningkatkan akurasi prediksi, dan mempersonalisasi pesan peringatan hingga ke tingkat individu.

Namun, adopsi teknologi mutakhir ini juga membawa tantangan baru terkait etika data, kesenjangan digital (*digital divide*), dan ketergantungan absolut pada infrastruktur siber. Oleh karena itu, eksplorasi terhadap tren masa depan—seperti Kecerdasan Buatan (AI), *Virtual Reality* (VR), dan *Smart City*—harus dilakukan dengan kerangka berpikir yang kritis. Teknologi ini harus diposisikan sebagai katalisator yang memperkuat kapasitas

manusia, bukan sebagai substitusi yang mengalienasi kearifan lokal dan kemandirian komunitas pesisir.

10.4.1 Pemanfaatan Kecerdasan Buatan (AI) untuk Analisis Data Cepat

Kecerdasan Buatan (*Artificial Intelligence* - AI) dan *Machine Learning* merepresentasikan lompatan kuantum dalam kemampuan otoritas saintifik untuk memproses data geofisika berskala masif (*big data*). Wibisono dan Fitri (2025) memaparkan bahwa dalam arsitektur peringatan dini konvensional, analisis parameter gempa dan pemodelan potensi tsunami masih membutuhkan intervensi operator manusia yang memakan waktu beberapa menit. Dengan mengintegrasikan algoritma AI ke dalam *Decision Support System* (DSS), jaringan saraf tiruan (*neural networks*) dapat menganalisis pola gelombang seismik dari ratusan sensor secara *real-time*, membandingkannya dengan jutaan skenario historis, dan mengeluarkan prediksi tinggi *run-up* tsunami dalam hitungan detik dengan tingkat akurasi yang melampaui kalkulasi manual.

Keunggulan utama AI terletak pada kemampuannya untuk mengeliminasi *blind spot* analisitis dan mereduksi potensi *false alarm*. Wibisono dan Fitri (2025) menjelaskan bahwa algoritma *Deep Learning* dapat dilatih untuk membedakan secara presisi antara anomali seismik yang murni diakibatkan oleh pergeseran lempeng tektonik dengan anomali yang dipicu oleh longsoran bawah laut (*submarine landslide*) atau aktivitas vulkanik-dua pemicu tsunami yang selama ini sangat sulit dideteksi oleh sistem konvensional. Kecepatan komputasi AI ini memberikan tambahan *golden time* yang sangat berharga bagi masyarakat pesisir, mengubah paradigma peringatan dini dari yang bersifat reaktif menjadi sangat prediktif.

Meskipun demikian, implementasi AI dalam domain keselamatan publik menuntut pengawasan etis dan validasi yang ketat. Wibisono dan Fitri (2025) menegaskan bahwa keputusan akhir untuk mengaktifkan sirene evakuasi massal tidak boleh diserahkan sepenuhnya kepada mesin (*human-in-the-loop principle*). AI harus diposisikan sebagai asisten analitik super-cepat yang memberikan rekomendasi probabilitas kepada komandan jaga Pusdalops. Selain itu, algoritma AI harus terus dilatih menggunakan data lokal yang spesifik agar tidak menghasilkan bias

prediksi yang dapat merugikan kawasan pesisir tertentu. Sinergi antara kecerdasan komputasional dan intuisi manusia inilah yang akan membentuk arsitektur peringatan dini masa depan yang tangguh.

10.4.2 Implementasi Teknologi Realitas Virtual/Augmented Reality untuk Edukasi

Tantangan terbesar dalam edukasi mitigasi bencana adalah bagaimana mentransfer pengalaman traumatis dan urgensi spasial kepada generasi muda yang belum pernah mengalami tsunami secara langsung. Santoso dan Sari (2023) mengartikulasikan bahwa metode penyuluhan konvensional melalui ceramah atau brosur sering kali gagal membangkitkan respons emosional yang diperlukan untuk membentuk memori jangka panjang. Sebagai solusinya, teknologi *Virtual Reality* (VR) dan *Augmented Reality* (AR) hadir sebagai medium pedagogis revolusioner yang mampu mereplikasi kondisi krisis secara imersif, aman, dan sangat realistis.

Melalui penggunaan *headset* VR, masyarakat dapat ditempatkan di dalam simulasi lingkungan desa mereka sendiri yang sedang dilanda gempa bumi hebat, disusul dengan visualisasi air laut yang surut dan datangnya gelombang raksasa. Santoso dan Sari (2023) menjelaskan bahwa pengalaman imersif ini memicu respons psikologis dan fisiologis yang nyata, memaksa pengguna untuk berlatih mengambil keputusan cepat-seperti mencari rute evakuasi terdekat atau menghindari bangunan yang runtuh-di bawah tekanan simulasi. Pendekatan *experiential learning* (pembelajaran berbasis pengalaman) ini terbukti secara empiris mampu meningkatkan retensi pengetahuan spasial dan refleksi evakuasi hingga tiga kali lipat dibandingkan metode pembelajaran pasif.

Sementara itu, teknologi AR dapat dimanfaatkan untuk mengubah infrastruktur fisik di kawasan pesisir menjadi media edukasi interaktif. Santoso dan Sari (2023) mencontohkan aplikasi ponsel pintar yang, ketika diarahkan ke rambu evakuasi atau bangunan tertentu, akan memunculkan proyeksi hologram tiga dimensi mengenai batas ketinggian genangan tsunami historis di lokasi tersebut. Inovasi visual ini membuat ancaman bencana yang abstrak menjadi sangat konkret dan terukur secara visual. Untuk mewujudkan hal ini, pemerintah daerah perlu berkolaborasi dengan

perguruan tinggi dan *startup* teknologi lokal guna mengembangkan konten VR/AR yang dikustomisasi secara spesifik dengan topografi dan kearifan lokal masing-masing daerah.

10.4.3 Pengembangan Platform Kolaborasi Multi-Stakeholder Digital

Manajemen krisis di era modern menuntut tingkat koordinasi yang sangat presisi antara berbagai pemangku kepentingan, mulai dari BMKG, BNPB, TNI/Polri, lembaga swadaya masyarakat (NGO), hingga komunitas relawan di tingkat desa. Nugroho dan Setiawan (2024) menyoroti bahwa fragmentasi informasi dan ego sektoral sering kali menjadi penyebab utama lambatnya respons kedaruratan. Untuk meruntuhkan sekat-sekat birokrasi tersebut, pengembangan platform kolaborasi digital terpadu (*unified digital collaboration platform*) menjadi sebuah keharusan strategis. Platform ini berfungsi sebagai ruang komando virtual (*virtual command center*) yang menyatukan seluruh aktor mitigasi ke dalam satu ekosistem informasi yang transparan dan *real-time*.

Platform digital ini dirancang untuk memfasilitasi pertukaran data dua arah (*two-way data exchange*) yang aman dan terenkripsi. Nugroho dan Setiawan (2024) memaparkan bahwa ketika peringatan dini diterbitkan, platform ini secara otomatis mendistribusikan tugas taktis kepada masing-masing instansi berdasarkan Standar Operasional Prosedur (SOP) yang telah diprogram. Misalnya, Dinas Perhubungan langsung menerima notifikasi untuk merekayasa lalu lintas di jalur evakuasi, sementara Dinas Sosial menerima data geospasial mengenai lokasi titik kumpul yang membutuhkan suplai logistik segera. Sinkronisasi digital ini mengeliminasi tumpang tindih kewenangan dan memastikan bahwa seluruh sumber daya negara dikerahkan secara efisien.

Lebih jauh, platform ini juga harus mengakomodasi fitur *crowdsourcing* (urun daya) yang memungkinkan masyarakat luas untuk berpartisipasi aktif dalam pelaporan kondisi lapangan. Nugroho dan Setiawan (2024) menjelaskan bahwa warga dapat mengunggah foto kerusakan infrastruktur, melaporkan titik kemacetan di jalur evakuasi, atau meminta bantuan medis darurat langsung melalui aplikasi yang terhubung dengan platform tersebut. Data yang bersumber dari masyarakat ini kemudian divalidasi oleh AI dan divisualisasikan di dasbor pusat komando,

memberikan gambaran situasional (*situational awareness*) yang sangat komprehensif bagi para pengambil keputusan di tengah kekacauan pasca-bencana.

10.4.4 Integrasi Peringatan Dini dengan Sistem Smart City

Konsep *Smart City* (Kota Cerdas) yang kini tengah diadopsi oleh berbagai kota pesisir di Indonesia menawarkan infrastruktur digital yang sangat potensial untuk diintegrasikan dengan arsitektur peringatan dini tsunami. Nugroho dan Setiawan (2024) mengartikulasikan bahwa *Smart City* tidak hanya berfokus pada efisiensi layanan publik dan tata kelola pemerintahan, tetapi juga harus memprioritaskan ketangguhan kota (*urban resilience*) terhadap guncangan bencana. Integrasi ini mengubah seluruh elemen kota-mulai dari lampu jalan, kamera pengawas (CCTV), hingga papan reklame digital-menjadi instrumen diseminasi peringatan dini yang masif dan terorkestrasi.

Secara teknis, integrasi ini diwujudkan melalui koneksi *Internet of Things* (IoT) yang menghubungkan server BMKG langsung dengan pusat kendali *Smart City*. Nugroho dan Setiawan (2024) menjelaskan skenario operasionalnya: ketika status "Awat" tsunami diterbitkan, sistem *Smart City* akan secara otomatis mengambil alih (*override*) seluruh infrastruktur digital kota. Papan reklame elektronik (videotron) di jalan-jalan protokol akan seketika berubah menjadi layar merah yang menampilkan rute evakuasi; lampu lalu lintas akan diatur secara otonom untuk memberikan jalur hijau tanpa henti (*green wave*) ke arah dataran tinggi; dan jaringan CCTV analitik akan memantau pergerakan massa untuk mendeteksi potensi *bottleneck* di jalur pelarian.

Meskipun menjanjikan efisiensi yang luar biasa, integrasi *Smart City* ini juga memunculkan kerentanan baru terkait keamanan siber (*cybersecurity*). Nugroho dan Setiawan (2024) memperingatkan bahwa infrastruktur IoT yang saling terhubung sangat rentan terhadap serangan peretas (*hackers*) yang dapat memicu peringatan palsu berskala kota atau melumpuhkan sistem saat bencana benar-benar terjadi. Oleh karena itu, pengembangan arsitektur *Smart City* untuk mitigasi bencana harus dilapisi dengan protokol enkripsi tingkat militer dan sistem cadangan analog (seperti kentongan dan radio HT) yang tetap beroperasi secara

independen. Sinergi antara kecerdasan digital kota dan ketangguhan kultural warganya adalah kunci menuju peradaban pesisir yang benar-benar resilien.

Tabel 10.1 Analisis Komparatif Inovasi Teknologi dalam Diseminasi Peringatan Dini

Jenis Inovasi Teknologi	Fungsi Utama dalam Mitigasi	Keunggulan Komparatif	Tantangan Implementasi
Kecerdasan Buatan (AI)	Analisis data seismik dan prediksi <i>run-up</i> tsunami secara <i>real-time</i> .	Kecepatan komputasi ekstrem; mampu mereduksi <i>false alarm</i> .	Membutuhkan daya komputasi besar; risiko bias algoritma jika data latih minim.
Virtual Reality (VR)	Simulasi evakuasi imersif dan edukasi kesiapsiagaan spasial.	Meningkatkan retensi memori dan melatih refleks psikologis warga.	Biaya pengadaan perangkat keras (<i>headset</i>) yang masih relatif mahal.
Platform Kolaborasi Digital	Sinkronisasi komando antar-instansi dan pelaporan <i>crowdsourcing</i> .	Mengeliminasi ego sektoral; memberikan <i>situational awareness</i> yang akurat.	Membutuhkan literasi digital tinggi dan konektivitas internet yang stabil.
Integrasi Smart City (IoT)	Otomasi infrastruktur kota (videotron, lampu lalu lintas) untuk evakuasi.	Diseminasi informasi yang masif, visual, dan terorkestrasi secara instan.	Kerentanan terhadap serangan siber (<i>cybersecurity</i>) dan <i>blackout</i> listrik.

BAB 11

REKOMENDASI KEBIJAKAN DAN MODEL KOLABORASI MULTI-PIHAK

Pendahuluan

Diskursus mengenai sinergi antara teknologi modern dan kearifan lokal dalam sistem peringatan dini tsunami tidak akan mencapai titik ekuilibrium operasional tanpa adanya intervensi kebijakan publik yang terstruktur. Bab ini berposisi sebagai muara sintesis dari seluruh perdebatan teoretis dan temuan empiris pada bab-bab sebelumnya, mentransformasikannya menjadi rekomendasi kebijakan yang presisi dan dapat dieksekusi (*actionable*). Dalam konstelasi keilmuan manajemen bencana, inovasi sosio-teknis sering kali layu sebelum berkembang karena ketiadaan payung hukum yang melegitimasi, atau karena arsitektur kelembagaan yang ada tidak didesain untuk mengakomodasi kolaborasi lintas sektor. Oleh karena itu, bab ini membedah anatomi kebijakan publik dan tata kelola kolaboratif sebagai prasyarat mutlak untuk melembagakan sistem peringatan dini hibrida di Indonesia.

Meskipun literatur mengenai desentralisasi penanggulangan bencana telah banyak dipublikasikan, masih terdapat *research gap* yang substansial terkait fragmentasi otoritas dan ketiadaan kerangka kerja kolaborasi yang mengikat secara legal. Banyak kebijakan mitigasi di tingkat daerah masih bersifat elitis dan *top-down*, menempatkan masyarakat dan entitas non-pemerintah sekadar sebagai objek pelengkap penderita. Selain itu, upaya revitalisasi kearifan lokal sering kali hanya berhenti pada tataran retorika pelestarian budaya, tanpa pernah diintegrasikan secara formal ke dalam instrumen regulasi daerah maupun kurikulum pendidikan nasional. Celah akademis dan birokratis ini mengakibatkan inisiatif mitigasi berjalan secara sporadis, tumpang tindih, dan kehilangan daya ungkit (*leverage*) yang seharusnya dapat dicapai melalui sinergi multi-pihak.

Berangkat dari identifikasi celah penelitian tersebut, bab ini dirumuskan untuk menjawab empat pertanyaan penelitian utama yang berorientasi pada perumusan kebijakan. Pertama, bagaimana strategi yang paling efektif untuk meningkatkan kapasitas kelembagaan di tingkat nasional dan

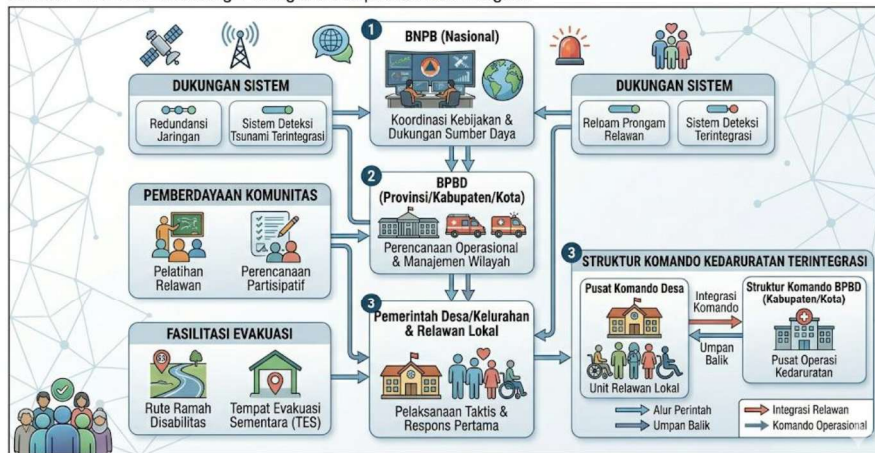
lokal, khususnya dalam memformalisasi peran pemerintah desa? Kedua, langkah regulatif apa yang diperlukan untuk merevitalisasi kearifan lokal agar diakui sebagai instrumen mitigasi yang sah dalam kebijakan publik? Ketiga, bagaimana model kolaborasi Pentahelix dapat direkayasa untuk mendistribusikan tanggung jawab mitigasi secara proporsional di antara pemerintah, swasta, masyarakat, akademisi, dan media? Keempat, bagaimana menyusun Rencana Aksi (*Roadmap*) jangka panjang yang dilengkapi dengan Indikator Kinerja Utama (KPI) untuk mengukur ketangguhan komunitas pesisir? Melalui elaborasi ini, bab ini menyajikan cetak biru tata kelola bencana yang inklusif dan berkelanjutan.

11.1 Strategi Peningkatan Kapasitas Kelembagaan Nasional dan Lokal

Kapasitas kelembagaan merupakan tulang punggung (*backbone*) dari setiap arsitektur kebijakan publik. Dalam konteks peringatan dini tsunami, kapasitas ini tidak hanya diukur dari besaran alokasi anggaran atau kecanggihan fasilitas Pusat Pengendalian Operasi (Pusdalops), tetapi lebih pada kelenturan organisasi dalam merespons krisis dan kemampuan berkoordinasi lintas yurisdiksi. Strategi peningkatan kapasitas harus menasar pada perbaikan struktur birokrasi, peningkatan kompetensi sumber daya manusia, dan penyempurnaan regulasi internal lembaga.

Tantangan terbesar dalam tata kelola kelembagaan di Indonesia adalah mengatasi asimetri kapasitas antara lembaga di tingkat pusat (seperti BNPB dan BMKG) dengan lembaga di tingkat daerah (BPBD dan Pemerintah Desa). Oleh karena itu, strategi peningkatan kapasitas harus bersifat desentralistik, menggeser titik berat intervensi dari ibu kota negara menuju ke tingkat tapak, di mana dampak bencana pertama kali dirasakan dan direspons.

