

Skema Pendanaan: UTAMA

LAPORAN PENELITIAN



MODEL DESAIN AR-NUMPLAY: KERANGKA KERJA GAMIFIKASI UNTUK LEARNING EXPERIENCE KETERAMPILAN BERHITUNG DASAR

TIM PENELITI

Ketua : Kukuh Harsanto, S.Kom, M.Kom (170051)

Anggota : Subandi, S.Pd, M.M. (070051)

FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS BUDI LUHUR
FEBRUARI 2026

**HALAMAN PENGESAHAN
LAPORAN PENELITIAN**

Judul Penelitian : Model Desain AR-NumPlay: Kerangka Kerja Gamifikasi untuk Learning Experience Keterampilan Berhitung Dasar

Bidang Penelitian : Teknik Informatika

Ketua Peneliti

- a. Nama Lengkap : Kukuh Harsanto, S.Kom, M.Kom
- b. NIP/NIDN/ID-SINTA : 170051/0319059103/6043646
- c. Jabatan Fungsional : Lektor
- d. Program Studi : Sistem Informasi
- e. Nomor HP : 08221087293
- f. Alamat e-mail : kukuh.harsanto@budiluhur.ac.id

Anggota Peneliti (1)

- a. Nama Lengkap : Subandi, S.Pd, M.M.
- b. NIP/NIDN/ID-SINTA : 070051/0314097004/6647455

Anggota Peneliti (2)

- a. Nama Lengkap : -
- b. NIP/NIDN/ID-SINTA : -

Mahasiswa (1)

- a. Nama Lengkap : Muhammad Ghafiqi Fadhlullah
- b. NIM : 2512500402

Mahasiswa (2)

- a. Nama Lengkap : -
- b. NIM : -

Lama Penelitian : 6 bulan

Biaya Penelitian

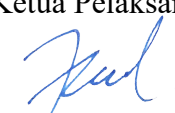
- a. Sumber Universitas Budi Luhur : Rp. 15.000.000,00
- b. Sumber lain (sebutkan jika ada) : Rp. 0

Jakarta, 23 Februari 2026

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknologi Informasi

(Dr.Ir. Achmad Solichin, S.Kom., M.T.I)
NIP. 050023

Ketua Pelaksana


(Kukuh Harsanto, S.Kom, M.Kom)
NIP. 170051

Menyetujui,
Direktur Riset dan Pengabdian Kepada Masyarakat

(Prof. Dr. Ir. Prudensius Maring, M.A.)
NIP 190043

RINGKASAN

Pembelajaran keterampilan berhitung dasar (numerasi) pada anak usia dini sering terkendala oleh metode pengajaran yang bersifat abstrak dan kurang menarik bagi siswa. Meskipun teknologi *Augmented Reality* (AR) dan gamifikasi menawarkan potensi solusi imersif, pengembangannya saat ini masih bersifat *ad-hoc* karena ketiadaan kerangka kerja desain yang terstandarisasi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan memvalidasi "Model Desain AR-NumPlay", sebuah kerangka kerja sistematis guna meningkatkan *learning experience* siswa melalui interaksi fisik (*embodied interaction*). Metode penelitian yang digunakan adalah *Design-Based Research* (DBR) yang mencakup lima tahapan: desain konseptual, validasi pakar, pengembangan prototipe, evaluasi pengguna, dan analisis model final. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Model AR-NumPlay v1.0 telah tervalidasi secara empiris dengan perolehan skor *User Experience Questionnaire* (UEQ) pada skala Kebaruan (+2,58) dan Stimulasi (+2,42) yang masuk dalam kategori *Excellent*. Temuan ini membuktikan bahwa integrasi interaksi fisik AR dan sistem hibrida efektif dalam menciptakan pengalaman belajar yang konkret dan memotivasi. Luaran penelitian ini meliputi dokumen model desain, Sertifikat Hak Kekayaan Intelektual (HKI) status *Granted* untuk program komputer "Arith-AR", serta draf artikel ilmiah untuk Jurnal Nasional Terakreditasi Sinta 2.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan akhir penelitian yang berjudul "**Model Desain AR-NumPlay: Kerangka Kerja Gamifikasi untuk Learning Experience Keterampilan Berhitung Dasar**". Laporan ini disusun sebagai bentuk pertanggungjawaban ilmiah atas pengembangan model desain yang mengintegrasikan teknologi *Augmented Reality* (AR) dan gamifikasi guna mengoptimalkan pengalaman belajar numerasi anak usia dini.

Penelitian ini berhasil merumuskan kerangka kerja sistematis yang diharapkan dapat menjadi panduan praktis bagi pengembang teknologi pendidikan dalam menciptakan aplikasi yang edukatif sekaligus menyenangkan. terselesaikannya karya ini tidak lepas dari bimbingan serta dukungan berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan terima kasih yang tulus kepada:

1. **Bapak Prof. Dr. Agus Setyo Budi, M.Sc.**, selaku Rektor Universitas Budi Luhur, atas dukungan penuh dan motivasi dalam memfasilitasi setiap kegiatan penelitian di lingkungan universitas.
2. **Bapak Dr. Ir. Achmad Solichin, S.Kom., M.T.I.**, selaku Dekan Fakultas Teknologi Informasi Universitas Budi Luhur, atas arahan dan dorongan dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknologi informasi.
3. **Bapak Prof. Dr. Ir. Prudensius Maring, M.A.**, selaku Kepala Direktorat Riset dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Budi Luhur, atas bantuan administratif dan koordinasi yang memungkinkan penelitian ini terlaksana dengan baik.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih memiliki ruang untuk penyempurnaan. Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan di masa mendatang. Semoga laporan ini memberikan manfaat nyata bagi perkembangan dunia pendidikan berbasis teknologi di Indonesia.