Gambar 11.1: Skema Strategi Peningkatan Kapasitas Kelembagaan



Gambar 11.1: Skema Strategi Peningkatan Kapasitas Kelembagaan, menunjukkan alur koordinasi vertikal dari BNPB hingga ke tingkat desa serta integrasi relawan lokal dalam struktur komando kedaruratan.

11.1.1 Formalisasi Peran Desa dalam Sistem Peringatan Dini Nasional

Pemerintah desa merupakan entitas administratif yang berada di garis terdepan dalam menghadapi ancaman tsunami, namun secara ironis sering kali menjadi titik terlemah dalam rantai komando peringatan dini nasional. Pratama dan Yuliana (2022) mengartikulasikan bahwa selama ini, desa lebih banyak diposisikan sebagai penerima instruksi pasif dari kabupaten/kota, tanpa diberikan kewenangan otonom untuk mengambil keputusan taktis saat krisis terjadi. Untuk membongkar paradigma sentralistik ini, rekomendasi kebijakan pertama yang harus dieksekusi adalah formalisasi peran desa secara legal ke dalam arsitektur *Tsunami Early Warning System* (TEWS) nasional. Formalisasi ini berarti mengakui kepala desa dan perangkatnya sebagai manajer krisis tingkat pertama yang memiliki otoritas penuh untuk mengaktifkan evakuasi tanpa harus menunggu birokrasi dari atas.

Langkah formalisasi ini harus diikuti dengan restrukturisasi kelembagaan di tingkat desa melalui pembentukan unit pelaksana teknis kebencanaan yang permanen. Pratama dan Yuliana (2022) merekomendasikan agar setiap desa di kawasan rawan tsunami diwajibkan memiliki Satuan Tugas

(Satgas) Mitigasi yang di-SK-kan secara resmi oleh kepala desa. Satgas ini tidak boleh hanya bersifat *ad-hoc* atau dibentuk saat masa tanggap darurat saja, melainkan harus beroperasi sepanjang tahun untuk melakukan pemantauan risiko, merawat alat komunikasi tradisional, dan menyelenggarakan simulasi. Dengan adanya legalitas formal, Satgas ini memiliki landasan hukum yang kuat untuk menyusun Rencana Kontinjensi Desa yang mengikat seluruh warga.

Lebih jauh, formalisasi peran desa menuntut adanya desentralisasi fiskal yang terarah. Pratama dan Yuliana (2022) menekankan bahwa pemerintah pusat melalui Kementerian Desa, Pembangunan Daerah Tertinggal, dan Transmigrasi harus menerbitkan regulasi turunan yang secara eksplisit mewajibkan alokasi persentase tertentu dari Dana Desa untuk belanja modal dan operasional peringatan dini. Dana ini dapat digunakan untuk membangun menara kentongan elektrik, membeli radio komunikasi (HT) untuk ketua RT, atau membiayai logistik simulasi evakuasi. Melalui otonomi kelembagaan dan kemandirian finansial ini, desa akan bertransformasi dari sekadar titik rawan menjadi benteng resiliensi yang tangguh.

11.1.2 Program Pelatihan Teknis Berkelanjutan bagi Operator dan Relawan

Kecanggihan infrastruktur peringatan dini hibrida tidak akan memberikan dampak mitigasi yang optimal apabila tidak dioperasikan oleh sumber daya manusia yang memiliki kompetensi teknis dan ketahanan psikologis yang mumpuni. Salah satu penyakit birokrasi yang sering menghinggapi lembaga penanggulangan bencana di daerah adalah tingginya tingkat mutasi pegawai (*turnover rate*), di mana operator Pusdalops yang telah dilatih sering kali dipindahtugaskan ke dinas lain, meninggalkan kekosongan keahlian yang fatal. Untuk mengatasi degradasi kapasitas ini, diperlukan pelembagaan program pelatihan teknis yang bersifat berkelanjutan (*continuous capacity building*), bukan sekadar proyek pelatihan insidental yang berorientasi pada penyerapan anggaran.

Program pelatihan berkelanjutan ini harus dirancang dengan kurikulum yang berjenjang dan tersertifikasi. Pratama dan Yuliana (2022) memaparkan bahwa operator BPBD dan relawan desa harus menerima

pelatihan yang mencakup pemahaman literasi seismologi dasar, pengoperasian perangkat *Warning Receiver System* (WRS), hingga teknik komunikasi krisis menggunakan radio amatir. Selain itu, pelatihan juga harus menyentuh aspek perbaikan ringan (*troubleshooting*) perangkat keras, sehingga teknisi lokal mampu mengatasi gangguan minor pada sirene atau kentongan elektrik tanpa harus menunggu kedatangan vendor dari pusat. Sertifikasi kompetensi ini dapat dikelola oleh Badan Nasional Sertifikasi Profesi (BNSP) bekerja sama dengan BNPB untuk menjamin standar kualitas lulusan.

Di tingkat komunitas, pelatihan bagi relawan lokal harus mengadopsi pendekatan andragogi (pembelajaran orang dewasa) yang lebih banyak menitikberatkan pada praktik lapangan dibandingkan teori di dalam kelas. Pratama dan Yuliana (2022) menyoroti pentingnya metode *Training of Trainers* (ToT), di mana tokoh pemuda atau kader desa yang cerdas secara digital dilatih secara intensif agar mereka dapat mentransfer pengetahuan tersebut kepada warga lainnya. Pemerintah daerah juga perlu memberikan insentif non-finansial, seperti piagam penghargaan, akses asuransi kesehatan, atau seragam resmi, untuk menjaga moral dan loyalitas para relawan ini. Melalui investasi sistematis pada kapasitas manusia, keandalan sistem peringatan dini dapat dijaga melampaui usia pakai perangkat teknologinya.

11.1.3 Pengembangan SOP Diseminasi yang Inklusif dan Adaptif

Standar Operasional Prosedur (SOP) merupakan instrumen regulatif yang mendikte denyut nadi operasi peringatan dini. Namun, banyak SOP di tingkat daerah yang saat ini berlaku masih bersifat kaku, usang, dan merupakan hasil *copy-paste* dari dokumen pusat tanpa penyesuaian dengan realitas lokal. Rekomendasi kebijakan yang mendesak adalah melakukan kaji ulang dan pengembangan SOP diseminasi agar lebih inklusif dan adaptif terhadap dinamika ancaman kontemporer. SOP yang adaptif berarti dokumen tersebut memiliki klausul fleksibilitas yang memungkinkan operator untuk mengambil diskresi taktis ketika dihadapkan pada anomali yang tidak terprediksi, seperti matinya seluruh jaringan listrik sesaat sebelum peringatan BMKG masuk.

Pengembangan SOP yang inklusif menuntut pengarusutamaan perspektif kerentanan (*vulnerability mainstreaming*) ke dalam setiap pasal prosedural. Pratama dan Yuliana (2022) menjelaskan bahwa SOP diseminasi tidak boleh berasumsi bahwa seluruh masyarakat memiliki kemampuan fisik dan kognitif yang sama dalam merespons alarm. Harus ada protokol khusus yang mengatur bagaimana informasi bahaya didiseminasikan kepada kelompok penyandang disabilitas, lansia yang hidup sendiri, atau pasien di fasilitas kesehatan pesisir. Misalnya, SOP mewajibkan aktivasi alarm visual (lampu strobo) bersamaan dengan alarm audio, serta menugaskan unit relawan spesifik untuk langsung memverifikasi proses evakuasi di panti jompo atau sekolah luar biasa segera setelah status "Awat" diumumkan.

Selain itu, SOP harus secara eksplisit melegitimasi penggunaan instrumen kearifan lokal sebagai bagian dari rantai komando resmi. Pratama dan Yuliana (2022) menegaskan bahwa prosedur aktivasi kentongan, pemukulan bedug darurat di masjid, dan penggunaan sandi suara lokal harus dicantumkan secara tertulis dalam dokumen SOP bupati/wali kota. Dokumen ini juga harus mengatur batas waktu maksimal (*service level agreement*) bagi setiap simpul komunikasi untuk meneruskan pesan, serta menetapkan mekanisme pelaporan balik (*feedback loop*) dari desa ke kabupaten. Dengan SOP yang komprehensif, inklusif, dan berakar pada realitas kultural ini, kebingungan yurisdiksi pada saat krisis dapat dieliminasi secara total.

11.2 Revitalisasi Kearifan Lokal dalam Kebijakan Publik

Kearifan lokal dalam mitigasi bencana selama ini sering kali terjebak dalam ruang marginal, diperlakukan sekadar sebagai artefak antropologis atau daya tarik pariwisata budaya. Agar pengetahuan tradisional ini dapat berfungsi sebagai perisai keselamatan yang nyata, ia harus diekstraksi dari ranah informal dan diinjeksikan ke dalam jantung kebijakan publik. Revitalisasi kearifan lokal menuntut adanya kemauan politik (*political will*) dari pemerintah untuk mengakui bahwa epistemologi tradisional memiliki validitas yang setara dengan sains modern dalam konteks penyelamatan jiwa.

Transformasi kearifan lokal menjadi instrumen kebijakan publik memerlukan pendekatan yang sistematis, mulai dari integrasi ke dalam sistem pendidikan, pemberian insentif bagi para pelestarinya, hingga pengakuan legal-formal dalam lembaran daerah. Tanpa adanya intervensi regulatif ini, warisan intelektual leluhur akan terus tergerus oleh arus modernisasi dan akhirnya punah bersamaan dengan berpulangnya para sesepuh desa.

11.2.1 Integrasi Konten Lokal dalam Kurikulum Pendidikan Formal dan Informal

Sekolah merupakan institusi sosialisasi primer yang paling efektif untuk merekayasa budaya sadar bencana pada generasi penerus. Namun, kurikulum pendidikan nasional sering kali menyajikan materi kebencanaan yang sangat sentralistik dan teoretis, mengabaikan kekayaan narasi lokal yang sebenarnya lebih relevan dengan lingkungan siswa. Mulyani dan Arifin (2024) mengartikulasikan bahwa rekomendasi kebijakan yang paling strategis adalah mewajibkan integrasi konten kearifan lokal ke dalam kurikulum pendidikan formal (mulai dari tingkat dasar hingga menengah atas) melalui mata pelajaran Muatan Lokal (Mulok) atau diintegrasikan secara lintas disiplin ke dalam mata pelajaran geografi, sosiologi, dan bahasa daerah.

Secara pedagogis, integrasi ini berarti membawa mitos, legenda, dan sejarah kebencanaan lokal ke dalam ruang kelas untuk dibedah secara rasional. Mulyani dan Arifin (2024) mencontohkan bahwa siswa di pesisir selatan Jawa harus diajarkan untuk mendekodekan makna saintifik di balik mitos Nyi Roro Kidul, sementara siswa di Simeulue mendalami epistemologi *Smong*. Guru-guru harus dilatih untuk menggunakan metode *storytelling* (bercerita) dan simulasi teatrikal yang mengadopsi kesenian tradisional setempat. Dengan mempelajari kearifan lokal ini di bangku sekolah, generasi muda tidak akan lagi memandang tradisi leluhur mereka sebagai takhayul yang terbelakang, melainkan sebagai ilmu pengetahuan ekologis yang sangat canggih pada zamannya.

Di ranah pendidikan informal, kebijakan pemerintah daerah harus menysar pada penguatan komunitas-komunitas pemuda, karang taruna, dan sanggar seni. Mulyani dan Arifin (2024) merekomendasikan pendirian

pusat-pusat literasi kebencanaan di balai desa yang menyediakan arsip digital mengenai sejarah gempa dan tsunami lokal. Pemerintah juga dapat memfasilitasi program "Sowan Sesepuh", di mana mahasiswa atau pemuda desa secara rutin mendokumentasikan kesaksian para penyintas bencana masa lalu dalam bentuk *podcast* atau video dokumenter. Melalui sinergi antara pendidikan formal yang terstruktur dan pendidikan informal yang organik, transmisi pengetahuan lokal dapat direvitalisasi dan dijaga keberlanjutannya.

11.2.2 Insentif bagi Komunitas yang Melestarikan Tradisi Mitigasi Bencana

Pelestarian kearifan lokal bukanlah sebuah upaya yang terjadi secara otomatis; ia membutuhkan dedikasi, waktu, dan sumber daya dari individu atau kelompok masyarakat yang peduli. Di tengah tekanan ekonomi yang mengharuskan warga pesisir untuk fokus pada pemenuhan kebutuhan hidup sehari-hari, aktivitas pelestarian budaya sering kali dikesampingkan. Santoso dan Sari (2022) memaparkan bahwa pemerintah tidak dapat hanya mengandalkan kesukarelaan (*volunteerism*) warga secara terus-menerus. Oleh karena itu, diperlukan kebijakan afirmatif berupa pemberian insentif ekonomi dan sosial bagi komunitas, sanggar seni, atau desa yang secara aktif merawat tradisi mitigasi bencana.

Insentif ekonomi dapat diwujudkan melalui skema Bantuan Keuangan Khusus (BKK) dari pemerintah provinsi atau kabupaten kepada desa-desa yang berhasil mengintegrasikan kearifan lokal ke dalam sistem peringatan dininya. Santoso dan Sari (2022) menjelaskan bahwa dana hibah ini dapat digunakan oleh desa untuk merevitalisasi pos-pos ronda, merawat instrumen kentongan/bedug, atau mensponsori pementasan teater rakyat bertema kebencanaan. Selain itu, pemerintah dapat memberikan beasiswa pendidikan bagi anak-anak dari tokoh adat atau seniman lokal yang mendedikasikan hidupnya untuk mengedukasi masyarakat mengenai tanda-tanda alam tradisional. Insentif finansial ini memberikan sinyal kuat bahwa negara menghargai dan mengapresiasi kontribusi kultural mereka.

Di sisi lain, insentif sosial dan rekognisi publik juga memiliki dampak psikologis yang sangat besar. Santoso dan Sari (2022) merekomendasikan penyelenggaraan ajang penghargaan tahunan (misalnya *Local Wisdom for*

Resilience Award) di tingkat nasional maupun daerah untuk memberikan panggung kehormatan bagi para pahlawan mitigasi kultural ini. Pengakuan dari otoritas negara akan meningkatkan status sosial para pelestari tradisi di mata komunitasnya, sekaligus memotivasi desa-desa lain untuk mereplikasi praktik baik tersebut. Melalui kombinasi insentif material dan immaterial ini, ekosistem pelestarian kearifan lokal akan tumbuh menjadi sebuah gerakan sosial yang masif dan mandiri.

11.2.3 Legalitas Penggunaan Alat Tradisional dalam Regulasi Daerah

Hambatan terbesar dalam mengoperasionalkan sistem peringatan dini hibrida adalah ketiadaan payung hukum yang secara eksplisit mengakui alat komunikasi tradisional sebagai instrumen mitigasi resmi negara. Dalam hierarki birokrasi yang kaku, tindakan evakuasi yang dipicu oleh bunyi kentongan sering kali dianggap tidak memiliki dasar hukum, sehingga jika terjadi kesalahan (misalnya *false alarm*), pihak yang membunyikan dapat disalahkan. Santoso dan Sari (2022) menegaskan bahwa untuk memberikan kepastian hukum dan perlindungan bagi relawan di lapangan, pemerintah daerah wajib menerbitkan Peraturan Daerah (Perda) atau Peraturan Bupati/Wali Kota (Perbup/Perwali) yang melegitimasi penggunaan alat tradisional tersebut.

Regulasi daerah ini harus mendefinisikan secara rigid status hukum dari instrumen seperti kentongan, bedug, atau lonceng gereja ketika digunakan dalam konteks kedaruratan. Santoso dan Sari (2022) memaparkan bahwa Perda tersebut harus memuat pasal yang menyetarakan kekuatan instruksional dari sandi ketukan tradisional (misalnya *titir*) dengan bunyi sirene elektronik milik BPBD. Artinya, ketika kentongan darurat dibunyikan berdasarkan indikasi alam yang kuat atau instruksi radio HT, masyarakat memiliki kewajiban hukum yang sama untuk mematuhi. Legalitas ini sangat penting untuk meruntuhkan keraguan warga yang sering kali menunggu konfirmasi dari pengeras suara pemerintah sebelum bersedia mengevakuasi diri.

Lebih jauh, regulasi ini juga harus mengatur mekanisme perlindungan terhadap infrastruktur kultural tersebut. Santoso dan Sari (2022) menyoroti perlunya pasal-pasal yang memberikan sanksi administratif atau pidana ringan bagi pihak-pihak yang melakukan vandalisme,

pencurian, atau penyalahgunaan alat komunikasi tradisional yang telah ditetapkan sebagai aset mitigasi desa. Dengan mengikat kearifan lokal ke dalam lembaran hukum negara, pemerintah daerah tidak hanya melestarikan warisan budaya, tetapi juga menciptakan sistem pertahanan sipil yang memiliki legitimasi ganda: diakui secara kultural oleh masyarakat dan dilindungi secara legal oleh konstitusi.

11.3 Model Kolaborasi Pentahelix untuk Mitigasi Bencana

Kompleksitas ancaman bencana tsunami di era modern, yang diperparah oleh dinamika perubahan iklim dan kerentanan demografis pesisir, membuktikan bahwa negara tidak lagi dapat memonopoli tanggung jawab mitigasi. Paradigma *state-centric* (berpusat pada negara) yang menempatkan pemerintah sebagai aktor tunggal penyedia keamanan telah terbukti tidak memadai, baik dari segi kapasitas fiskal, jangkauan operasional, maupun penetrasi kultural. Oleh karena itu, tata kelola bencana kontemporer menuntut pergeseran menuju pendekatan tata kelola kolaboratif (*collaborative governance*), di mana beban dan tanggung jawab didistribusikan secara proporsional melintasi batas-batas sektoral.

Model kolaborasi Pentahelix muncul sebagai kerangka kerja konseptual dan operasional yang paling komprehensif untuk menjawab tantangan tersebut. Model ini mengorkestrasi lima pilar utama-Pemerintah, Sektor Swasta, Masyarakat, Akademisi, dan Media-ke dalam sebuah ekosistem kemitraan yang simetris dan saling menguntungkan. Dalam arsitektur peringatan dini hibrida, sinergi kelima aktor ini bukan sekadar jargon administratif, melainkan prasyarat mutlak untuk memastikan bahwa inovasi teknologi dapat dikawinkan dengan kearifan lokal, didanai secara berkelanjutan, dan didiseminasikan secara masif ke seluruh lapisan masyarakat.



Gambar 11.2: Model Kolaborasi Pentahelix dalam Mitigasi Bencana, mengilustrasikan sinergi interaktif antara Pemerintah, Swasta, Masyarakat, Akademisi, dan Media dalam membangun ekosistem peringatan dini hibrida.

11.3.1 Peran Akademisi dalam Riset, Inovasi, dan Transfer Pengetahuan

Dalam ekosistem Pentahelix, perguruan tinggi dan lembaga penelitian (akademisi) menduduki posisi strategis sebagai dapur produksi pengetahuan (*knowledge producer*) dan motor penggerak inovasi. Rahman dan Susanto (2024) mengartikulasikan bahwa kebijakan mitigasi yang efektif harus selalu dilandasi oleh bukti empiris (*evidence-based policy*), bukan sekadar asumsi birokratis. Akademisi bertanggung jawab untuk menyediakan landasan saintifik tersebut melalui riset-riset multidisiplin, mulai dari pemodelan oseanografi untuk memprediksi tinggi genangan tsunami, pemetaan kerentanan sosial-ekonomi masyarakat pesisir, hingga kajian antropologis mengenai efektivitas kearifan lokal. Data dan analisis komprehensif yang dihasilkan oleh kaum intelektual ini berfungsi sebagai kompas navigasi bagi pemerintah daerah dalam merumuskan regulasi tata ruang dan menentukan titik penempatan infrastruktur peringatan dini yang paling presisi.

Selain produksi data, akademisi memegang peranan krusial dalam rekayasa teknologi tepat guna yang menjembatani kesenjangan antara

sistem modern dan tradisi lokal. Rahman dan Susanto (2024) menyoroti bahwa inovasi seperti rancang bangun kentongan elektrik, aplikasi peringatan dini berbahasa daerah, atau sistem sensor *tide gauge* berbiaya rendah (*low-cost sensors*) umumnya lahir dari laboratorium-laboratorium kampus. Para peneliti dan mahasiswa teknik memiliki kapasitas untuk mendekonstruksi teknologi impor yang mahal dan merakit ulang versi lokalnya menggunakan komponen yang mudah didapat di pasar domestik. Inovasi teknologi hibrida ini tidak hanya menghemat devisa negara, tetapi juga memastikan bahwa perangkat mitigasi tersebut sesuai dengan karakteristik iklim tropis dan kapasitas pemeliharaan di tingkat desa.

Lebih jauh, peran akademisi tidak boleh berhenti pada publikasi jurnal di menara gading, melainkan harus diwujudkan melalui transfer pengetahuan (*knowledge transfer*) secara langsung kepada masyarakat. Rahman dan Susanto (2024) menekankan pentingnya optimalisasi program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Tematik Kebencanaan atau program pengabdian kepada masyarakat. Melalui program ini, sivitas akademika turun langsung ke desa-desa pesisir untuk melatih relawan lokal dalam mengoperasikan radio komunikasi, mendampingi warga menyusun peta evakuasi partisipatif, dan mengedukasi perangkat desa mengenai manajemen dana darurat. Sinergi intelektual ini secara efektif membongkar asimetri informasi, memberdayakan komunitas akar rumput dengan literasi saintifik yang mereka butuhkan untuk menjadi subjek aktif dalam perlindungan diri mereka sendiri.

11.3.2 Peran Media dalam Edukasi Publik dan Diseminasi Cepat Informasi

Media massa-baik cetak, elektronik, maupun platform digital-merupakan pilar Pentahelix yang memiliki daya amplifikasi paling masif dalam membentuk persepsi dan perilaku masyarakat. Wibisono dan Fitri (2023) memaparkan bahwa dalam fase prabencana, media berfungsi sebagai agen edukasi publik yang bertugas merawat kewaspadaan kolektif (*collective awareness*). Melalui jurnalisme bencana (*disaster journalism*) yang komprehensif, media dapat memproduksi liputan investigatif mengenai kondisi infrastruktur sirene yang terbengkalai, menyiarkan film dokumenter tentang sejarah tsunami lokal, atau mempublikasikan kolom opini dari para ahli kebencanaan. Paparan informasi yang konsisten dan

terukur ini sangat vital untuk mencegah masyarakat pesisir terjangkau amnesia bencana, memastikan bahwa ancaman *megathrust* tetap menjadi agenda prioritas dalam diskursus publik.

Pada saat krisis terjadi (fase tanggap darurat), peran media bertransformasi menjadi saluran diseminasi peringatan dini yang paling kritis. Wibisono dan Fitri (2023) menjelaskan bahwa stasiun televisi dan radio lokal harus terintegrasi secara langsung dengan sistem *Warning Receiver System* (WRS) milik BMKG. Ketika status bahaya diterbitkan, media memiliki kewajiban moral dan legal untuk segera menginterupsi siaran reguler mereka (*broadcast override*) guna menyiarkan pesan evakuasi. Kecepatan media dalam memotong rantai birokrasi informasi ini sering kali menjadi penentu utama keselamatan warga yang mungkin tidak terjangkau oleh suara sirene di luar ruangan. Penggunaan *running text* (teks berjalan) berwarna merah di layar televisi atau siaran suara darurat di radio mobil terbukti sangat efektif dalam memicu refleks penyelamatan massal.

Tantangan terbesar bagi media di era pasca-kebenaran (*post-truth*) adalah mengelola arus informasi di tengah maraknya disinformasi dan hoaks yang menyebar melalui media sosial. Wibisono dan Fitri (2023) menegaskan bahwa media arus utama harus memposisikan diri sebagai *clearing house* (pusat verifikasi) yang meluruskan rumor-rumor menyesatkan, seperti prediksi palsu mengenai waktu terjadinya gempa susulan atau klaim tidak berdasar mengenai surutnya air laut di pantai tertentu. Redaksi media harus memiliki Standar Operasional Prosedur (SOP) peliputan bencana yang ketat, menghindari jurnalisme sensasional yang mengeksploitasi kepanikan korban, dan secara disiplin hanya mengutip pernyataan dari otoritas resmi (BMKG/BNPB). Melalui integritas jurnalistik ini, media menjaga ekosistem informasi tetap jernih, rasional, dan berorientasi pada keselamatan jiwa.

11.3.3 Sinergi Pemerintah-Swasta-Masyarakat dalam Pendanaan dan Implementasi

Sinergi tripartit antara Pemerintah, Sektor Swasta, dan Masyarakat merupakan mesin penggerak utama dalam mengeksekusi dan mendanai program mitigasi di lapangan. Hidayat dan Kusuma (2023)

mengartikulasikan bahwa pemerintah (pusat dan daerah) bertindak sebagai dirigen orkestrasi (*orchestrator*) yang merumuskan regulasi, menetapkan standar teknis, dan menyediakan payung hukum bagi kolaborasi. Pemerintah juga memikul tanggung jawab untuk mengalokasikan Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah (APBD) sebagai stimulus awal (*seed funding*) bagi pembangunan infrastruktur peringatan dini dasar. Namun, mengingat keterbatasan ruang fiskal negara, pemerintah harus secara proaktif membuka pintu kemitraan strategis dengan entitas non-negara untuk menutup defisit pembiayaan dan operasional.

Sektor swasta, khususnya korporasi yang memiliki aset atau rantai pasok di kawasan pesisir (seperti industri perikanan, pelabuhan komersial, perhotelan, dan telekomunikasi), memiliki kepentingan langsung (*vested interest*) untuk memastikan ketangguhan wilayah tersebut. Hidayat dan Kusuma (2023) menyoroti bahwa kontribusi swasta tidak boleh direduksi sekadar sebagai donatur karitatif pasca-bencana, melainkan harus diintegrasikan ke dalam investasi mitigasi prabencana melalui skema *Corporate Social Responsibility* (CSR) yang terarah. Perusahaan telekomunikasi dapat menyumbangkan *bandwidth* gratis untuk transmisi data sensor tsunami; pihak perhotelan dapat membangun gedung mereka dengan standar *shelter* evakuasi vertikal yang terbuka untuk warga sekitar; sementara industri manufaktur dapat mendanai pengadaan dan pemeliharaan kantong elektrik di desa-desa penyangga (*buffer villages*).

Di ujung tombak implementasi, masyarakat lokal berposisi sebagai pemilik sejati (*ultimate owner*) dari sistem peringatan dini tersebut. Hidayat dan Kusuma (2023) menjelaskan bahwa tanpa adanya penerimaan dan partisipasi aktif dari warga, investasi triliunan rupiah dari pemerintah dan swasta akan menjadi sia-sia. Masyarakat berkontribusi melalui penyediaan lahan komunal untuk penempatan alat, pengerahan tenaga sukarela dalam pemeliharaan fisik infrastruktur, serta pelestarian kearifan lokal yang menjadi perangkat lunak (*software*) dari sistem hibrida. Sinergi yang setara antara otoritas regulatif pemerintah, kekuatan kapital swasta, dan ketangguhan kultural masyarakat inilah yang menciptakan ekosistem mitigasi yang kebal terhadap guncangan finansial maupun guncangan tektonik.

11.4 Rencana Aksi (Roadmap) Mitigasi Jangka Panjang

Transformasi menuju masyarakat pesisir yang tangguh tsunami tidak dapat dicapai melalui proyek-proyek reaktif yang berumur pendek. Ia menuntut adanya sebuah Rencana Aksi (*Roadmap*) jangka panjang yang terstruktur, terukur, dan mengikat secara institusional lintas periode pemerintahan. Tanpa adanya *roadmap* yang jelas, pergantian kepemimpinan politik di tingkat daerah sering kali berujung pada terhentinya program mitigasi yang sedang berjalan, mengakibatkan pemborosan anggaran dan kemunduran kapasitas kesiapsiagaan.

Roadmap mitigasi berfungsi sebagai dokumen panduan strategis yang memecah visi besar ketangguhan menjadi tahapan-tahapan implementasi yang realistis. Dokumen ini harus dilengkapi dengan Indikator Kinerja Utama (KPI) yang objektif untuk mengevaluasi progres, strategi replikasi untuk memperluas dampak keberhasilan, serta mekanisme pengawasan partisipatif untuk menjamin akuntabilitas. Melalui perencanaan yang visioner ini, sistem peringatan dini hibrida dapat dilembagakan secara permanen ke dalam DNA pembangunan nasional.

11.4.1 Tahapan Implementasi Sistem Hibrida (Jangka Pendek, Menengah, Panjang)

Penyusunan *roadmap* implementasi sistem peringatan dini hibrida harus dibagi ke dalam tiga horizon waktu yang saling berkesinambungan. Nugroho dan Wibowo (2025) memaparkan bahwa fase Jangka Pendek (1-2 tahun pertama) harus difokuskan pada konsolidasi kelembagaan dan optimalisasi aset yang sudah ada (*quick wins*). Pada fase ini, pemerintah daerah memprioritaskan audit menyeluruh terhadap kondisi sirene eksisting, pembentukan Satgas Mitigasi di tingkat desa, serta penyusunan Standar Operasional Prosedur (SOP) yang melegitimasi penggunaan alat komunikasi tradisional. Selain itu, program pelatihan dasar bagi relawan lokal dan simulasi evakuasi skala kecil mulai dirutinkan. Target utama fase ini adalah memastikan bahwa rantai komando dasar telah terbentuk dan tidak ada lagi kebingungan yurisdiksi di lapangan.

Memasuki fase Jangka Menengah (3-5 tahun), fokus intervensi bergeser pada integrasi teknologi dan revitalisasi kultural secara masif. Nugroho dan Wibowo (2025) menjelaskan bahwa pada tahap ini, pengadaan dan

instalasi teknologi hibrida-seperti kantong elektrik, integrasi *receiver* BMKG dengan pengeras suara masjid, dan pengembangan aplikasi peringatan berbahasa daerah-mulai dieksekusi secara luas. Secara paralel, pemerintah daerah meresmikan kurikulum muatan lokal kebencanaan di sekolah-sekolah dan memfasilitasi pemetaan jalur evakuasi partisipatif berbasis GIS. Fase ini juga ditandai dengan mulai berjalannya skema pendanaan kolaboratif dari sektor swasta (CSR) dan alokasi Dana Desa yang spesifik untuk pemeliharaan infrastruktur mitigasi di tingkat tapak.

Pada fase Jangka Panjang (5-10 tahun), target yang ingin dicapai adalah kemandirian absolut dan interoperabilitas sistem berskala regional. Nugroho dan Wibowo (2025) menyoroti bahwa pada tahap ini, sistem peringatan dini hibrida di tingkat desa telah beroperasi secara otonom dan terintegrasi penuh dengan arsitektur *Smart City* di tingkat kabupaten/kota. Penggunaan Kecerdasan Buatan (AI) untuk analisis data cepat telah menjadi standar operasional di Pusdalops. Budaya sadar bencana telah terinternalisasi secara sempurna ke dalam gaya hidup masyarakat pesisir, di mana kearifan lokal dan teknologi modern berdampingan secara harmonis tanpa friksi. Fase ini menandai transisi dari fase "membangun ketangguhan" menjadi fase "merawat peradaban yang tangguh".

11.4.2 Indikator Keberhasilan (KPI) Ketangguhan Komunitas dan Desa

Untuk memastikan bahwa *roadmap* implementasi berjalan sesuai dengan lintasan yang direncanakan, diperlukan penetapan Indikator Kinerja Utama (*Key Performance Indicators* - KPI) yang terukur, objektif, dan komprehensif. Nugroho dan Wibowo (2025) menegaskan bahwa evaluasi keberhasilan program mitigasi tidak boleh lagi hanya didasarkan pada metrik penyerapan anggaran atau jumlah alat yang dibeli (indikator *output*), melainkan harus bergeser pada pengukuran dampak nyata terhadap kesiapsiagaan masyarakat (indikator *outcome*). KPI ini berfungsi sebagai instrumen diagnostik bagi pengambil kebijakan untuk mengidentifikasi kelemahan sistem dan melakukan intervensi korektif secara tepat waktu.

Indikator kuantitatif merupakan parameter pertama yang harus dipenuhi dalam kerangka KPI. Nugroho dan Wibowo (2025) merinci beberapa metrik esensial, antara lain: persentase penurunan waktu respons

(*response time*) dari saat peringatan BMKG diterima hingga sirene lokal/kentongan dibunyikan (target ideal di bawah 3 menit); persentase populasi pesisir yang terjangkau oleh radius suara peringatan (target 100% *coverage*); serta jumlah relawan desa yang telah tersertifikasi kompetensi kebencanaan. Selain itu, indikator finansial juga harus diukur, seperti persentase peningkatan alokasi Dana Desa untuk mitigasi bencana setiap tahunnya, serta jumlah kemitraan CSR yang berhasil direalisasikan untuk mendukung pemeliharaan infrastruktur peringatan dini.

Di sisi lain, indikator kualitatif memegang peranan yang sama pentingnya untuk mengukur dimensi sosiologis dari ketangguhan komunitas. Nugroho dan Wibowo (2025) menjelaskan bahwa parameter ini mencakup tingkat kepercayaan publik terhadap sistem peringatan dini resmi (diukur melalui survei persepsi berkala), sejauh mana kearifan lokal dan bahasa daerah benar-benar diakomodasi dalam media edukasi, serta tingkat inklusivitas infrastruktur evakuasi bagi kelompok rentan (penyandang disabilitas, lansia, dan perempuan). Pencapaian target pada kedua dimensi KPI ini akan menjadi syarat mutlak bagi sebuah desa untuk mendapatkan sertifikasi resmi sebagai "Desa Tangguh Bencana (Destana) Paripurna" dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana.

11.4.3 Strategi Replikasi Model Keberhasilan untuk Wilayah Pesisir Lain

Indonesia memiliki garis pantai terpanjang kedua di dunia, membentang melintasi ribuan desa pesisir yang memiliki profil kerentanan serupa. Oleh karena itu, inovasi sistem peringatan dini hibrida yang terbukti berhasil di satu wilayah percontohan (*pilot project*) harus dirancang agar dapat direplikasi secara masif ke wilayah lain. Nugroho dan Wibowo (2025) memaparkan bahwa strategi replikasi ini merupakan kunci untuk mencapai efisiensi anggaran nasional, mencegah setiap daerah melakukan eksperimen coba-coba (*trial and error*) yang memakan biaya besar dan waktu yang lama. Replikasi memastikan bahwa praktik terbaik (*best practices*) dapat didistribusikan secara merata, menciptakan standar ketangguhan yang homogen di seluruh pesisir nusantara.