Jakarta, Februari 2026

Penulis,

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
RINGKASAN	ii
PRAKATA.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN.....	vii
1. Latar Belakang dan Rumusan Masalah.....	1
2. Pendekatan Pemecahan Masalah.....	1
3. <i>State of the art</i> dan Kebaruan.....	2
4. Peta jalan (<i>road map</i>) penelitian 5 tahun	3
BAB II METODE	6
1. Diagram Penelitian.....	6
2. Tahap Peneleitian.....	7
BAB III HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN	10
BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN	19
DAFTAR PUSTAKA	21
LAMPIRAN.....	23

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Peta Jalan Penelitian.....	3
Tabel 2 Matriks Sintesis Model Konseptual AR-NumPlay v0.1	11
Tabel 3 Matriks Revisi Model Berdasarkan Validasi Pakar	13

DAFTAR GAMBAR

Gambar. 1 Diagram Alur Penelitian.....	6
Gambar. 2 Skema Arsitektur Konseptual Model AR-NumPlay yang Mengintegrasikan Tiga Domain Utama.....	12
Gambar. 3 Tampilan Antarmuka Deteksi Permukaan Menggunakan Teknologi Markerless AR.	15
Gambar. 4 Tampilan Gameplay Utama AR di mana Objek 3D Muncul di Lantai Ruang Nyata untuk Dihitung Siswa.	15
Gambar. 5 Tampilan Modul Evaluasi untuk Penguatan Konsep Pasca-Sesi AR.....	16

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Realisasi Penggunaan Anggaran.....	23
Lampiran 2. Surat Perjanjian Kontrak Penelitian.....	25
Lampiran 3. Catatan Harian	28
Lampiran 4. Artikel Ilmiah (submitted).....	30
Lampiran 5. HKI.....	36

BAB I PENDAHULUAN

1. Latar Belakang dan Rumusan Masalah

Penguasaan keterampilan berhitung dasar (numerasi) merupakan fondasi esensial bagi keberhasilan akademik siswa di jenjang selanjutnya, khususnya dalam disiplin Sains, Teknologi, Teknik, dan Matematika (STEM) (1). Namun, metode pengajaran berhitung tradisional di tingkat pendidikan anak usia dini seringkali bersifat abstrak, repetitif, dan kurang menarik, sehingga gagal memotivasi siswa (2). Hal ini sejalan dengan tantangan yang diidentifikasi dalam pembelajaran STEM, di mana materi yang padat dan teknis dapat menurunkan pengalaman belajar siswa (3).

Teknologi *mobile learning* menawarkan solusi untuk mengatasi masalah ini (4). Dua teknologi yang menunjukkan potensi besar adalah *Augmented Reality* (AR) (5) dan gamifikasi (6). AR mampu menciptakan lingkungan belajar imersif yang memadukan dunia nyata dan digital (7). Teknologi ini memungkinkan siswa berinteraksi secara fisik dengan objek pembelajaran virtual, menciptakan pengalaman belajar yang lebih kontekstual dan *embodied*. Di sisi lain, gamifikasi atau penggunaan elemen desain gametelah terbukti efektif meningkatkan motivasi, keterlibatan, dan kesenangan belajar siswa (8).

Meskipun banyak aplikasi *mobile learning* untuk matematika telah dikembangkan, terdapat keterbatasan panduan atau kerangka kerja desain yang secara spesifik merumuskan cara terbaik mengintegrasikan interaksi AR dan elemen gamifikasi untuk audiens anak usia dini yang sedang mempelajari keterampilan berhitung dasar (9). Penelitian "m-BioP" (10) menyoroti masalah serupa di domain STEM, di mana panduan yang ada seringkali hanya berfokus pada aspek *usability* teknis, dan gagal menangani *student learning experience* (pengalaman belajar) secara holistik (11). Kesenjangan inilah yang menjadi fokus utama penelitian ini.

Oleh karena itu, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: "Bagaimana merancang sebuah model desain aplikasi *mobile learning* yang mengintegrasikan AR dan elemen game secara efektif untuk meningkatkan *learning experience* siswa dalam menguasai keterampilan berhitung dasar?"

2. Pendekatan Pemecahan Masalah

Penelitian ini mengusulkan pendekatan *Design-Based Research* (DBR) untuk memecahkan masalah tersebut. Tujuannya adalah untuk merancang, mengembangkan, dan memvalidasi sebuah model desain baru yang disebut "Model Desain AR-NumPlay". Pendekatan pemecahan masalah mengikuti alur metodologi sebagai berikut

1. **Perancangan Model Konseptual:** Merancang draf awal "Model AR-NumPlay" yang terdiri dari komponen-komponen inti, seperti: (a) Pedagogi Numerasi (prinsip belajar berhitung anak usia dini), (b) Desain Gamifikasi

(prinsip *reward*, *feedback*, dan *challenge*), dan (c) Interaksi AR (*embodied interaction*).