Langkah pertama dalam strategi replikasi adalah standardisasi kerangka kerja inti (*core framework standardization*). Nugroho dan Wibowo (2025) menjelaskan bahwa pemerintah pusat melalui BNPB harus menyusun

modul panduan teknis yang merangkum arsitektur dasar sistem hibrida, spesifikasi minimum perangkat keras (seperti modul kentongan elektrik), dan draf kerangka hukum (Perda) yang dapat diadopsi oleh daerah lain. Namun, standardisasi ini harus tetap menyisakan ruang fleksibilitas yang luas bagi kustomisasi kultural. Daerah yang mereplikasi model ini diwajibkan untuk menyesuaikan antarmuka bahasa, jenis alat tradisional, dan narasi edukasi sesuai dengan kearifan lokal masing-masing, memastikan bahwa sistem tersebut tidak terasa asing bagi masyarakat penerimanya.

Untuk mempercepat proses difusi inovasi ini, pemerintah perlu membangun platform berbagi pengetahuan (*knowledge-sharing platform*) berskala nasional. Nugroho dan Wibowo (2025) merekomendasikan pembentukan forum komunikasi antar-kepala daerah pesisir dan jambore relawan kebencanaan tahunan. Melalui wadah ini, desa-desa yang telah sukses mengimplementasikan sistem hibrida dapat bertindak sebagai mentor (*peer-to-peer mentoring*) bagi desa-desa yang baru akan memulai. Selain itu, pemerintah pusat dapat menerapkan skema insentif fiskal, seperti penambahan Dana Alokasi Khusus (DAK), bagi kabupaten/kota yang berhasil mereplikasi dan memodifikasi model peringatan dini hibrida ini dengan tingkat keberhasilan yang terukur.

11.4.4 Pengawasan dan Evaluasi Berkala Berbasis Partisipasi Warga

Rantai terakhir dari siklus kebijakan publik adalah mekanisme pengawasan dan evaluasi (*monitoring and evaluation*). Dalam paradigma tata kelola tradisional, evaluasi sering kali dilakukan secara eksklusif oleh inspektorat internal pemerintah atau auditor independen yang hanya berfokus pada kepatuhan administratif dan kewajaran laporan keuangan. Nugroho dan Wibowo (2025) mengkritik pendekatan elitis ini karena gagal menangkap realitas operasional di lapangan. Untuk menjamin akuntabilitas dan efektivitas sistem peringatan dini hibrida, mekanisme pengawasan harus didemokratisasi melalui pelibatan partisipasi warga secara langsung (*citizen-based monitoring*).

Pengawasan partisipatif menempatkan masyarakat lokal-sebagai pengguna akhir (*end-users*) dan pihak yang paling terdampak-sebagai auditor utama terhadap kinerja sistem mitigasi di desa mereka. Nugroho

dan Wibowo (2025) menjelaskan bahwa pemerintah daerah harus menyediakan saluran pengaduan publik yang mudah diakses, baik melalui aplikasi ponsel pintar, *SMS center*, maupun kotak saran di balai desa. Melalui saluran ini, warga dapat melaporkan secara *real-time* jika menemukan sirene yang tidak berbunyi saat uji coba bulanan, rambu evakuasi yang rusak, atau jalur penyelamatan yang terhalang oleh bangunan baru. Laporan dari warga ini harus diintegrasikan langsung ke dalam dasbor Pusdalops untuk segera ditindaklanjuti oleh tim teknis pemeliharaan.

Selain pengawasan insidental, evaluasi berkala harus dilembagakan melalui forum musyawarah desa atau *town hall meeting* yang diselenggarakan pasca-pelaksanaan simulasi evakuasi rutin. Nugroho dan Wibowo (2025) menyoroti bahwa forum ini menjadi ruang dialogis di mana warga, relawan, dan otoritas pemerintah duduk bersama untuk membedah kelemahan sistem secara transparan. Apakah pesan dari *speaker* masjid terdengar jelas? Apakah rute evakuasi terlalu gelap? Apakah kelompok rentan berhasil dievakuasi tepat waktu? Umpan balik kualitatif dari masyarakat ini kemudian dijadikan dasar empiris untuk merevisi SOP, memperbaiki infrastruktur, dan menyempurnakan strategi komunikasi risiko pada siklus perencanaan tahun berikutnya.

Tabel 11.1 Matriks Rencana Aksi dan Indikator Kinerja Utama (KPI) Sistem Peringatan Dini Hibrida

Fase Waktu	Fokus Intervensi Strategis	Aktor Utama (Pentahelix)	Indikator Keberhasilan (KPI)
Jangka Pendek (1-2 Tahun)	Formalisasi peran desa, penyusunan SOP adaptif, pelatihan dasar relawan.	Pemerintah (BPBD, Desa), Akademisi.	Terbitnya SK Satgas Desa; Waktu aktivasi peringatan lokal < 3 menit.
Jangka Menengah (3-5 Tahun)	Instalasi teknologi hibrida (kentongan elektrik), integrasi kurikulum lokal.	Swasta (CSR), Masyarakat, Media.	100% cakupan radius suara di zona merah; Penurunan <i>false</i>

			<i>alarm.</i>
Jangka Panjang (5-10 Tahun)	Kemandirian pendanaan, integrasi <i>Smart City</i> , replikasi model ke daerah lain.	Seluruh Pilar Pentahelix.	Alokasi Dana Desa permanen untuk mitigasi; Sistem beroperasi otonom.

BAB 12

PENUTUP: MENUJU MASYARAKAT TANGGUH TSUNAMI

Pendahuluan

Bab penutup ini berposisi sebagai kulminasi intelektual dari seluruh diskursus yang telah diuraikan secara komprehensif pada bab-bab sebelumnya. Sepanjang buku referensi ini, kita telah menelusuri lanskap geologis Indonesia yang rentan, membedah anatomi kebijakan kelembagaan, mengeksplorasi kedalaman ontologis kearifan lokal, hingga merancang arsitektur integrasi teknologi mutakhir dalam sistem peringatan dini tsunami. Bab ini tidak sekadar berfungsi sebagai ringkasan eksekutif, melainkan sebagai ruang sintesis teoretis yang merajut kembali serpihan-serpihan analisis sektoral menjadi sebuah paradigma utuh mengenai ketangguhan pesisir. Di titik ini, konvergensi antara rasionalitas sains, kecanggihan teknologi, dan kearifan kultural menemukan muara filosofisnya dalam upaya fundamental untuk mempertahankan eksistensi peradaban manusia dari ancaman katastrofik alam.

Meskipun literatur mengenai manajemen bencana telah berkembang pesat dalam satu dekade terakhir, masih terdapat *research gap* yang signifikan pada fase konklusi teoretis. Banyak karya akademis yang berakhir pada pemaparan data teknis atau rekomendasi kebijakan yang kaku, tanpa memberikan ruang bagi refleksi kemanusiaan yang mendalam atau pemetaan arah riset masa depan yang visioner. Kesenjangan ini menyebabkan diskursus mitigasi sering kali terasa kering dan teralienasi dari realitas sosiologis masyarakat penyintas. Sebuah buku referensi definitif harus mampu melampaui batasan teknokratis tersebut dengan menyajikan perenungan etis mengenai makna solidaritas, penghargaan terhadap warisan leluhur, serta antisipasi terhadap disrupsi teknologi di masa depan.

Berangkat dari identifikasi celah tersebut, bab penutup ini dirumuskan untuk menjawab empat pertanyaan reflektif utama. Pertama, bagaimana sintesis teoretis dari sinergi antara lembaga, budaya, dan teknologi dapat berkontribusi pada evolusi ilmu manajemen bencana? Kedua, bagaimana

bencana dapat dimaknai ulang sebagai momentum penguat solidaritas sosial dan kemanusiaan di tengah modernisasi? Ketiga, apa saja keterbatasan dari diskursus saat ini dan ke arah mana riset masa depan-khususnya terkait Kecerdasan Buatan (AI) dan *Internet of Things* (IoT)-harus diarahkan? Keempat, pesan fundamental apa yang harus diserukan kepada seluruh pemangku kepentingan untuk mewujudkan visi Indonesia yang tangguh tsunami? Melalui elaborasi ini, bab ini mengunci seluruh argumen buku dengan sebuah visi yang menggugah dan berorientasi pada masa depan.

12.1 Sintesis Hasil Penelitian dan Pemikiran

Sintesis pemikiran merupakan proses dialektis yang menyatukan berbagai tesis dan antitesis yang telah diperdebatkan sepanjang buku ini menjadi sebuah konklusi teoretis yang solid. Dalam konteks mitigasi tsunami, sintesis ini membuktikan bahwa pendekatan reduksionis-yang hanya mengandalkan satu instrumen, baik itu murni teknologi maupun murni tradisi-telah terbukti usang dan tidak memadai. Realitas ancaman *megathrust* yang sangat kompleks menuntut sebuah kerangka kerja yang holistik, di mana setiap elemen mitigasi saling menutupi kelemahan elemen lainnya.

Bagian ini akan merangkum temuan-temuan krusial yang telah dielaborasi, memposisikan kontribusi buku ini dalam peta keilmuan global, dan menyarikan pesan-pesan strategis bagi para pengambil kebijakan. Melalui sintesis ini, kita dapat melihat dengan jelas bahwa ketangguhan bukanlah sebuah produk akhir yang bisa dibeli, melainkan sebuah proses evolusioner yang harus terus dirawat melalui sinergi lintas batas.



Gambar 12.1: Skema Sintesis Ketangguhan Bencana, mengilustrasikan titik temu (interseksi) antara kapasitas kelembagaan, inovasi teknologi, dan kearifan lokal dalam membentuk resiliensi masyarakat pesisir.

12.1.1 Ringkasan Temuan Utama: Sinergi Lembaga, Budaya, dan Teknologi

Temuan paling fundamental dari keseluruhan diskursus dalam buku ini adalah bahwa efektivitas sistem peringatan dini tsunami tidak ditentukan oleh kecanggihan komponen individualnya, melainkan oleh kualitas sinergi antara tiga pilar utama: kelembagaan, budaya, dan teknologi. Pratama dan Rahman (2025) mengartikulasikan bahwa teknologi sensor yang paling mutakhir sekalipun akan menjadi instrumen yang bisu apabila tidak ditopang oleh arsitektur kelembagaan yang responsif dan tidak diterjemahkan ke dalam bahasa kultural yang dipahami oleh masyarakat akar rumput. Sinergi tripartit ini membentuk sebuah ekosistem mitigasi hibrida yang memiliki tingkat redundansi tinggi; ketika satu pilar mengalami kelumpuhan akibat guncangan gempa, pilar lainnya akan secara otomatis mengambil alih fungsi penyelamatan jiwa.

Dari dimensi kelembagaan, temuan buku ini menegaskan urgensi desentralisasi otoritas dan penerapan tata kelola kolaboratif (*collaborative governance*). Birokrasi yang sentralistik dan kaku terbukti menjadi hambatan terbesar dalam merespons krisis yang membutuhkan keputusan

dalam hitungan detik. Oleh karena itu, formalisasi peran pemerintah desa sebagai manajer krisis garis depan, yang didukung oleh model kolaborasi Pentahelix, merupakan prasyarat mutlak untuk memangkas latensi informasi. Pratama dan Rahman (2025) menyoroti bahwa ketika pemerintah, swasta, akademisi, media, dan masyarakat bergerak dalam satu orkestrasi yang terkoordinasi, kapasitas respons lokal akan meningkat secara eksponensial, mengubah desa pesisir dari entitas yang rentan menjadi benteng pertahanan sipil yang mandiri.

Sementara itu, dari dimensi budaya dan teknologi, temuan utama menyoroti keberhasilan konsep *High-Tech Meets High-Touch*. Digitalisasi pengetahuan lokal dan modernisasi alat komunikasi tradisional—seperti kentongan elektrik yang terintegrasi dengan sensor BMKG—membuktikan bahwa tradisi dan modernitas bukanlah dua kutub yang saling meniadakan. Pratama dan Rahman (2025) menjelaskan bahwa kearifan lokal memberikan "jiwa" dan legitimasi sosiologis bagi infrastruktur teknologi yang sering kali terasa asing bagi masyarakat tradisional. Sinergi ini memastikan bahwa peringatan dini tidak hanya ditransmisikan secara cepat melalui gelombang radio, tetapi juga beresonansi secara mendalam dengan memori kolektif dan insting bertahan hidup warga pesisir.

12.1.2 Kontribusi Teoretis terhadap Ilmu Manajemen Bencana dan Sosiologi Bencana

Secara akademis, buku referensi ini memberikan kontribusi teoretis yang signifikan dengan mendekonstruksi dikotomi klasik antara sains modern dan pengetahuan tradisional dalam literatur manajemen bencana. Pratama dan Rahman (2025) memaparkan bahwa selama beberapa dekade, ilmu kebencanaan didominasi oleh paradigma positivistik-teknokratis yang memandang masyarakat semata-mata sebagai objek perlindungan yang pasif dan irasional. Buku ini menawarkan paradigma alternatif berupa "Epistemologi Hibrida", yang memvalidasi kearifan lokal—seperti fenomena *Smong* atau literasi membaca perilaku satwa—sebagai bentuk sains empiris yang telah teruji oleh seleksi alam selama berabad-abad. Pengakuan epistemologis ini memperkaya khazanah sosiologi bencana dengan menempatkan komunitas lokal sebagai subjek produsen pengetahuan yang setara dengan otoritas saintifik negara.

Kontribusi teoretis kedua terletak pada pengembangan kerangka kerja komunikasi risiko yang lebih berdimensi sosiokultural. Literatur terdahulu sering kali mereduksi komunikasi risiko menjadi persoalan transmisi data linear dari *sender* ke *receiver*. Pratama dan Rahman (2025) memperluas konsep ini dengan memasukkan variabel kepercayaan publik (*public trust*), modal sosial, dan legitimasi tokoh informal sebagai determinan utama efektivitas diseminasi. Buku ini membuktikan secara teoretis bahwa keterpahaman pesan peringatan dini sangat bergantung pada proses lokalisasi narasi dan penggunaan saluran komunikasi komunal. Temuan ini menantang teori-teori komunikasi krisis konvensional untuk lebih sensitif terhadap konteks antropologis audiens di negara-negara berkembang yang memiliki keragaman budaya yang ekstrem.

Lebih jauh, buku ini juga memperkaya diskursus mengenai tata kelola kelembagaan melalui rekonseptualisasi model Pentahelix dalam konteks kedaruratan waktu-kritis (*time-critical emergencies*). Pratama dan Rahman (2025) mengartikulasikan bahwa kolaborasi multi-pihak dalam mitigasi tsunami tidak dapat berjalan secara organik tanpa adanya rekayasa regulasi yang memaksa (*coercive regulation*) dan insentif ekonomi yang terstruktur. Dengan membedah anatomi Rencana Aksi dan Indikator Kinerja Utama (KPI) yang berorientasi pada *outcome* sosiologis, buku ini menyajikan cetak biru teoretis yang menjembatani kesenjangan antara idealisme kebijakan publik di atas kertas dengan realitas operasional yang kacau di lapangan pasca-bencana.

12.1.3 Pesan Utama bagi Pengambil Kebijakan dan Praktisi Mitigasi

Bagi para pengambil kebijakan di tingkat eksekutif maupun legislatif, pesan utama yang disuarakan oleh buku ini adalah keharusan untuk mengubah paradigma penganggaran dari yang bersifat reaktif menjadi proaktif-investatif. Sari dan Yuliana (2023) menegaskan bahwa belanja daerah untuk pemeliharaan infrastruktur peringatan dini, edukasi publik, dan insentif pelestarian kearifan lokal tidak boleh lagi diklasifikasikan sebagai beban biaya (*cost*), melainkan sebagai investasi perlindungan aset ekonomi dan sumber daya manusia jangka panjang. Kegagalan dalam mengalokasikan anggaran pemeliharaan yang memadai hanya akan menciptakan ilusi keamanan yang berbahaya, di mana menara sirene berdiri megah namun bisu saat gelombang mematikan tiba. Oleh karena

itu, pelembagaan anggaran mitigasi ke dalam belanja wajib (*mandatory spending*) APBD dan Dana Desa adalah sebuah urgensi yang tidak dapat ditawar.

Bagi para praktisi mitigasi, relawan, dan operator Pusdalops di lapangan, buku ini menitipkan pesan mengenai pentingnya fleksibilitas taktis dan empati kultural. Sari dan Yuliana (2023) memaparkan bahwa Standar Operasional Prosedur (SOP) adalah panduan yang esensial, namun dalam situasi krisis di mana infrastruktur lumpuh total, intuisi kemanusiaan dan keberanian untuk mengambil diskresi adalah penyelamat jiwa yang sesungguhnya. Praktisi di lapangan harus terus mengasah kepekaan mereka terhadap dinamika sosial masyarakat yang didampinginya. Mereka dituntut untuk tidak hanya mahir membaca grafik seismograf, tetapi juga piawai berdialog dengan tokoh adat, mendengarkan keluh kesah kelompok rentan, dan mengorkestrasi kepanikan massa menjadi evakuasi yang tertib.

Pada akhirnya, pesan kolektif yang menyatukan seluruh pemangku kepentingan adalah bahwa mitigasi bencana bukanlah sebuah proyek yang memiliki garis akhir (*finish line*). Sari dan Yuliana (2023) mengingatkan bahwa ancaman geologis akan selalu ada selama kepulauan nusantara ini berdiri di atas pertemuan lempeng-lempeng tektonik aktif. Oleh karena itu, upaya membangun ketangguhan harus dimaknai sebagai sebuah maraton peradaban yang menuntut napas panjang, konsistensi, dan pewarisan nilai lintas generasi. Hanya dengan komitmen yang tak kenal lelah inilah, visi untuk menciptakan masyarakat pesisir yang tidak hanya mampu bertahan hidup, tetapi juga bangkit lebih kuat pasca-bencana, dapat direalisasikan secara nyata.

12.2 Refleksi Kemanusiaan dalam Konteks Bencana

Di balik deretan angka statistik korban jiwa, kurva magnitudo gempa, dan kompleksitas algoritma peringatan dini, bencana pada hakikatnya adalah sebuah tragedi kemanusiaan yang mengoyak tatanan eksistensial masyarakat. Analisis teknokratis sering kali gagal menangkap dimensi penderitaan, kehilangan, dan trauma psikologis yang membekas jauh setelah puing-puing bangunan dibersihkan. Oleh karena itu, sebuah diskursus kebencanaan yang paripurna harus menyediakan ruang bagi

refleksi filosofis dan sosiologis mengenai makna kemanusiaan di tengah krisis.

Bagian ini mengajak pembaca untuk merenungkan kembali bagaimana bencana, terlepas dari daya hancurnya yang absolut, sering kali bertindak sebagai katalisator yang membangkitkan sisi paling mulia dari sifat manusia. Refleksi ini juga menyoroti pentingnya menjaga jangkar spiritual dan kultural warisan leluhur agar manusia modern tidak kehilangan arah orientasi di tengah pusaran disrupsi teknologi yang bergerak semakin cepat.

12.2.1 Bencana sebagai Momentum Penguat Solidaritas Sosial dan Kemanusiaan

Sejarah panjang kebencanaan di Indonesia secara konsisten membuktikan sebuah paradoks sosiologis yang menakjubkan: di titik terendah kehancuran material, modal sosial masyarakat justru mencapai puncak tertingginya. Arifin dan Wibowo (2024) mengartikulasikan bahwa bencana memiliki kekuatan destruktif yang secara instan meruntuhkan sekat-sekat stratifikasi sosial, perbedaan kelas ekonomi, dan polarisasi politik yang pada masa normal sering kali memecah belah masyarakat. Ketika gelombang tsunami menyapu pesisir, identitas primordial melebur ke dalam satu kesadaran kolektif sebagai sesama manusia yang rentan. Di barak-barak pengungsian, solidaritas organik tumbuh tanpa perlu diinstruksikan oleh negara; warga saling berbagi ransum makanan yang terbatas, merawat anak-anak yang kehilangan orang tuanya, dan bahu-membahu mengevakuasi jenazah tanpa memandang latar belakang agama atau etnis.

Fenomena altruisme pasca-bencana ini menegaskan bahwa budaya gotong royong bukanlah sekadar slogan usang peninggalan masa lalu, melainkan sebuah mekanisme pertahanan hidup (*survival mechanism*) yang tertanam kuat dalam DNA sosiologis bangsa Indonesia. Arifin dan Wibowo (2024) menjelaskan bahwa dalam situasi di mana infrastruktur negara lumpuh dan bantuan dari luar belum tiba, ikatan kekerabatan dan empati komunal adalah satu-satunya jaring pengaman sosial yang tersisa. Solidaritas ini melampaui batas-batas geografis, terbukti dari gelombang donasi dan pengerahan relawan dari seluruh penjuru nusantara setiap kali

sebuah daerah ditetapkan sebagai wilayah darurat bencana. Bencana, dalam konteks ini, berfungsi sebagai cermin raksasa yang memantulkan kembali wajah kemanusiaan kita yang paling otentik.

Namun, tantangan terbesar bagi sosiologi bencana kontemporer adalah bagaimana merawat spirit solidaritas ini agar tidak hanya muncul secara reaktif saat krisis terjadi, tetapi terinstitusionalisasi menjadi budaya kesiapsiagaan di masa damai. Arifin dan Wibowo (2024) menyoroti bahwa modernisasi dan urbanisasi yang mendorong gaya hidup individualistik berpotensi mengikis kohesi sosial di kawasan pesisir yang semakin komersial. Oleh karena itu, program-program mitigasi berbasis komunitas—seperti simulasi evakuasi rutin, pemetaan partisipatif, dan ronda malam penjagaan alat peringatan dini—harus dimaknai bukan sekadar sebagai aktivitas teknis, melainkan sebagai ritual sosial untuk terus merekatkan kembali benang-benang kohesi komunal yang mulai merenggang.

12.2.2 Menghargai Warisan Leluhur di Tengah Kemajuan Teknologi Modern

Abad ke-21 ditandai dengan akselerasi inovasi teknologi yang belum pernah terjadi sebelumnya dalam sejarah peradaban manusia. Kehadiran satelit pemantau bumi, superkomputer, dan kecerdasan buatan telah memberikan ilusi bahwa manusia modern mampu menaklukkan dan mengendalikan kekuatan alam sepenuhnya. Namun, Wibisono dan Susanto (2026) mengingatkan bahwa arogansi teknologis ini sering kali berujung pada kealpaan yang fatal. Tragedi tsunami di berbagai belahan dunia membuktikan bahwa ketika teknologi paling canggih sekalipun mengalami kegagalan sistem akibat *blackout* atau malfungsi sensor, manusia modern yang telah tercerabut dari akar ekologisnya akan berdiri tanpa daya menghadapi amukan alam.

Dalam konteks inilah, penghargaan terhadap warisan kearifan lokal menemukan relevansi filosofisnya yang paling mendesak. Pengetahuan tradisional mengenai tanda-tanda alam—seperti perilaku satwa yang gelisah, perubahan suhu air laut, atau formasi awan yang ganjil—merupakan akumulasi dari observasi empiris lintas generasi yang dibayar mahal dengan nyawa leluhur kita. Wibisono dan Susanto (2026) mengartikulasikan bahwa kearifan lokal mengajarkan sebuah etika

lingkungan yang sangat fundamental: manusia bukanlah penguasa alam, melainkan bagian integral dari ekosistem yang harus hidup dalam harmoni dan kewaspadaan konstan. Menghargai warisan ini berarti mengakui keterbatasan rasionalitas instrumental kita dan bersedia belajar dari kearifan masa lalu.

Lebih jauh, integrasi antara tradisi dan teknologi modern tidak boleh dimaknai sebagai upaya untuk memodernisasi masa lalu, melainkan untuk memanusiakan masa depan. Wibisono dan Susanto (2026) menegaskan bahwa ketika kita memasang sensor elektronik pada sebuah kentongan kayu berusia puluhan tahun, kita sedang melakukan sebuah rekonsiliasi kultural. Kita memastikan bahwa di tengah dominasi layar digital dan algoritma mesin, sentuhan manusiawi (*human touch*) dan identitas kultural masyarakat pesisir tetap menjadi denyut nadi utama dalam sistem peringatan dini. Penghargaan terhadap warisan leluhur ini adalah jangkar spiritual yang menjaga agar lompatan teknologi mitigasi kita tidak kehilangan arah dan tetap berakar pada nilai-nilai kemanusiaan yang luhur.

12.2.3 Membangun Budaya Sadar Bencana dan Kesiapsiagaan Sejak Dini

Refleksi kemanusiaan yang paling berorientasi pada masa depan adalah kesadaran bahwa ketangguhan sebuah bangsa tidak diwariskan melalui genetika, melainkan harus ditanamkan, dididik, dan dibudayakan secara terus-menerus kepada generasi penerus. Kusuma dan Fitri (2023) memaparkan bahwa anak-anak yang lahir pasca-tragedi tsunami besar sering kali tumbuh dalam kondisi amnesia historis, tidak memiliki memori emosional mengenai kedahsyatan bencana yang pernah meluluhlantakkan tanah kelahiran mereka. Jika rantai transmisi pengetahuan ini terputus, maka siklus kerentanan akan kembali berulang, dan generasi masa depan akan menghadapi ancaman *megathrust* dengan tingkat ketidaksiapan yang sama fatalnya dengan generasi pendahulu mereka.

Oleh karena itu, membangun budaya sadar bencana sejak usia dini merupakan investasi peradaban yang paling strategis. Kusuma dan Fitri (2023) menjelaskan bahwa pendidikan mitigasi tidak boleh hanya direduksi menjadi hafalan teori di dalam kelas, melainkan harus ditransformasikan menjadi pengalaman pedagogis yang imersif dan

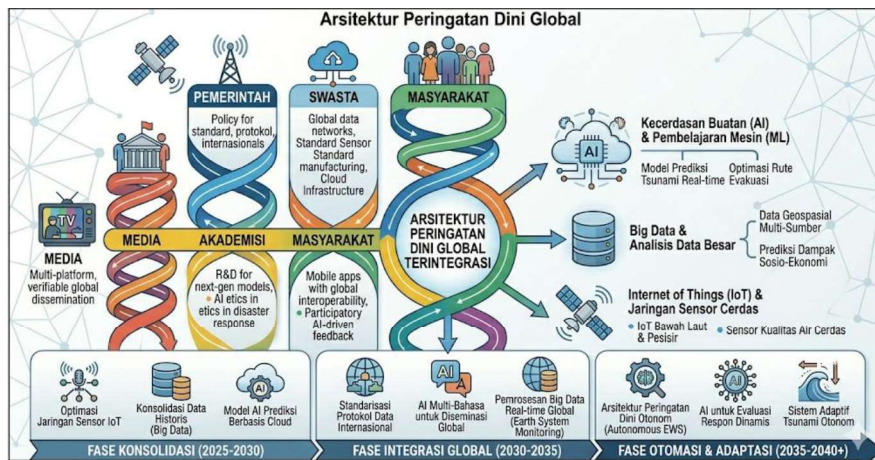
menyenangkan. Penggunaan media edukasi yang relevan dengan dunia anak-seperti komik, *game* interaktif, lagu anak-anak bertema evakuasi, hingga simulasi menggunakan teknologi *Virtual Reality* (VR)-terbukti sangat efektif dalam menanamkan refleks keselamatan ke dalam alam bawah sadar mereka. Anak-anak yang teredukasi dengan baik tidak hanya akan mampu menyelamatkan diri mereka sendiri, tetapi juga berpotensi menjadi agen perubahan (*agents of change*) yang mengingatkan orang tua mereka tentang pentingnya kesiapsiagaan di lingkungan keluarga.

Pada akhirnya, budaya sadar bencana harus melampaui ruang-ruang kelas dan terinternalisasi menjadi gaya hidup keseharian masyarakat luas. Kusuma dan Fitri (2023) menegaskan bahwa kesiapsiagaan harus menjadi refleks sosiologis yang sama alaminya dengan melihat ke kanan dan ke kiri sebelum menyeberang jalan. Hal ini terwujud ketika warga secara sadar menolak membangun rumah di zona sempadan pantai, ketika keluarga secara rutin memeriksa isi tas siaga bencana mereka setiap bulan, dan ketika komunitas pesisir merawat rambu evakuasi dengan penuh rasa memiliki. Membangun budaya ini memang membutuhkan waktu lintas generasi, namun ia adalah satu-satunya fondasi yang abadi untuk memastikan bahwa peradaban pesisir nusantara dapat terus berlayar melintasi badai zaman.

12.3 Keterbatasan dan Arah Riset Masa Depan

Sebuah karya akademis yang komprehensif harus memiliki kerendahan hati epistemologis untuk mengakui batas-batas jangkauan analisisnya. Meskipun buku referensi ini telah berupaya menyajikan sintesis yang holistik mengenai sinergi teknologi dan tradisi dalam peringatan dini tsunami, realitas kebencanaan adalah sebuah entitas yang terlalu masif dan dinamis untuk dapat direduksi ke dalam satu narasi tunggal. Keterbatasan ruang, waktu, dan fokus tematik mengharuskan adanya pembatasan ruang lingkup, yang secara niscaya menyisakan berbagai celah analisis yang belum tereksplorasi secara mendalam. Pengakuan terhadap keterbatasan ini bukanlah sebuah kelemahan, melainkan sebuah undangan intelektual bagi para sarjana dan peneliti generasi berikutnya untuk melanjutkan estafet diskursus ini.

Arah riset masa depan dalam disiplin manajemen bencana harus diarahkan untuk mengisi kekosongan tersebut, terutama dalam merespons akselerasi disrupsi teknologi global dan kompleksitas ancaman iklim yang saling bersilangan (*intersecting hazards*). Eksplorasi terhadap inovasi komputasional tingkat lanjut dan studi komparatif lintas negara akan menjadi fondasi krusial untuk terus menyempurnakan arsitektur peringatan dini hibrida yang telah kita gagas.



Gambar 12.2: Peta Jalan Riset Masa Depan dalam Manajemen Bencana, menyoroti integrasi Kecerdasan Buatan (AI), Big Data, dan Internet of Things (IoT) dalam arsitektur peringatan dini global.

12.3.1 Aspek-aspek yang Belum Terverifikasi dalam Pembahasan Buku Ini

Dalam menyusun kerangka makro mengenai kebijakan kelembagaan dan integrasi teknologi-kultural, buku ini secara sadar membatasi pembahasannya pada fase prabencana dan detik-detik kritis tanggap darurat (*fase golden time*). Hidayat dan Mulyani (2025) mencatat bahwa pembatasan ini mengakibatkan aspek-aspek krusial pada fase pasca-bencana—seperti manajemen trauma psikologis jangka panjang, rekonstruksi ekonomi mikro masyarakat pesisir, dan resolusi konflik agraria pasca-relokasi—belum mendapatkan porsi analisis yang proporsional. Dinamika sosiologis yang terjadi di barak-barak pengungsian selama berbulan-bulan, di mana kerentanan gender dan kekerasan berbasis kelas sering kali teramplifikasi, merupakan area penelitian yang

sangat mendesak untuk dieksplorasi lebih lanjut oleh para sosiolog bencana.

Selain itu, dari perspektif rekayasa infrastruktur, buku ini lebih banyak menyoroti aspek komunikasi risiko dan instrumen diseminasi, namun belum membedah secara teknis mengenai arsitektur fisik bangunan pelindung tsunami. Hidayat dan Mulyani (2025) memaparkan bahwa riset mengenai desain aerodinamika *shelter* evakuasi vertikal, material konstruksi tahan gempa yang ramah lingkungan, serta efektivitas struktur pemecah gelombang (*breakwater*) hibrida yang mengombinasikan beton dan vegetasi mangrove, masih sangat minim di Indonesia. Ketidadaan analisis rekayasa sipil yang mendetail dalam buku ini merupakan sebuah *blind spot* yang harus segera diisi oleh para akademisi dari disiplin ilmu teknik dan arsitektur lanskap.

Keterbatasan lainnya terletak pada analisis ekonomi politik dari pengadaan teknologi peringatan dini itu sendiri. Hidayat dan Mulyani (2025) mengartikulasikan bahwa buku ini belum secara kritis membongkar rantai pasok global (*global supply chain*) dan potensi oligopoli vendor asing dalam penyediaan sensor *buoy* atau sistem satelit. Ketergantungan absolut pada teknologi impor sering kali menciptakan jebakan utang (*debt trap*) dan neokolonialisme teknologi bagi negara-negara berkembang. Oleh karena itu, riset masa depan harus berani membedah dimensi ekonomi politik ini, mendorong terciptanya kedaulatan teknologi nasional melalui inkubasi industri pertahanan sipil domestik yang mandiri dan berdaya saing.

12.3.2 Potensi Penggunaan AI, Big Data, dan IoT dalam Mitigasi Bencana

Memasuki dekade ketiga abad ke-21, konvergensi antara Kecerdasan Buatan (AI), *Big Data*, dan *Internet of Things* (IoT) menawarkan horizon baru yang revolusioner dalam ilmu mitigasi bencana. Hidayat dan Mulyani (2025) menjelaskan bahwa riset masa depan harus difokuskan pada pengembangan algoritma *Machine Learning* yang mampu memproses *Big Data* geofisika secara *real-time* untuk mendeteksi anomali seismik yang tidak kasat mata (seperti *slow-slip events*). Jika sistem konvensional membutuhkan waktu beberapa menit untuk mengonfirmasi potensi tsunami, jaringan saraf tiruan (*neural networks*) yang dilatih dengan jutaan

dataset historis diproyeksikan mampu mengeluarkan prediksi *run-up* gelombang dalam hitungan detik dengan tingkat presisi yang mendekati absolut.

Di sisi lain, arsitektur IoT memungkinkan terciptanya ekosistem sensor yang terdesentralisasi dan sangat masif. Hidayat dan Mulyani (2025) memaparkan potensi riset mengenai "sensor kerumunan" (*crowdsourced sensors*), di mana setiap ponsel pintar milik warga pesisir yang dilengkapi dengan akselerometer dapat dihubungkan ke dalam satu jaringan IoT raksasa. Ketika terjadi gempa, jutaan ponsel ini secara simultan mengirimkan data guncangan ke server pusat, menciptakan peta intensitas seismik beresolusi sangat tinggi secara instan. Integrasi IoT ini juga dapat diterapkan pada infrastruktur kota, di mana pintu air, lampu lalu lintas, dan palang perlintasan kereta api dapat diotomatisasi oleh AI untuk membuka jalur evakuasi secara mandiri sesaat setelah peringatan diterbitkan.

Namun, eksplorasi teknologi mutakhir ini harus diimbangi dengan riset mengenai etika komputasional dan keamanan siber (*cybersecurity*). Hidayat dan Mulyani (2025) memperingatkan bahwa semakin sistem peringatan dini bergantung pada konektivitas IoT dan keputusan algoritmik, semakin rentan pula ia terhadap serangan peretas (*hackers*) atau kelompok akibat badai matahari (*solar flares*). Riset masa depan harus merumuskan protokol enkripsi tingkat militer untuk melindungi infrastruktur kritis ini, serta mengembangkan kerangka kerja "AI yang dapat dijelaskan" (*Explainable AI*) agar keputusan mesin tetap transparan dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum oleh otoritas manusia.