2. **Validasi Pakar:** Model konseptual akan divalidasi secara kualitatif oleh para ahli di bidang HCI, Pendidikan Anak Usia Dini, dan Teknologi Pendidikan
3. **Pengembangan Prototipe:** Sebuah prototipe aplikasi *mobile learning* AR akan dikembangkan. Prototipe ini berfungsi sebagai *proof-of-concept* yang dibangun secara ketat berdasarkan prinsip-prinsip "Model AR-NumPlay" yang telah divalidasi.
4. **Evaluasi Pengguna (Validasi Model):** Prototipe akan diuji coba secara eksperimental pada responden target (siswa sekolah dasar). Data akan dikumpulkan menggunakan **User Experience Questionnaire (UEQ)**, sebuah alat ukur standar industri untuk menilai kualitas pragmatis (fungsional) dan hedonis (pengalaman) dari produk.
5. **Analisis dan Kesimpulan:** Jika hasil UEQ menunjukkan skor yang tinggi, hal ini akan menjadi bukti validasi bahwa "Model AR-NumPlay" yang diusulkan berhasil menyediakan *learning experience* yang positif bagi siswa .

3. *State of the art* dan Kebaruan

Penelitian *game-based learning* (GBL) telah berkembang pesat. *State of the art* saat ini mencakup beberapa area:

1. **Pedagogi Imersif:** Penelitian telah mengeksplorasi kerangka kerja pedagogis untuk pembelajaran bahasa menggunakan AR, seperti model DGBLL yang mengidentifikasi komponen Teori, Agen, Teknologi, dan Game .
2. **Asesmen Imersif:** Penelitian lain berfokus pada *cara mengukur* pembelajaran di dalam lingkungan imersif, seperti usulan *Game-Based Assessment Framework* (GBAF) untuk menilai kompetensi kognitif.
3. **Model Desain Domain-Spesifik:** Penelitian sebelumnya (12) berhasil mengusulkan dan memvalidasi model desain untuk aplikasi AR-Gamifikasi di bidang STEM (Matematika), namun dengan target audiens siswa usia 12-15 tahun

Kebaruan (Novelty) dari penelitian ini adalah:

1. **Kontribusi Utama:** Penelitian ini mengusulkan sebuah kerangka kerja desain baru ("AR-NumPlay"), yang tidak berfokus pada asesmen atau pedagogi umum , melainkan pada panduan praktis untuk menciptakan *learning experience* yang tinggi.
2. **Konteks Target (Domain & Audiens):** Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang menasar STEM untuk anak usia 12-15 tahun, "AR-NumPlay" dirancang secara spesifik untuk keterampilan berhitung dasar (numerasi) pada anak usia dini. Audiens ini memiliki kebutuhan kognitif dan tantangan HCI (*Human-Computer Interaction*) yang unik dan berbeda.

3. **Metodologi Validasi:** Penelitian ini mengadopsi metodologi validasi modern dengan **fokus pada *Learning Experience*** menggunakan alat ukur standar (UEQ), melampaui evaluasi *usability* konvensional.

4. Peta jalan (*road map*) penelitian 5 tahun

Peta jalan ini memposisikan penelitian yang diusulkan (Tahun 1) sebagai fondasi esensial untuk evolusi penelitian menuju sistem AR yang lebih cerdas dan adaptif, dengan rekam jejak peneliti sebagai landasannya.

Tabel 1. Peta Jalan Penelitian

Tahun	Fokus Penelitian	Deskripsi & Metodologi (Aspek Teknik Informatika)	Luaran / Capaian
Peta Dasar (Baseline)			
2023	1. AR Animal Recognition Game	Implementasi & uji coba interaksi AR dasar untuk anak usia dini.	- Prototipe AR fungsional - Validasi awal kelayakan teknis & <i>engagement</i> HCI
2024	2. AR Game Geometri (Etnomatematika)	Implementasi AR untuk domain matematika (konsep abstrak).	- Prototipe AR fungsional untuk domain spesifik - Gap: Belum ada model desain formal yang tervalidasi
Peta Jalan (Future Work)			
Tahun 1 (2025)	Desain & Validasi Model AR-NumPlay (Penelitian Saat Ini)	Fokus: Mengisi kesenjangan baseline. - Kontribusi RPL/IMK: Merancang <i>Model AR-NumPlay</i> (komponen: Pedagogi, Gamifikasi, Interaksi AR) - Validasi model oleh pakar - Mengembangkan prototipe sebagai	- Model Desain AR-NumPlay v1.0 (Framework) - Publikasi ilmiah yang mengusulkan <i>design framework</i> baru