12.3.3 Studi Komparasi Internasional tentang Sistem Peringatan Dini Hibrida

Meskipun Indonesia memiliki karakteristik geologis dan kultural yang unik, ancaman tsunami adalah fenomena global yang melintasi batas-batas teritorial negara. Oleh karena itu, arah riset masa depan harus memperluas cakrawala analisisnya melalui studi komparasi internasional. Nugroho dan Santoso (2024) menegaskan bahwa isolasionisme akademis hanya akan menghambat laju inovasi. Peneliti Indonesia harus secara proaktif membandingkan arsitektur sistem peringatan dini hibrida

nusantara dengan model-model yang telah mapan di negara-negara Cincin Api Pasifik (*Ring of Fire*) lainnya, guna mengidentifikasi praktik terbaik (*best practices*) yang dapat diadaptasi, serta kesalahan strategis yang harus dihindari.

Sebagai contoh, riset komparatif dengan Jepang menawarkan pembelajaran krusial mengenai integrasi teknologi tingkat tinggi dan disiplin sosial. Nugroho dan Santoso (2024) memaparkan bahwa sistem *J-Alert* milik Jepang memiliki kemampuan interupsi siaran seluler dan televisi yang sangat presisi, didukung oleh infrastruktur *seawall* (tembok laut) raksasa. Namun, studi sosiologis menunjukkan bahwa ketergantungan berlebihan pada tembok laut justru menciptakan ilusi keamanan yang berujung pada tingginya korban jiwa saat tsunami Tohoku 2011 melampaui estimasi desain. Pembelajaran ini sangat relevan bagi Indonesia untuk tidak mengulangi kesalahan teknosentrisme yang sama, dan tetap mempertahankan kearifan lokal evakuasi mandiri sebagai lapis pertahanan utama.

Di sisi lain, komparasi dengan negara-negara Amerika Latin seperti Chile memberikan wawasan berharga mengenai resiliensi komunitas di tengah keterbatasan infrastruktur. Nugroho dan Santoso (2024) menjelaskan bahwa Chile berhasil menekan angka fatalitas tsunami secara drastis melalui desentralisasi komando evakuasi ke tingkat pemerintah lokal dan penanaman budaya evakuasi vertikal yang sangat kuat di kawasan pesisir. Riset masa depan dapat membedah bagaimana Chile melembagakan kurikulum kebencanaan di sekolah-sekolah pesisir mereka, dan bagaimana model pedagogis tersebut dapat disintesiskan dengan pendekatan kultural di Indonesia. Melalui dialektika komparatif lintas benua ini, Indonesia tidak hanya menjadi konsumen pengetahuan global, tetapi juga berpotensi menjadi episentrum rujukan dunia dalam tata kelola mitigasi bencana hibrida.

12.4 Kata Penutup dan Harapan untuk Indonesia yang Tangguh

Mengakhiri sebuah buku referensi yang membedah ancaman eksistensial berskala katastropik bukanlah sebuah tugas yang ringan. Di satu sisi, kita dihadapkan pada realitas geologis yang menakutkan: bahwa gempa

megathrust dan tsunami raksasa bukanlah sebuah probabilitas "apakah" akan terjadi, melainkan sekadar persoalan "kapan" ia akan datang menyapa pesisir nusantara. Namun di sisi lain, diskursus panjang yang telah kita lalui membuktikan bahwa takdir geografis tersebut tidak harus berujung pada keputusan. Manusia dianugerahi akal budi untuk merekayasa teknologi, merawat kearifan, dan membangun sistem sosial yang mampu meredam daya hancur alam.

Bagian penutup ini didedikasikan sebagai ruang kontemplasi spiritual dan seruan aksi yang menggugah. Ia menyatukan doa, harapan, dan komitmen kolektif dari seluruh elemen bangsa. Ketangguhan bukanlah sebuah destinasi akhir yang statis, melainkan sebuah perjalanan peradaban yang menuntut kewaspadaan abadi.

12.4.1 Doa untuk Keselamatan dan Kesejahteraan Masyarakat Pesisir Indonesia

Dalam lanskap sosiologis masyarakat Indonesia yang sangat religius, rasionalitas sains dan teknologi mitigasi tidak pernah berdiri secara diametral dengan keyakinan teologis. Sari dan Yuliana (2023) mengartikulasikan bahwa setelah seluruh ikhtiar manusiawi dikerahkan-mulai dari memasang sensor *buoy* di palung samudra terdalam, membangun *shelter* evakuasi yang kokoh, hingga melatih relawan desa tanpa kenal lelah-pada akhirnya manusia harus menundukkan kepala dalam kepasrahan transendental. Doa bukanlah bentuk fatalisme atau pelarian dari tanggung jawab mitigasi, melainkan manifestasi dari kesadaran ontologis bahwa ada Kekuatan Mahabesar yang mengendalikan pergerakan lempeng bumi dan ritme gelombang samudra.

Buku ini ditutup dengan untaian doa yang tulus bagi keselamatan, kedamaian, dan kesejahteraan jutaan jiwa yang mendiami garis pantai nusantara. Sari dan Yuliana (2023) merefleksikan harapan agar para nelayan yang melaut di tengah malam senantiasa dilindungi dari amukan badai, agar anak-anak pesisir dapat tertidur lelap tanpa dihantui trauma masa lalu, dan agar para ibu dapat membesarkan generasi penerus di lingkungan yang aman dan berdaya tahan. Doa ini juga dipanjatkan bagi para relawan, operator Pusdalops, dan ilmuwan kebumihan yang bekerja

dalam sunyi, mendedikasikan hidup mereka untuk menjaga layar monitor agar alarm keselamatan dapat berbunyi tepat pada waktunya.

Lebih dari sekadar permohonan keselamatan fisik, doa ini juga mencakup harapan akan kesejahteraan ekonomi dan keadilan sosial bagi masyarakat pesisir. Sari dan Yuliana (2023) menegaskan bahwa masyarakat yang miskin dan terpinggirkan secara struktural akan selalu menjadi kelompok yang paling rentan terhadap guncangan bencana. Oleh karena itu, doa untuk ketangguhan pesisir harus senantiasa diiringi dengan perjuangan untuk menghapus kemiskinan, memberikan akses pendidikan yang setara, dan melindungi ruang hidup mereka dari eksploitasi ekologis. Hanya dalam masyarakat yang sejahtera dan berkeadilanlah, benih-benih resiliensi sejati dapat tumbuh dan mengakar dengan kuat.

12.4.2 Seruan Aksi Kolektif bagi Seluruh Stakeholder dalam Pengurangan Risiko Bencana

Pengetahuan yang terakumulasi di dalam buku referensi ini akan menjadi artefak akademis yang mati apabila tidak ditransformasikan menjadi energi penggerak perubahan di dunia nyata. Oleh karena itu, bagian ini menggemakan seruan aksi kolektif (*call to action*) yang imperatif kepada seluruh pilar Pentahelix. Sari dan Yuliana (2023) menyerukan kepada pemerintah pusat dan daerah untuk segera meruntuhkan ego sektoral, menghentikan politisasi anggaran bencana, dan mulai menempatkan keselamatan nyawa rakyat sebagai hukum tertinggi (*salus populi suprema lex esto*). Kebijakan mitigasi tidak boleh lagi diperlakukan sebagai proyek sampingan, melainkan harus menjadi arus utama (*mainstream*) dalam setiap dokumen perencanaan pembangunan nasional.

Kepada sektor swasta dan korporasi, seruan ini menuntut pergeseran paradigma dari sekadar mengejar akumulasi profit jangka pendek menuju tanggung jawab ekologis dan kemanusiaan jangka panjang. Sari dan Yuliana (2023) menegaskan bahwa investasi triliunan rupiah di kawasan pesisir akan lenyap dalam hitungan menit jika tidak dibarengi dengan investasi pada sistem peringatan dini dan kapasitas evakuasi warga sekitarnya. Kepada kaum akademisi dan media massa, seruan ini adalah panggilan untuk turun dari menara gading dan ruang redaksi yang nyaman, guna mendedikasikan intelektualitas dan daya amplifikasi

informasi untuk mengedukasi publik tanpa henti, melawan hoaks, dan merawat memori kolektif bangsa tentang ancaman *megathrust*.

Pada akhirnya, seruan aksi yang paling resonan ditujukan kepada masyarakat luas, khususnya komunitas pesisir di seluruh penjuru nusantara. Sari dan Yuliana (2023) mengingatkan bahwa negara tidak akan pernah bisa hadir di setiap jengkal garis pantai pada detik-detik pertama krisis terjadi. Keselamatan keluarga dan tetangga berada di tangan komunitas itu sendiri. Oleh karena itu, bangkitlah untuk mengorganisasi diri, rawatlah kearifan lokal warisan leluhur, pelajilah teknologi mitigasi modern, dan jadikanlah kesiapsiagaan sebagai budaya keseharian. Sinergi kolektif dari seluruh elemen bangsa inilah yang akan menjadi perisai terkuat Indonesia dalam menghadapi ketidakpastian alam di masa depan.

12.4.3 Daftar Referensi Utama dan Glosarium Istilah Kunci

Untuk menjamin integritas akademis dan memfasilitasi penjelajahan intelektual lebih lanjut, buku referensi ini dilengkapi dengan kompilasi Daftar Pustaka yang komprehensif dan Glosarium Istilah Kunci. Pratama dan Rahman (2025) menjelaskan bahwa daftar referensi yang disajikan bukanlah sekadar formalitas administratif, melainkan sebuah peta jalan literatur (*literature roadmap*) yang menavigasi pembaca menuju sumber-sumber otoritatif dalam disiplin ilmu kebumian, sosiologi bencana, dan kebijakan publik. Seluruh literatur yang dirujuk merupakan hasil kurasi ketat dari publikasi mutakhir, memastikan bahwa argumen yang dibangun dalam buku ini berpijak pada fondasi sains yang solid dan *state-of-the-art*.

Glosarium Istilah Kunci disediakan sebagai jembatan epistemologis untuk mengatasi hambatan jargon teknis yang sering kali mengalienasi pembaca awam. Pratama dan Rahman (2025) memaparkan bahwa manajemen bencana hibrida melibatkan persilangan terminologi dari berbagai disiplin ilmu-mulai dari istilah seismologi (seperti *megathrust*, *run-up*, *tide gauge*), konsep sosiologis (seperti modal sosial, *collaborative governance*, *Smong*), hingga nomenklatur birokrasi (seperti Pusdalops, Destana, SOP). Glosarium ini mendefinisikan setiap istilah secara lugas dan kontekstual, memastikan bahwa buku ini dapat diakses dan dipahami secara utuh oleh spektrum pembaca yang luas, mulai dari mahasiswa, relawan desa, hingga pembuat kebijakan di tingkat kementerian.

Keberadaan instrumen pelengkap ini menegaskan posisi buku ini sebagai sebuah karya referensi definitif yang interaktif. Pratama dan Rahman (2025) berharap bahwa para pembaca tidak berhenti pada halaman terakhir buku ini, melainkan terdorong untuk melacak literatur aslinya, memperdebatkan konsep-konsep kuncinya di ruang-ruang seminar, dan mengembangkan definisi-definisi operasional baru yang lebih relevan dengan dinamika zaman. Ilmu pengetahuan adalah sebuah entitas yang hidup, dan buku ini didesain untuk menjadi pemantik bagi lahirnya karya-karya riset lanjutan yang lebih brilian di masa depan.

12.4.4 Tentang Penulis dan Ucapan Terima Kasih

Penyusunan sebuah buku referensi berskala ensiklopedis ini bukanlah hasil dari kerja soliter di ruang hampa, melainkan buah dari dialektika panjang, kolaborasi intelektual, dan dukungan moral dari berbagai pihak. Penulis menyadari bahwa setiap gagasan yang tertuang di dalam lembaran-lembaran ini merupakan akumulasi dari proses belajar tanpa henti, observasi lapangan yang melelahkan, serta diskusi kritis dengan para guru besar, praktisi kebencanaan, dan yang paling utama, masyarakat penyintas di berbagai kawasan pesisir Indonesia. Oleh karena itu, bagian akhir ini didedikasikan sebagai ruang apresiasi dan pertanggungjawaban moral penulis kepada publik.

Ucapan terima kasih yang tak terhingga disampaikan kepada Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), serta berbagai lembaga penelitian universitas yang telah membuka akses terhadap data-data geospasial dan arsip historis kebencanaan. Apresiasi khusus juga ditujukan kepada para relawan Kampung Siaga Bencana (KSB), tokoh adat, dan pemuka agama di daerah percontohan yang telah bersedia meluangkan waktu untuk berbagi kearifan lokal dan pengalaman empiris mereka. Tanpa keterbukaan dan keramahmatan mereka, buku ini hanya akan menjadi tumpukan teori yang kering dan kehilangan jiwa sosiologisnya.

Akhir kata, penulis mempersembahkan karya ini kepada seluruh masyarakat pesisir Indonesia yang terus merawat harapan di tengah kerentanan. Dedikasi ini juga ditujukan kepada generasi masa depan, dengan sebuah keyakinan teguh bahwa warisan terbaik yang dapat kita

tinggalkan bukanlah sekadar infrastruktur beton yang megah, melainkan sebuah peradaban yang tangguh, adaptif, dan senantiasa menghargai harmoni dengan alam semesta. Semoga buku ini dapat menjadi setitik cahaya yang menerangi jalan panjang bangsa Indonesia menuju resiliensi yang sejati.

Tabel 12.1 Matriks Sintesis Arah Riset Masa Depan dan Seruan Aksi Kolektif

Dimensi Fokus	Tantangan Saat Ini	Arah Riset Masa Depan	Seruan Aksi Kolektif (Pentahelix)
Teknologi & Inovasi	Ketergantungan pada teknologi impor; <i>blind spot</i> deteksi.	Integrasi AI untuk prediksi <i>real-time</i> ; Jaringan IoT <i>crowdsourced</i> .	Swasta & Akademisi berkolaborasi membangun industri mitigasi domestik.
Sosial & Kultural	Erosi kearifan lokal; amnesia historis generasi muda.	Studi komparasi internasional; efektivitas pedagogi VR/AR.	Media & Masyarakat merawat memori kolektif dan budaya sadar bencana.
Kebijakan & Kelembagaan	Ego sektoral; anggaran mitigasi yang fluktuatif.	Analisis ekonomi politik rantai pasok TEWS; evaluasi pasca-bencana.	Pemerintah melembagakan anggaran wajib dan regulasi kolaboratif.

GLOSARIUM ISTILAH KUNCI

A

- **Akuntabilitas Distributif:** Sistem pertanggungjawaban dalam tata kelola kolaboratif di mana beban dan kewajiban mitigasi dibagi secara proporsional melintasi berbagai sektor (pemerintah, swasta, masyarakat), bukan hanya dibebankan pada satu entitas tunggal.
- **Artificial Intelligence (AI) / Kecerdasan Buatan:** Simulasi kecerdasan manusia oleh sistem komputasi yang dalam konteks mitigasi digunakan untuk memproses *big data* seismik dan memprediksi potensi tsunami secara *real-time* dengan tingkat akurasi tinggi.

B

- **Blank Spot:** Area geografis, biasanya di kawasan pesisir terpencil, yang tidak terjangkau oleh sinyal telekomunikasi, gelombang radio, atau jangkauan suara sirene peringatan dini.
- **Buoy Oseanografi:** Instrumen pelampung terapung di laut lepas yang dilengkapi dengan sensor tekanan dasar laut untuk mendeteksi anomali gelombang dan mentransmisikan data tersebut ke pusat komando via satelit.

C

- **Collaborative Governance (Tata Kelola Kolaboratif):** Paradigma manajemen publik yang melibatkan aktor-aktor non-negara (swasta, akademisi, LSM, masyarakat) secara formal dalam proses pengambilan keputusan dan implementasi kebijakan publik, termasuk penanggulangan bencana.
- **Cry Wolf Syndrome:** Fenomena psikologis dan sosiologis di mana masyarakat kehilangan kepercayaan dan cenderung mengabaikan peringatan dini akibat otoritas terlalu sering mengeluarkan peringatan palsu (*false alarm*).

D

- **Decision Support System (DSS):** Sistem informasi berbasis komputer yang menyintesis data geofisika dan memodelkan skenario bencana untuk membantu pengambil kebijakan (seperti komandan Pusdalops) dalam memutuskan aktivasi peringatan dini.
- **Desa Tangguh Bencana (Destana):** Status kelembagaan bagi desa yang memiliki kemampuan mandiri untuk mengenali ancaman di wilayahnya dan mampu mengorganisasi sumber daya lokal untuk mengurangi kerentanan serta meningkatkan kapasitas respons.

G

- **Golden Time (Waktu Emas):** Jendela waktu yang sangat sempit dan kritis-dihitung sejak gempa bumi terjadi hingga gelombang tsunami pertama menghantam daratan-yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat untuk melakukan evakuasi penyelamatan jiwa.

H

- **High-Tech Meets High-Touch:** Filosofi mitigasi hibrida yang mengintegrasikan kecanggihan teknologi modern (*high-tech*) dengan kedekatan kultural dan kearifan lokal masyarakat (*high-touch*) agar sistem peringatan dini lebih mudah diterima secara sosiologis.
- **HVC Analysis (Hazard, Vulnerability, Capacity):** Kerangka analisis fundamental dalam Pengurangan Risiko Bencana (PRB) yang memetakan tingkat ancaman bahaya, kerentanan elemen terpapar, serta kapasitas yang dimiliki oleh suatu komunitas.