Tahun	Fokus Penelitian	Deskripsi & Metodologi (Aspek Teknik Informatika)	Luaran / Capaian
		instansiasi model - Validasi empiris menggunakan <i>User Experience Questionnaire (UEQ)</i>	
Tahun 2 (2026)	Integrasi Model Asesmen (GBAF) & Uji Efektivitas Kognitif	Fokus: Memperluas model dengan komponen asesmen. - Kontribusi Analitika: Merancang <i>scoring metrics & learning outcomes</i> berdasarkan prinsip <i>Game-Based Assessment Framework (GBAF)</i> - Studi kuasi-eksperimen (pre/post-test) untuk mengukur efektivitas kognitif	- Model AR-NumPlay v2.0 (dengan modul asesmen) - Bukti empiris efektivitas kognitif
Tahun 3 (2027)	Implementasi Arsitektur Adaptive Scaffolding (Rule-Based)	Fokus: Menambahkan kecerdasan buatan sederhana (logika adaptif). - Kontribusi Sistem Cerdas: Merancang & mengimplementasikan sistem adaptif berbasis aturan (<i>rule-based</i>) - Logika IF-THEN memicu <i>scaffolding</i> (bantuan) berdasarkan data asesmen real-time	- Model AR-NumPlay v3.0 (dengan adaptive logic) - Prototipe AR adaptif
Tahun 4 (2028)	Eksplorasi Personalisasi Berbasis Learning Analytics	Fokus: Beralih ke personalisasi berbasis data. - Kontribusi Analitika Data: Mengumpulkan data telemetri/log interaksi - Menerapkan <i>clustering</i> untuk membuat model profil pelajar (<i>student profile</i>)	- Model profil pelajar (<i>student profile</i>) - Dashboard <i>Learning Analytics</i>
Tahun 5 (2029)	Model Holistik AR-NumPlay	Fokus: Memfinalisasi kerangka kerja yang	- Buku panduan/pedoman

Tahun	Fokus Penelitian	Deskripsi & Metodologi (Aspek Teknik Informatika)	Luaran / Capaian
	Adaptif & Diseminasi	komprehensif. - Kontribusi RPL Final: Merumuskan <i>Kerangka Kerja Desain AR-NumPlay Adaptif</i> (Desain LX + Asesmen GBAF + Personalisasi AI)	desain (Design Guideline) final - Publikasi jurnal Q1

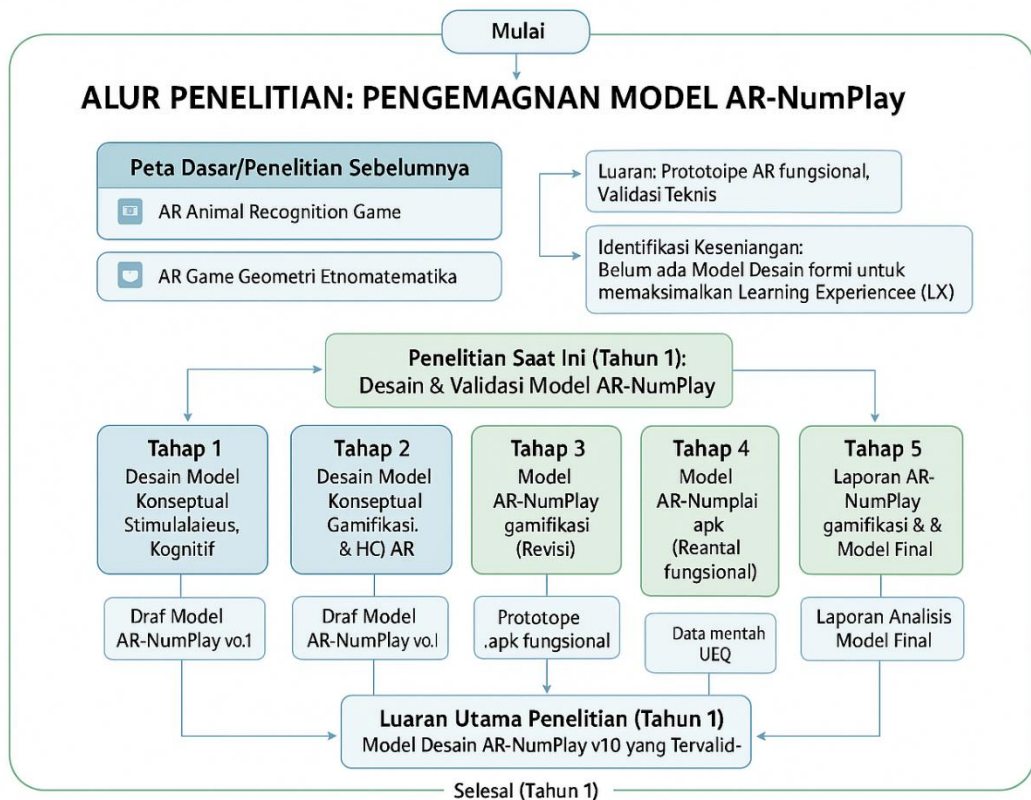
BAB II METODE

Metode penelitian yang akan digunakan untuk mencapai tujuan penelitian adalah Design-Based Research (DBR). Pendekatan ini dipilih karena karakteristiknya yang iteratif dan sangat relevan dengan tujuan penelitian di bidang Teknik Informatika, yang tidak hanya bertujuan untuk memahami suatu fenomena, tetapi juga untuk merancang dan mengembangkan sebuah artefak komputasi baru dalam hal ini sebuah "Model Desain AR-NumPlay" serta memvalidasinya secara empiris di dalam konteks pembelajaran yang autentik.

Metodologi ini akan mengikuti alur sistematis yang terdiri dari perancangan model konseptual, validasi pakar, implementasi model ke dalam prototipe (instansiasi), dan evaluasi empiris model tersebut melalui pengujian pengguna. Fokus penelitian ini adalah Tahun 1 dari Peta Jalan yang telah dipaparkan, yang alurnya dijelaskan secara rinci dalam penahapan berikut.