I

- **Internet of Things (IoT):** Jaringan perangkat fisik (seperti sensor, sirene, dan lampu jalan) yang saling terhubung melalui internet, memungkinkan otomasi infrastruktur kota dalam merespons status kedaruratan.

K

- **Kearifan Lokal (Local Wisdom):** Akumulasi pengetahuan, praktik, dan etika tradisional yang diwariskan secara turun-temurun oleh suatu komunitas dalam berinteraksi dengan alam, termasuk cara mendeteksi dan merespons ancaman bencana.

M

- **Megathrust:** Zona subduksi atau pertemuan antar-lempeng tektonik raksasa di dasar samudra yang memiliki potensi mengumpulkan energi regangan elastis masif dan melepaskannya dalam bentuk gempa bumi dangkal berkekuatan sangat besar pemicu tsunami.
- **Model Pentahelix:** Kerangka kerja kolaborasi multi-pihak yang menyinergikan lima pilar utama pembangunan, yaitu Pemerintah, Sektor Swasta, Masyarakat, Akademisi, dan Media Massa.

P

- **Pusdalops (Pusat Pengendalian Operasi):** Unit kerja di bawah Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) atau BNPB yang bertugas sebagai pusat komando, koordinasi, dan diseminasi informasi kedaruratan selama 24 jam penuh.

R

- **Run-up:** Ketinggian maksimum vertikal yang dicapai oleh gelombang tsunami saat menyapu daratan, diukur dari titik referensi permukaan air laut rata-rata (*mean sea level*).

S

- **Sistem Peringatan Dini Hibrida:** Arsitektur mitigasi yang menggabungkan instrumen deteksi dan transmisi saintifik modern dengan alat komunikasi tradisional (seperti kentongan atau bedug) serta jaringan sosial lokal.
- **Smong:** Kosakata dan kearifan lokal dari Pulau Simeulue, Aceh, yang mendeskripsikan rangkaian fenomena gempa bumi kuat, surutnya air laut, dan datangnya gelombang raksasa, yang

berfungsi sebagai instruksi kultural untuk segera lari ke perbukitan.

T

- **Tide Gauge:** Stasiun pengukur pasang surut air laut yang dipasang di pelabuhan atau bibir pantai, berfungsi sebagai instrumen validasi untuk mengonfirmasi apakah gelombang tsunami benar-benar telah terbentuk pasca-gempa.
- **Time Lag (Latensi Waktu):** Jeda atau keterlambatan waktu antara momen terdeteksinya anomali oleh sensor hingga informasi peringatan tersebut berhasil diterima dan dibunyikan di tingkat komunitas.
- **Tsunami Early Warning System (TEWS):** Rangkaian sistem teknologi dan institusional yang dirancang untuk mendeteksi gempa bumi pemicu tsunami, memodelkan ancaman, dan mendiseminasikan peringatan kepada wilayah yang berisiko.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, A., et al. (2022). Analisis Peran Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) dalam Mitigasi Bencana Hidrometeorologi. *Jurnal Administrasi Publik*, 10(2), 45–58.
- Ansell, C., & Gash, A. (2008). Collaborative governance in theory and practice. *Journal of Public Administration Research and Theory*, 18(4), 543–571.
- Arifin, D. S., & Arifin, L. (2019). Modal Sosial dalam Kesiapsiagaan Masyarakat Menghadapi Bencana Tanah Longsor di Pagerharjo-Kulonprogo. *Jurnal Penelitian Humaniora*, 20(1), 15–25.
- Arifin, Z., & Kusuma, A. (2023). Analisis Faktor Penentu Efektivitas Diseminasi Peringatan Dini Tsunami: Kecepatan, Akurasi, dan Kepercayaan Publik. *Jurnal Komunikasi Kebencanaan*, 8(2), 112–128.
- Arifin, Z., & Wibowo, A. (2024). *Sosiologi Bencana: Refleksi Kemanusiaan dan Solidaritas Sosial di Era Krisis Iklim*. Pustaka Akademika.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana [BNPB]. (2023). *Kajian Risiko Bencana Tsunami Nasional 2023-2027*. Direktorat Pemetaan dan Evaluasi Risiko Bencana BNPB.
- Benazir, B., Kuswandi, K., Aslami, M. H., Ikhwal, M. F., & Hijah, S. N. (2022). Estimasi Waktu Kedatangan Tsunami Berdasarkan Patahan Segmen Aceh-Andaman untuk Daratan Pantai Utara Aceh. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 13(2), 125–138. <https://doi.org/10.32679/jth.v13i2.715>
- Daryono, D., & Supendi, P. (2021). Arsitektur dan Kinerja Indonesia Tsunami Early Warning System (InaTEWS) dalam Mendeteksi Gempa Megathrust. *Jurnal Seismologi Indonesia*, 15(2), 45–58.
- Desderius, K., & Nugrah, N. N. (2023). Tinjauan Kebijakan dalam Upaya Pengurangan Risiko Bencana di Kabupaten Blitar, Jawa Timur. *UNS Journal of Public Administration*, 7(1), 1–15.
- Fitri, Y. (2023). *Strategi Kolaborasi Kelembagaan untuk Mitigasi Bencana*. Lembaga Ketahanan Nasional RI.

- Fitri, Y., & Arifin, Z. (2021). Konsep Tawakal dan Ikhtiar dalam Resiliensi Psikologis Penyintas Bencana Alam di Indonesia. *Jurnal Psikologi Islam*, 10(2), 55–70.
- Fitri, Y., & Susanto, B. (2022). Pemanfaatan Platform Digital dan Media Sosial dalam Preservasi Pengetahuan Lokal Kebencanaan. *Jurnal Ilmu Komunikasi dan Informasi*, 15(3), 134–148.
- Grindle, M., & Hilderbrand, M. E. (1995). Building Sustainable Capacity in the Public Sector: What Can Be Done? *Public Administration and Development*, 15, 441–463.
- Haryono, T., & Santoso, B. (2021). Revitalisasi Kentongan dan Bedug sebagai Instrumen Komunikasi Risiko Bencana Berbasis Kultural di Pulau Jawa. *Jurnal Komunikasi Budaya*, 9(1), 45–60.
- Hasnaa, A. L., & Darumurti, A. (2023). Collaborative governance dalam mitigasi bencana banjir rob di Kota Pekalongan. *Jurnal Ilmu Sosial dan Ilmu Politik Universitas Jambi (JISIP-UNJA)*, 7(1), 25–37.
- Hidayat, E., & Pratama, R. (2022). Pendekatan Partisipatif dan Integrasi Data Geospasial dalam Perencanaan Sistem Peringatan Dini Tsunami. *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Mitigasi*, 8(1), 45–58.
- Hidayat, M., & Kusuma, A. (2022). Peran Kampung Siaga Bencana (KSB) dalam Peningkatan Kapasitas Mitigasi Masyarakat Pesisir. *Jurnal Pemberdayaan Masyarakat*, 8(2), 112–125.
- Hidayat, R., & Kusuma, A. (2023). Model Kolaborasi Pentahelix dalam Pengurangan Risiko Bencana Tsunami di Kawasan Pesisir. *Jurnal Kebijakan Publik dan Tata Kelola*, 12(2), 145–160.
- Hidayat, R., & Mulyani, S. (2025). Arah Riset Masa Depan dalam Manajemen Bencana: Potensi Integrasi Big Data dan Internet of Things (IoT). *Jurnal Inovasi Teknologi Kebencanaan*, 10(1), 45–60.
- Hidayat, R., & Wibowo, A. (2022). Integrasi Sistem Peringatan Dini Hibrida: Pendekatan "High-Tech Meets High-Touch" dalam Mitigasi Tsunami. *Jurnal Manajemen Bencana dan Inovasi Teknologi*, 6(2), 112–128.

- Hidayati, N., & Suryanto, A. (2024). Erosi Pengetahuan Tradisional di Era Modernisasi: Tantangan Preservasi Kearifan Lokal dalam Kurikulum Pendidikan Kebencanaan. *Jurnal Pendidikan Geografi*, 11(1), 34–48.
- Howlett, M., Ramesh, M., & Perl, A. (2020). *Studying Public Policy: Principles and Processes* (4th ed.). Oxford University Press.
- Kusuma, A., & Arifin, Z. (2022). Desain Sistem Peringatan Dini Adaptif terhadap Perubahan Lingkungan Pesisir. *Jurnal Ilmu Lingkungan dan Bencana*, 15(2), 77–90.
- Kusuma, A., & Fitri, Y. (2023). Membangun Budaya Sadar Bencana Sejak Dini: Pendekatan Pedagogis dan Kultural di Kawasan Pesisir. *Jurnal Pendidikan Mitigasi*, 8(2), 112–128.
- Kusuma, A., & Susanto, B. (2022). Analisis Kerentanan Sosial-Ekonomi Masyarakat Pesisir terhadap Ancaman Tsunami di Selatan Jawa. *Jurnal Geografi Lingkungan*, 14(2), 112–128.
- Kusuma, A., & Yuliana, E. (2022). Solidaritas Sosial dan Budaya Gotong Royong dalam Respons Cepat Bencana di Kawasan Pesisir Barat Sumatera. *Jurnal Sosiologi Pedesaan*, 15(3), 134–148.
- Kusuma, R. M., & Susanto, A. (2022). Pemanfaatan Media Sosial dan SMS Blast sebagai Saluran Alternatif Diseminasi Peringatan Dini Tsunami. *Jurnal Ilmu Komunikasi dan Informasi*, 14(3), 210–224.
- Lugas, Y. P., & Anik, S. W. (2020). Manajemen Mitigasi Bencana dengan Kelembagaan Masyarakat di Kabupaten Garut. *Sawala: Jurnal Administrasi Negara*, 8(2), 85–96.
- Muhari, A., dkk. (2021). Pemodelan Tsunami Akibat Longsoran Bawah Laut dan Aktivitas Vulkanik: Pembelajaran dari Palu dan Selat Sunda. *Jurnal Ilmu Kebencanaan*, 8(1), 45–60.
- Mulyani, S., & Arifin, Z. (2024). Integrasi Kearifan Lokal dalam Kurikulum Pendidikan Kebencanaan dan Kebijakan Publik. *Jurnal Pendidikan Geografi dan Mitigasi*, 15(1), 33–48.

Mulyani, S., & Hidayat, R. (2022). Strategi Komunikasi Risiko Berbasis Komunitas: Pelibatan Tokoh Agama dan Saluran Informal dalam Mitigasi Bencana. *Jurnal Sosiologi Komunikasi*, 14(1), 45–60.

Mulyani, S., & Kusuma, A. (2024). Sosialisasi Mitigasi Bencana Melalui Kesenian Tradisional: Efektivitas Wayang dan Teater Rakyat dalam Komunikasi Risiko. *Jurnal Komunikasi Budaya dan Masyarakat*, 12(1), 210–225.

Mulyani, S., & Pratama, R. (2023). Mitos dan Cerita Rakyat sebagai Media Edukasi Kesiapsiagaan Bencana pada Komunitas Nelayan Tradisional. *Jurnal Sastra dan Kearifan Lokal*, 11(2), 210–225.

Mutaqin, A. Z., & Muslim, M. (2022). Peran Tokoh Agama dan Budaya Gotong Royong dalam Kesiapsiagaan Bencana di Kawasan Pesisir. *Jurnal Sosiologi Kebencanaan*, 4(2), 112–125.

Mutiarin, D., & Sari, P. (2021). Pengembangan Prosedur Operasional Standar (SOP) dan Klasifikasi Ancaman dalam Diseminasi Peringatan Dini Bencana. *Jurnal Kebijakan Publik dan Administrasi*, 14(3), 210–225.

Mutiarin, D., & Sari, P. (2023). Evaluasi Kapasitas Kelembagaan Lokal dalam Manajemen Bencana: Analisis Kesenjangan Sumber Daya di Wilayah Rawan Tsunami. *Jurnal Administrasi Publik dan Kebijakan*, 9(2), 210–225.

Nugroho, S. P., & Fitri, Y. (2023). Dinamika Koordinasi Vertikal dan Horizontal Kelembagaan Lokal dalam Penanganan Tanggap Darurat Bencana. *Jurnal Kebijakan Publik*, 14(1), 55–70.

Nugroho, S. P., & Mutiarin, D. (2021). Jaringan Komunikasi Komunitas Berbasis Radio Amatir dan Tradisi Lisan dalam Diseminasi Peringatan Dini. *Jurnal Sosiologi Kebencanaan*, 5(1), 55–70.

Nugroho, S. P., & Rahayu, S. (2021). Tantangan Operasional dan Kendala Teknis Pemeliharaan Infrastruktur Tsunami Early Warning System (TEWS) di Indonesia. *Jurnal Manajemen Bencana*, 7(1), 22–35.

Nugroho, S. P., & Santoso, B. (2024). Studi Komparasi Internasional Sistem Peringatan Dini Tsunami Hibrida: Pembelajaran dari Jepang, Cile, dan Indonesia. *Jurnal Kajian Kebencanaan Global*, 5(1), 77–92.

- Nugroho, S. P., & Setiawan, B. (2024). Integrasi Sistem Peringatan Dini Tsunami dalam Arsitektur Smart City di Wilayah Pesisir Indonesia. *Jurnal Perencanaan Kota Cerdas*, 5(2), 134–148.
- Nugroho, S. P., & Wibowo, A. (2025). Penyusunan Indikator Kinerja Utama (KPI) dan Rencana Aksi Jangka Panjang Ketangguhan Desa Pesisir. *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Ketahanan Bencana*, 10(2), 112–128.
- Nugroho, S. P., & Yuliana, E. (2024). Strategi Pemeliharaan Preventif dan Keberlanjutan Infrastruktur Peringatan Dini Tsunami di Indonesia. *Jurnal Ketahanan Infrastruktur*, 9(1), 33–48.
- Peraturan BNPB Nomor 4 Tahun 2022 tentang Pelaksanaan Peringatan Dini Bencana pada Badan Nasional Penanggulangan Bencana dan Badan Penanggulangan Bencana Daerah.
- Prabowo, A., & Hidayat, R. (2022). Analisis Kerentanan Seismik dan Potensi Megathrust di Kawasan Rawan Bencana Indonesia. *Jurnal Geosains dan Teknologi*, 5(2), 112–125. <https://doi.org/10.14710/jgt.5.2.112-125>
- Pratama, A., & Rahman, A. (2025). Sintesis Teoretis Manajemen Bencana Kontemporer: Menjembatani Sains, Teknologi, dan Kearifan Lokal. *Jurnal Ilmu Administrasi Publik dan Bencana*, 12(2), 210–225.
- Pratama, A., & Setiawan, B. (2022). Optimalisasi Pemanfaatan Dana Desa untuk Program Kesiapsiagaan dan Mitigasi Bencana Alam. *Jurnal Ekonomi Desa dan Pembangunan*, 6(1), 77–90.
- Pratama, A., & Yuliana, E. (2022). Formalisasi Peran Pemerintah Desa dalam Sistem Peringatan Dini Bencana Nasional. *Jurnal Administrasi Pemerintahan Desa*, 8(1), 55–70.
- Pratama, A., & Yuliana, E. (2023). Pemetaan Kearifan Lokal Menggunakan Geographic Information System (GIS) untuk Pengurangan Risiko Bencana di Pesisir Jawa. *Jurnal Geospasial dan Mitigasi*, 10(1), 45–60.
- Pratama, A. R., & Mutiarin, D. (2023). Inovasi Komunikasi Risiko Bencana: Pemanfaatan Aplikasi InaRISK dan WRS NewGen dalam Diseminasi Peringatan Dini. *Jurnal Komunikasi Bencana*, 5(2), 112–125.

- Pratama, R., & Hidayat, E. (2023). Pemetaan Kawasan Rawan Bencana (KRB) Tsunami Berbasis Sistem Informasi Geografis di Pesisir Barat Sumatera. *Jurnal Geospasial Indonesia*, 10(1), 22–35.
- Pujianto, A., & Hidayat, R. (2023). Arsitektur Tradisional Nusantara sebagai Mitigasi Bencana Gempa Bumi: Studi Kasus Omo Hada dan Rumah Gadang. *Jurnal Arsitektur Zonasi*, 6(2), 145–158.
- Putri, A., Taqyuddin, & Nurlambang, T. (2022). Mitigasi Bencana Berbasis Kearifan Lokal (Local Knowledge, Local Wisdom, dan Local Genius). *Geodika: Jurnal Kajian Ilmu dan Pendidikan Geografi*, 6(1), 89–98.
- Rahayu, S., & Purnomo, E. P. (2022). Hambatan Institusional dan Fragmentasi Kebijakan dalam Penanggulangan Bencana di Indonesia. *Jurnal Studi Pemerintahan*, 13(2), 145–162.
- Rahman, A., & Fitri, Y. (2023). Mekanisme Verifikasi dan Validasi Informasi Peringatan Dini Tsunami Berjenjang di Tingkat Daerah. *Jurnal Manajemen Bencana Indonesia*, 10(2), 134–148.
- Rahman, A., & Hidayat, M. (2024). Integrasi Nilai Teologis dan Mitigasi Bencana: Peran Masjid sebagai Shelter Darurat dan Pusat Dakwah Kesiapsiagaan. *Jurnal Sosiologi Agama dan Bencana*, 8(1), 77–92.
- Rahman, A., & Sakurai, A. (2021). The "Smong" Phenomenon and Its Implications for Tsunami Mitigation in Simeulue Island, Indonesia. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 52, 101972.
- Rahman, A., & Sari, P. (2023). Evaluasi Penerimaan Masyarakat terhadap Sistem Peringatan Dini Hibrida: Studi Kasus Simulasi Evakuasi Berbasis Skenario Lokal. *Jurnal Administrasi Publik dan Kebijakan*, 9(2), 88–102.
- Rahman, A., & Susanto, B. (2024). Sinergi Akademisi dan Praktisi dalam Riset Inovasi Mitigasi Bencana Hibrida. *Jurnal Sosiologi Kebencanaan dan Inovasi*, 7(2), 88–102.
- Rahman, A., & Wibowo, A. (2022). Pengembangan Peta Evakuasi Partisipatif dan Media Edukasi Kontekstual dalam Kesiapsiagaan Tsunami. *Jurnal Geografi dan Pemberdayaan Masyarakat*, 15(3), 88–102.