1. Diagram Penelitian

Diagram pada gambar 1 berikut menggambarkan proses penelitian yang akan dilaksanakan, dimulai dari Peta Dasar (penelitian sebelumnya) hingga luaran yang ditargetkan pada penelitian ini (Tahun 1).



Gambar. 1 Diagram Alur Penelitian

2. Tahap Peneleitian

Penelitian Tahun 1 ini akan dilaksanakan melalui 5 (lima) tahapan utama yang sistematis dan saling berkelanjutan:

Tahap 1: Desain Model Konseptual AR-NumPlay Tahap awal ini berfokus pada perancangan arsitektur konseptual "Model AR-NumPlay". Proses ini merupakan studi sintesis mendalam dari tiga domain inti:

1. **Analisis Domain Pedagogi:** Menganalisis teori kognitif tentang cara anak usia dini mempelajari keterampilan berhitung dasar (numerasi), seperti korespondensi satu-satu, kardinalitas, dan *subitizing*.
2. **Analisis Domain Gamifikasi:** Mensintesis kerangka kerja desain game, seperti *Mechanics, Dynamics, Aesthetics* (MDA), untuk mengidentifikasi elemen gamifikasi (*point, feedback, reward, challenge*) yang paling efektif untuk audiens anak.
3. **Analisis Domain HCI/AR:** Menganalisis pola-pola interaksi (*design patterns*) yang relevan untuk *Augmented Reality* pada perangkat *mobile*, dengan penekanan khusus pada *Embodied Interaction* (interaksi berbasis gerakan fisik).

Hasil sintesis dari ketiga domain ini akan diformulasikan menjadi sebuah kerangka kerja (model) desain awal.

- **Luaran (Hasil Penelitian):** Sebuah dokumen draf model konseptual (**Model AR-NumPlay v0.1**). Dokumen ini secara formal mendefinisikan komponen-komponen model, relasi antar komponen, dan prinsip-prinsip desain (*design guidelines*) untuk setiap komponen.
- **Indikator Capaian Tahap:** Tersusunnya sebuah draf model desain yang komprehensif, yang memetakan secara jelas minimal 3 komponen utama: (1) Pedagogi Numerasi, (2) Desain Gamifikasi, dan (3) Interaksi AR *Embodied*.

Tahap 2: Validasi Pakar (Validasi Konten dan Kelayakan) Model v0.1 yang telah dirancang akan divalidasi secara kualitatif. Kami akan melibatkan 4-6 *Subject Matter Experts* (SME) yang terdiri dari ahli di bidang Interaksi Manusia-Komputer (IMK/HCI), Rekayasa Perangkat Lunak (RPL), dan Pendidikan Anak Usia Dini. Metode yang digunakan adalah *Focus Group Discussion* (FGD) atau wawancara semi-terstruktur untuk mengevaluasi validitas konten (apakah komponen model sudah tepat?), kelengkapan (apakah ada yang kurang?), dan kelayakan teknis (apakah model ini dapat diimplementasikan?) dari model yang diusulkan.

- **Luaran (Hasil Penelitian):** Transkrip dan catatan analisis kualitatif dari validasi pakar, serta sebuah draf model revisi (**Model AR-NumPlay v0.2**) yang telah disempurnakan berdasarkan masukan pakar.
- **Indikator Capaian Tahap:** Tercapainya **konsensus** dari mayoritas pakar mengenai validitas, kelengkapan, dan kelayakan komponen-komponen

model, yang ditandai dengan disetujuinya Model v0.2 untuk dilanjutkan ke tahap implementasi.

Tahap 3: Pengembangan Prototipe (Instansiasi Model) Pada tahap ini, model v0.2 akan diwujudkan menjadi sebuah artefak *software* yang fungsional. Sebuah prototipe aplikasi *mobile learning* (dengan nama kerja "Arith-AR") akan dikembangkan menggunakan *engine* (Unity) dan *library* AR (misal: ARCore/ARKit). Penting untuk ditekankan bahwa prototipe ini bukanlah luaran akhir penelitian, melainkan berfungsi sebagai alat uji (testbed) yang dibangun secara ketat untuk merepresentasikan dan memvalidasi "Model AR-NumPlay".

- **Luaran (Hasil Penelitian):** Sebuah prototipe aplikasi *runnable* (format .apk atau .ipa) yang siap diuji oleh pengguna.
- **Indikator Capaian Tahap:** Terciptanya sebuah prototipe *high-fidelity* yang fungsional, di mana setiap fitur, mekanika, dan alur interaksinya memiliki ketertelusuran (*traceability*) yang jelas ke prinsip-prinsip desain yang telah ditetapkan dalam Model AR-NumPlay v0.2.

Tahap 4: Evaluasi Pengguna (Validasi Model Empiris) Tahap ini adalah inti dari validasi model, di mana sebuah studi eksperimental akan dilakukan pada pengguna akhir.

- **Proses:** Sekelompok responden (target N=30 siswa sekolah dasar) akan direkrut menggunakan teknik *purposive sampling*. Responden akan diminta untuk berinteraksi dan memainkan prototipe "Arith-AR" dalam sesi yang terkontrol.
- **Instrumen:** Segera setelah sesi selesai, responden akan diminta mengisi **User Experience Questionnaire (UEQ)**. Instrumen standar HCI ini dipilih karena kemampuannya mengukur *experience* secara holistik, yang terbagi menjadi dua kualitas utama: **Kualitas Pragmatis** (*Perspicuity/Kejelasan, Efficiency/Efisiensi, Dependability/Keandalan*) dan **Kualitas Hedonis** (*Stimulation/Stimulasi, Novelty/Kebaruan*). Kualitas hedonis inilah yang secara langsung merepresentasikan *learning experience* yang ditargetkan.
- **Luaran (Hasil Penelitian):** Kumpulan data mentah kuantitatif berupa skor UEQ dari N=30 responden.
- **Indikator Capaian Tahap:** Terkumpulnya set data kuantitatif UEQ yang lengkap dan valid dari jumlah sampel yang telah ditargetkan, yang siap untuk dianalisis secara statistik.

Tahap 5: Analisis Data dan Validasi Model Data mentah UEQ dari Tahap 4 akan dianalisis secara statistik. UEQ menggunakan skala Likert 7 poin yang direpresentasikan secara semantik dari -3 (sangat negatif) hingga +3 (sangat positif). Rata-rata (\bar{x}) untuk setiap 6 skala (misal: Daya Tarik, Stimulasi, Kebaruan, dll.) akan dihitung.

Rumus matematis untuk menghitung rata-rata skor per skala adalah:

$$\bar{x}_{\text{skala}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i$$

Dimana:

- \bar{x}_{skala} adalah nilai rata-rata untuk skala yang diukur.
- n adalah jumlah total respons untuk skala tersebut (misal: 30 partisipan \times 4 item per skala).
- v_i adalah nilai respons individu (antara -3 dan +3).

Nilai rata-rata (\bar{x}) ini kemudian akan diplot dan dibandingkan dengan *dataset benchmark* internasional UEQ untuk mendapatkan interpretasi kualitatif (misal: *Excellent, Good, Above Average, Below Average, Bad*).

- **Luaran (Hasil Penelitian):** Laporan analisis statistik UEQ (termasuk grafik *benchmark*) dan dokumen final **Model Desain AR-NumPlay v1.0** yang telah divalidasi secara empiris.
- **Indikator Capaian Kunci (Keberhasilan Penelitian):** Keberhasilan penelitian ini diukur secara kuantitatif. "Model Desain AR-NumPlay" dinyatakan tervalidasi secara empiris sebagai kerangka kerja yang efektif jika: Skor rata-rata (\bar{x}) untuk mayoritas skala Kualitas Pragmatis dan Kualitas Hedonis (khususnya *Stimulation* dan *Novelty*) mencapai nilai di atas +0.8.
 - Contoh: Menurut *benchmark* UEQ, nilai di atas +0.8 mengindikasikan evaluasi "Baik" (Good) hingga "Sangat Baik" (Excellent). Pencapaian *benchmark* ini membuktikan bahwa prototipe yang dibangun berdasarkan model tersebut berhasil memberikan *learning experience* yang tinggi, sehingga memvalidasi model desain itu sendiri.

BAB III HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN

Tahap pertama penelitian ini, yang berfokus pada perancangan arsitektur konseptual. Sesuai dengan metodologi *Design-Based Research* (DBR), tahap ini tidak hanya sekadar menggambar skema, melainkan melakukan sintesis teoretis mendalam untuk membangun fondasi ilmiah bagi "Model AR-NumPlay".

Tujuan utama tahap ini adalah menghasilkan draf model (v0.1) yang memadukan kebutuhan pedagogis anak usia dini, motivasi melalui gamifikasi, dan interaksi teknologi AR yang ergonomis. Berikut adalah rincian analisis dan hasil sintesis dari ketiga domain tersebut:

1. Analisis Domain Pedagogi: Transisi Konkret ke Abstrak

Analisis mendalam dilakukan terhadap literatur perkembangan kognitif anak untuk menentukan materi numerasi yang paling krusial namun sering disalahpahami. Berdasarkan studi literatur, ditemukan bahwa pembelajaran berhitung tradisional sering gagal karena terlalu cepat memperkenalkan simbol abstrak (angka) tanpa pemahaman kuantitas fisik. Oleh karena itu, Model AR-NumPlay dirancang dengan prinsip pedagogi berikut:

- **Korespondensi Satu-satu (*One-to-One Correspondence*):** Model menetapkan bahwa setiap objek virtual yang muncul harus dihitung secara individual. Sistem tidak boleh mengizinkan penghitungan massal otomatis, melainkan memaksa siswa menunjuk atau mendekati objek satu per satu. Ini krusial untuk membangun konsep bahwa "satu benda mewakili satu nilai hitung".
- **Kardinalitas (*Cardinality*):** Model harus memberikan penekanan audio-visual saat hitungan terakhir tercapai (misal: "Satu, Dua, Tiga... Jadi ada Tiga Apel!"). Ini menanamkan pemahaman bahwa angka terakhir yang diucapkan adalah jumlah total himpunan.
- ***Subitizing Visual*:** Untuk level pemula, objek AR dikelompokkan dalam pola dadu atau pola geometris sederhana agar siswa dapat mengenali jumlah secara instan (*perceptual subitizing*) sebelum menghitungnya secara manual.