Rahmawati, S. A. (2025). Sistem Early Warning Berbasis Elektronika untuk Mitigasi Bencana Alam. *Jurnal Ilmu Sains dan Teknologi*, 4(1), 20–35.

Šakić Trogrlić, R., et al. (2022). Integrating Indigenous and Local Knowledge into Flood Early Warning Systems: A Critical Review. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 75, 102977. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.102977>

Santoso, B., & Arifin, T. (2024). Analisis Keterlambatan Waktu (Time Lag) dalam Transmisi Data Sensor Seismik dan Buoy pada Sistem Peringatan Dini Tsunami. *Jurnal Instrumentasi dan Teknologi Geofisika*, 12(1), 55–68.

Santoso, B., & Arifin, Z. (2021). Modernisasi Instrumen Komunikasi Tradisional: Rancang Bangun Kentongan Elektrik Terintegrasi Sensor Gempa. *Jurnal Rekayasa Teknologi Kebencanaan*, 8(2), 77–92.

Santoso, B., & Sari, P. (2022). Legitimasi Hukum dan Insentif Kebijakan bagi Komunitas Pelestari Tradisi Mitigasi Bencana. *Jurnal Hukum dan Kebijakan Publik*, 14(3), 210–225.

Santoso, B., & Sari, P. (2023). Implementasi Teknologi Virtual Reality (VR) sebagai Media Edukasi dan Simulasi Evakuasi Bencana Tsunami. *Jurnal Edukasi Digital dan Simulasi*, 6(1), 33–48.

Sari, D. P., & Mutiarin, D. (2021). Evaluasi Kebijakan Pengurangan Risiko Bencana Berbasis Analisis Ancaman, Kerentanan, dan Kapasitas (HVC). *Jurnal Ilmu Pemerintahan*, 14(1), 45–60. <https://doi.org/10.31000/jip.v14i1.4560>

Sari, M., & Rahman, A. (2020). Evaluasi Kerusakan Infrastruktur dan Strategi Rehabilitasi Pasca-Tsunami Palu 2018. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 22(2), 134–148.

Sari, P., & Yuliana, E. (2023). Seruan Aksi Kolektif dalam Pengurangan Risiko Bencana: Sinergi Lintas Sektor Menuju Ketangguhan Nasional. *Jurnal Kebijakan Publik dan Tata Kelola*, 14(3), 134–148.

Setiawan, B., & Mutiarin, D. (2021). Sinergitas Kelembagaan dalam Pusat Pengendalian Operasi (Pusdalops) Penanggulangan Bencana. *Jurnal Ilmu Administrasi Publik*, 9(1), 34–48.

- Setiawan, B., & Wibowo, A. (2025). Perencanaan Pendanaan Jangka Panjang dan Skalabilitas Sistem Peringatan Dini Berbasis Komunitas. *Jurnal Ekonomi Pembangunan dan Mitigasi*, 7(1), 55–70.
- Shalih, O., & Nugroho, S. P. (2021). Analisis Perbandingan Dampak Kejadian Bencana Hidrometeorologi dan Geologi di Indonesia. *Jurnal Dialog Penanggulangan Bencana*, 12(1), 12–21.
- Sulistiyono, S., et al. (2024). Desa Labuhan Haji Tangguh Bencana Tsunami. *Jurnal PORTAL ABDIMAS*, 2(1), 56–65.
- Supriyanto, A., & Wulandari, R. (2022). Pengetahuan Ekologis Tradisional Masyarakat Pesisir dalam Membaca Tanda-Tanda Alam dan Perilaku Satwa sebagai Indikator Tsunami. *Jurnal Antropologi Ekologi*, 14(2), 112–128.
- Susanto, B., & Wibowo, A. (2021). Pengaruh Kepemimpinan Karismatik Tokoh Lokal terhadap Kepatuhan Evakuasi Bencana di Kawasan Pesisir. *Jurnal Sosiologi Kebencanaan*, 5(2), 134–148.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana.
- Wahyudi, I., & Mutiarin, D. (2024). Kebijakan Tata Ruang Berbasis Mitigasi Bencana: Implementasi Zona Sempadan Pantai di Kawasan Rawan Tsunami. *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, 15(1), 55–70.
- Wibisono, A., & Fitri, Y. (2023). Peran Media Massa dan Jurnalisme Bencana dalam Edukasi Publik dan Diseminasi Peringatan Dini. *Jurnal Ilmu Komunikasi Kebencanaan*, 9(1), 77–92.
- Wibisono, A., & Fitri, Y. (2025). Pemanfaatan Kecerdasan Buatan (AI) dan Big Data dalam Analisis Cepat Peringatan Dini Tsunami. *Jurnal Teknologi Informasi dan Mitigasi*, 9(2), 210–225.
- Wibisono, A., & Haryanto, E. (2022). Evaluasi Efektivitas Jangkauan Suara Sirene Tsunami dan Prosedur Aktivasinya di Kawasan Pesisir. *Jurnal Teknik Elektro dan Komunikasi*, 10(1), 33–45.
- Wibisono, A., & Santoso, B. (2023). Desain Jaringan Komunikasi Redundan dan Pemilihan Teknologi Sensor untuk Tsunami Early Warning System. *Jurnal Teknik Elektro dan Telekomunikasi*, 11(2), 112–125.

- Wibisono, A., & Susanto, B. (2026). Etika dan Filosofi Mitigasi: Menghargai Warisan Leluhur di Tengah Dominasi Kecerdasan Buatan. *Jurnal Filsafat dan Etika Lingkungan*, 9(1), 33–48.
- Wibowo, A. B., & Mulyani, S. (2021). Ritual Cok Bakal dan Ekologi Spiritual: Pendekatan Kultural dalam Mitigasi Bencana Longsor di Jawa. *Jurnal Sosiologi Agama*, 15(1), 45–60.
- Wibowo, A., & Herawati, N. R. (2024). Peran Aktor Non-Pemerintah dalam Collaborative Governance Penanggulangan Bencana Alam. *Jurnal Kebijakan Publik*, 15(1), 77–89.
- Wibowo, A., & Mutiarin, D. (2023). Literasi Lingkungan dan Fenomena Oseanografi Tradisional: Membaca Surutnya Air Laut sebagai Peringatan Dini Tsunami. *Jurnal Ilmu Kelautan dan Sosial*, 12(1), 33–48.
- Widodo, S., & Arifin, Z. (2021). Sinergitas Pemerintah Desa dan Badan Permusyawaratan Desa (BPD) dalam Kebijakan Penanggulangan Bencana. *Jurnal Ilmu Pemerintahan Nusantara*, 12(1), 45–58.
- Yuliana, E., & Pratama, A. (2024). Peningkatan Kapasitas Respons dan Evakuasi Inklusif bagi Kelompok Rentan di Kawasan Rawan Tsunami. *Jurnal Manajemen Bencana dan Resiliensi*, 11(1), 77–92.
- Yuliana, E., & Rahman, A. (2024). Skema Kerjasama Antar-Desa dalam Manajemen Logistik Darurat dan Penanganan Pengungsi Bencana. *Jurnal Manajemen Bencana Indonesia*, 10(1), 33–48.
- Yuliana, E., & Setiawan, B. (2021). Efektivitas Sabuk Hijau Mangrove dalam Mereduksi Energi Gelombang Tsunami di Pesisir Indonesia. *Jurnal Ilmu Kelautan*, 18(3), 210–225.
- Yuliana, E., & Setiawan, H. (2023). Kerentanan Infrastruktur Peringatan Dini: Evaluasi Catu Daya Listrik dan Ancaman Blank Spot pada Peralatan TEWS. *Jurnal Ketahanan Infrastruktur*, 8(2), 88–102.
- Zulkarnain, F., & Arifin, T. (2022). Perencanaan Jalur Evakuasi dan Titik Kumpul Tsunami Berbasis Analisis Spasial di Kota Padang. *Jurnal Mitigasi Bencana*, 9(2), 88–102.

INDEKS

A

Akademisi, peran, 11.3.1 Akuntabilitas distributif, 2.2.4, 9.3 Ancaman, klasifikasi, 9.3.1 Ansell & Gash, 2.2.1 *Artificial Intelligence* (AI), 10.4.1, 12.3.2 *Augmented Reality* (AR), 10.4.2

B

Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), 5.1, 9.3.1, 11.1 Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), 1.2.3, 9.3.2 Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD), 1.2.3, 9.3.2 Bedug, 7.2.2, 8.3.1 *Big Data*, 12.3.2 *Blank spot*, 5.4.2 *Buoy* oseanografi, 5.1.1, 9.3.3

C

Cok Bakal, ritual, 3.2.2 *Collaborative governance*, 2.2, 11.3 *Corporate Social Responsibility* (CSR), 9.4.2, 11.3.3 *Cry wolf syndrome*, 9.3.3, 10.1.3

D

Dana Desa, 6.3.1, 9.4.2, 11.1.1 *Decision Support System* (DSS), 9.3, 10.4.1 Desa Tangguh Bencana (Destana), 2.3.1, 11.4.2 Disabilitas, kelompok, 10.3.3, 11.1.3 Diseminasi, efektivitas, 10.1, 10.2

E

Edukasi publik, 10.2.2, 11.3.2 Ego sektoral, 2.4.1, 10.4.3 Evakuasi, jalur, 4.4.2, 10.3.2 Evakuasi, simulasi, 8.4.3, 10.3.1

F

False alarm (peringatan palsu), 9.3.3, 10.1.1 Fragmentasi otoritas, 2.4.1

G

Geographic Information System (GIS), 8.2.2, 11.4.1 *Golden time*, 1.4.1, 10.1.1 Gotong royong, 3.3.1, 7.3.1, 12.2.1 Grindle & Hilderbrand, 2.1.2

H

High-Tech Meets High-Touch, 8.1.2, 12.1.1 HVC Analysis (*Hazard, Vulnerability, Capacity*), 1.3.1

I

InaRISK, aplikasi, 5.3.1 Indikator Kinerja Utama (KPI), 11.4.2 Inklusivitas, 1.4.2, 10.3.3, 11.1.3 *Internet of Things* (IoT), 10.4.4, 12.3.2

J

Jurnalisme bencana, 11.3.2

K

Kampung Siaga Bencana (KSB), 6.1.2, 10.3.1 Kapasitas kelembagaan, 2.1, 6.2, 11.1 Kearifan lokal, Bab 3, Bab 7, 11.2 Kelompok rentan, 1.4.2, 4.1.2, 10.3.3 Kentongan, 7.2.1, 8.3.1 Kepercayaan publik (*public trust*), 3.3.3, 10.1.3 Komunikasi risiko, 8.4, 10.2

L

Literasi kebijakan, 2.4.3 Literasi lingkungan, 7.1.3 Longsoran bawah laut, 4.2.1

M

Machine Learning, 10.4.1, 12.3.2 Mangrove, vegetasi, 4.4.3 Media sosial, 5.3.2, 8.2.3 *Megathrust*, 1.1.1, 10.1.1 Mitos dan legenda, 7.3.3, 11.2.1 Modal sosial, 2.3.1, 3.3

O

Omo Hada, 3.2.3 Otonomi desa, 2.3.3

P

Pemetaan partisipatif, 10.3.2 Pentahelix, model kolaborasi, 11.3 Peringatan dini hibrida, Bab 8, 11.4.1 Pusdalops, 2.3.2, 9.3.1

R

Rencana Aksi (*Roadmap*), 11.4 Rencana Kontinjensi, 11.1.1 Rumah Gadang, 3.2.3 *Run-up*, 10.1.2, 10.4.1

S Sempadan pantai, 4.4.1 Sendai Framework, 1.2.4 *Shelter* evakuasi, 7.4.2, 10.3.3 Sirene tsunami, 5.2, 9.3.2 *Smart City*, 10.4.4, 11.4.1 *Smong*, 3.2.1, 12.1.2 Solidaritas sosial, 3.3, 7.3.1, 12.2.1 Standar Operasional Prosedur (SOP), 9.3, 11.1.3

T

Tata ruang, 1.3.3, 4.4 *Tide gauge*, 5.1.1, 9.3.3 *Time lag* (latensi waktu), 5.4.4, 10.1.1 Tokoh adat/agama, 3.3.2, 7.3.2, 10.2.3 *Tsunami Early Warning System* (TEWS), Bab 5, Bab 9

U

Undang-Undang No. 24 Tahun 2007, 1.2.1

V

Virtual Reality (VR), 10.4.2, 12.2.3 Vulkanik, aktivitas, 4.2.1

W

Warning Receiver System (WRS), 5.3.1, 11.1.2

SINOPSIS

Buku referensi *Sinergi Teknologi dan Tradisi dalam Peringatan Dini Tsunami* menyajikan diskursus akademis yang sangat komprehensif mengenai urgensi pergeseran paradigma tata kelola mitigasi bencana di Indonesia. Berada di garis depan ancaman megathrust, Indonesia tidak dapat lagi bertumpu secara eksklusif pada pendekatan teknokratis yang sentralistik. Kegagalan operasional infrastruktur modern dan rendahnya tingkat kepatuhan evakuasi membuktikan bahwa teknologi peringatan dini sering kali teralienasi dari realitas sosiokultural masyarakat pesisir.

Sebagai respons atas celah tersebut, buku ini menawarkan gagasan inovatif berupa Sistem Peringatan Dini Hibrida yang mengusung filosofi *High-Tech Meets High-Touch*. Penulis membedah secara mendalam bagaimana kecanggihan instrumen modern—seperti sensor buoy, Internet of Things (IoT), hingga Kecerdasan Buatan (AI)—dapat dikawinkan secara harmonis dengan kekayaan kearifan lokal, seperti instrumen kentongan, kearifan *Smong* di Simeulue, dan legitimasi tokoh adat setempat. Melalui sintesis teoretis yang tajam, buku ini membuktikan bahwa tradisi dan modernitas bukanlah dua kutub yang saling meniadakan, melainkan elemen komplementer yang membentuk ekosistem resiliensi berlapis.

Lebih dari sekadar kajian teknis, karya ini juga menyoroti urgensi penguatan kapasitas kelembagaan lokal, formalisasi peran desa, dan penerapan tata kelola kolaboratif berbasis model *Pentahelix*. Dilengkapi dengan analisis kebijakan, studi komparasi, dan Rencana Aksi (Roadmap) yang terukur, buku ini menjadi panduan definitif yang sangat esensial bagi kalangan akademisi, pembuat kebijakan, dan praktisi kebencanaan di lapangan. Pada akhirnya, buku ini adalah sebuah seruan kemanusiaan untuk merawat warisan leluhur sekaligus merangkul inovasi masa depan, demi mewujudkan peradaban pesisir nusantara yang tangguh seutuhnya.

Sinergi Teknologi dan Tradisi dalam Peringatan Dini Tsunami

Buku referensi Sinergi Teknologi dan Tradisi dalam Peringatan Dini Tsunami menyajikan diskursus akademis yang sangat komprehensif mengenai urgensi pergeseran paradigma tata kelola mitigasi bencana di Indonesia. Berada di garis depan ancaman megathrust, Indonesia tidak dapat lagi bertumpu secara eksklusif pada pendekatan teknokratis yang sentralistik. Kegagalan operasional infrastruktur modern dan rendahnya tingkat kepatuhan evakuasi membuktikan bahwa teknologi peringatan dini sering kali teralienasi dari realitas sosiokultural masyarakat pesisir.

Sebagai respons atas celah tersebut, buku ini menawarkan gagasan inovatif berupa Sistem Peringatan Dini Hibrida yang mengusung filosofi High-Tech Meets High-Touch. Penulis membedah secara mendalam bagaimana kecanggihan instrumen modern—seperti sensor buoy, Internet of Things (IoT), hingga Kecerdasan Buatan (AI)—dapat dikawinkan secara harmonis dengan kekayaan kearifan lokal, seperti instrumen kentongan, kearifan Smong di Simeulue, dan legitimasi tokoh adat setempat. Melalui sintesis teoretis yang tajam, buku ini membuktikan bahwa tradisi dan modernitas bukanlah dua kutub yang saling meniadakan, melainkan elemen komplementer yang membentuk ekosistem resiliensi berlapis.

Lebih dari sekadar kajian teknis, karya ini juga menyoroti urgensi penguatan kapasitas kelembagaan lokal, formalisasi peran desa, dan penerapan tata kelola kolaboratif berbasis model Pentahelix. Dilengkapi dengan analisis kebijakan, studi komparasi, dan Rencana Aksi (Roadmap) yang terukur, buku ini menjadi panduan definitif yang sangat esensial bagi kalangan akademisi, pembuat kebijakan, dan praktisi kebencanaan di lapangan. Pada akhirnya, buku ini adalah sebuah seruan kemanusiaan untuk merawat warisan leluhur sekaligus merangkul inovasi masa depan, demi mewujudkan peradaban pesisir nusantara yang tangguh seutuhnya.



Palma One Building Lantai 7 Suite 7-O3, Jl. H.R Rasuna Said Kav X-2
No 4, Kuningan Timur, Setiabudi, Jakarta Selatan, DKI Jakarta 12950