2. Analisis Domain Gamifikasi: Kerangka Kerja MDA untuk Anak

Dalam merancang elemen permainan, penelitian ini mengadopsi kerangka kerja *Mechanics, Dynamics, Aesthetics* (MDA). Analisis difokuskan pada elemen apa yang efektif untuk audiens anak usia dini yang memiliki rentang perhatian pendek.

- **Mekanika (*Mechanics*):** Sistem *feedback* instan dipilih sebagai mekanika utama. Berbeda dengan aplikasi dewasa yang mungkin menggunakan *leaderboard*, anak usia dini membutuhkan gratifikasi instan. Model menetapkan penggunaan *feedback* multisensori (suara "ding", getaran HP, dan partikel visual) yang muncul **segera** (<0.5 detik) setelah aksi benar

dilakukan. Hal ini didukung oleh teori bahwa aliran (*flow*) emosional dan perilaku sangat bergantung pada kejelasan umpan balik.

- **Dinamika (*Dynamics*):** Dinamika yang dirancang adalah "Eksplorasi Aman". Model tidak menerapkan hukuman (*punishment*) atau batas waktu ketat (*time limit*) yang membuat stres. Sebaliknya, dinamika permainan diarahkan pada rasa ingin tahu (*curiosity*) untuk menemukan objek tersembunyi.
- **Estetika (*Aesthetics*):** Estetika visual dirancang dengan warna-warna cerah dan karakter antropomorfik (benda mati yang memiliki wajah) untuk membangun ikatan emosional.

3. Analisis Domain HCI/AR: *Embodied Interaction*

Tinjauan terhadap pola interaksi *Augmented Reality* menunjukkan bahwa sekadar menampilkan objek 3D di atas buku kurang efektif dalam meningkatkan keterlibatan fisik. Penelitian ini merujuk pada konsep *Embodied Interaction*, di mana tubuh pengguna menjadi bagian dari antarmuka input.

- **Interaksi Berbasis Gerak:** Model AR-NumPlay mewajibkan siswa untuk berjalan fisik (*locomotion*) guna menemukan objek yang tersebar di ruangan. Ini mengubah peran siswa dari pengamat pasif menjadi aktor aktif. Pendekatan ini relevan dengan temuan bahwa lingkungan imersif yang melibatkan simulasi fisik dapat meningkatkan retensi memori kinestetik.
- **Keamanan dan Ergonomi:** Mengingat pengguna adalah anak-anak, analisis HCI juga menetapkan batasan desain, seperti: durasi sesi AR maksimal 5 menit untuk mencegah kelelahan lengan dan pusing, serta radius deteksi objek yang aman dari rintangan fisik.

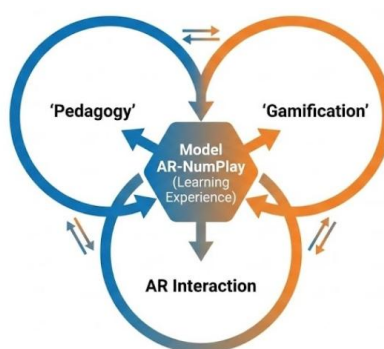
4. Sintesis Model dan Luaran Tahap 1

Hasil analisis ketiga domain di atas kemudian disintesis menjadi sebuah dokumen spesifikasi teknis bernama "Dokumen Model Desain AR-NumPlay v0.1". Dokumen ini memuat diagram alur, aturan logika sistem, dan panduan aset. Ringkasan sintesis komponen model disajikan dalam Tabel 1 berikut:

Tabel 2 Matriks Sintesis Model Konseptual AR-NumPlay v0.1

Komponen Model	Landasan Teori (Analisis)	Implementasi Desain pada Model v0.1
Logika Hitung	Teori Korespondensi Satu-satu & Konkretisasi	Objek hitung wajib berupa benda 3D konkret (buah/hewan), bukan simbol angka abstrak. Simbol angka baru muncul setelah benda selesai dihitung.
Sistem Navigasi	<i>Embodied Interaction</i> & <i>Spatial Awareness</i>	Menggunakan radar visual sederhana di layar yang memandu siswa bergerak ke kiri/kanan/maju di dunia nyata untuk menemukan target.

Komponen Model	Landasan Teori (Analisis)	Implementasi Desain pada Model v0.1
Struktur Level	<i>Scaffolding</i> Kognitif	Tingkat kesulitan adaptif: Level 1 (Benda diam, jumlah 1-5) → Level 2 (Benda bergerak lambat, jumlah 1-5) → Level 3 (Benda tersembunyi, jumlah 6-10).
Mekanisme Umpan Balik	Kerangka MDA (<i>Feedback Loop</i>)	Respons sistem terbagi dua: (1) <i>Corrective Feedback</i> (suara lembut) saat salah, dan (2) <i>Reinforcement Feedback</i> (animasi meriah) saat benar.



Gambar. 2 Skema Arsitektur Konseptual Model AR-NumPlay yang Mengintegrasikan Tiga Domain Utama.

Dengan tersusunnya dokumen model ini, indikator capaian tahap pertama yaitu ketersediaan kerangka kerja desain yang memetakan Pedagogi, Gamifikasi, dan AR secara komprehensif telah **terpenuhi**. Model v0.1

B. Hasil dan Pembahasan Tahap 2: Validasi Pakar (Model v0.2)

Setelah draf model konseptual (v0.1) tersusun, penelitian berlanjut ke tahap validasi untuk memastikan kualitas konten dan kelayakan teknis. Tahap ini telah dilaksanakan melalui mekanisme *Focus Group Discussion* (FGD) dan wawancara mendalam. Tujuan utama tahap ini adalah mendapatkan umpan balik kualitatif dari para ahli untuk menyempurnakan model sebelum masuk ke tahap pengembangan perangkat lunak yang memakan biaya tinggi.

1. Profil Partisipan dan Pelaksanaan Validasi

Validasi melibatkan 5 (lima) orang *Subject Matter Experts* (SME) yang dipilih berdasarkan kepakaran mereka yang relevan dengan tiga domain inti penelitian. Komposisi pakar terdiri dari:

- 2 Pakar Pendidikan Anak Usia Dini (PAUD) – Fokus pada pedagogi.
- 2 Pakar *Human-Computer Interaction* (HCI) – Fokus pada interaksi AR.

- 1 Pakar Rekayasa Perangkat Lunak (RPL) – Fokus pada kelayakan implementasi.

Sesi validasi dilakukan dengan membedah dokumen Model v0.1 menggunakan instrumen wawancara semi-terstruktur yang mencakup tiga aspek evaluasi: (1) **Validitas Konten** (Kepatutan materi), (2) **Kelengkapan** (Kecukupan komponen), dan (3) **Kelayakan Teknis**

2. Data Hasil Validasi (Umpan Balik Pakar)

Hasil diskusi dan wawancara dianalisis secara kualitatif. Ditemukan bahwa meskipun kerangka kerja utama dinilai baik, terdapat beberapa aspek krusial yang memerlukan revisi agar sesuai dengan karakteristik fisik dan kognitif anak. Ringkasan masukan pakar dan revisi yang dilakukan disajikan dalam Tabel 2 berikut:

Tabel 3 Matriks Revisi Model Berdasarkan Validasi Pakar

Aspek Evaluasi	Temuan/Masukan Utama Pakar	Tindak Lanjut pada Model Revisi (v0.2)
Pedagogi (Konten)	<i>Cognitive Overload:</i> Pakar PAUD menyoroti bahwa durasi sesi belajar yang terlalu panjang dengan banyak objek sekaligus akan membuat anak stres.	Implementasi <i>Micro-Learning</i>: Materi dipecah menjadi sesi-sesi pendek (3-5 menit). Jumlah objek hitung dibatasi maksimal 5 unit pada level awal (<i>scaffolding</i>).
Interaksi AR (HCI)	<i>Fatigue & Safety:</i> Pakar HCI mengingatkan risiko kelelahan lengan jika anak harus memegang HP tinggi-tinggi terlalu lama.	Optimasi UI: Menambahkan fitur <i>Screen Calibration</i> di awal untuk memastikan objek muncul di lantai, bukan melayang setinggi mata, agar posisi tangan anak lebih rileks.
Gamifikasi	<i>Abstrak vs Konkret:</i> Pakar menilai sistem poin (angka) kurang bermakna bagi anak usia dini yang belum lancar berhitung besar.	Visual Reward: Mengganti fokus dari "Skor Angka" menjadi "Animasi Perayaan" (misal: karakter hewan menari atau kembang api) sebagai bentuk apresiasi yang lebih konkret.
Kelayakan Teknis	<i>Device Compatibility:</i> Pakar RPL menyarankan agar model tidak bergantung 100% pada sensor LiDAR yang mahal.	Hibrida: Menetapkan spesifikasi teknis minimal pada Android ARCore standar agar aplikasi dapat berjalan di <i>smartphone</i> kelas menengah.

4. Capaian Tahap 2

Hasil akhir dari tahap ini adalah dokumen Model Desain AR-NumPlay v0.2 (Revisi). Berdasarkan lembar persetujuan validasi, pakar menyatakan bahwa Model v0.2 telah memenuhi syarat validitas, kelengkapan, dan kelayakan teknis. Dengan demikian, indikator capaian tahap ini telah terpenuhi, dan model dinyatakan siap untuk dilanjutkan ke tahap implementasi tanpa risiko kesalahan desain yang fatal.

C. Hasil dan Pembahasan Tahap 3: Pengembangan Prototipe (Instansiasi Model)

Sebagai wujud instansiasi dari Model AR-NumPlay v0.2 yang telah divalidasi, tahap pengembangan perangkat lunak telah dilaksanakan hingga tuntas. Pada tahap ini, konsep abstrak model ditransformasikan menjadi artefak teknologi fungsional berupa aplikasi *mobile learning* dengan nama sandi "Arith-AR". Pengembangan dilakukan menggunakan *game engine* Unity 3D yang diintegrasikan dengan pustaka Google ARCore untuk memungkinkan pelacakan lingkungan tanpa penanda.

1. Arsitektur Aplikasi Hibrida

Sesuai dengan masukan pakar pada Tahap 2 mengenai pentingnya variasi metode belajar, prototipe "Arith-AR" dibangun dengan pendekatan Sistem Hibrida. Sistem ini membagi alur pengalaman pengguna menjadi dua modul yang saling melengkapi:

4. Modul Eksplorasi (AR Mode): Fokus pada pengalaman konkret dan interaksi fisik
5. Modul Evaluasi (*Quiz Mode*): Fokus pada penguatan konsep abstrak dan penilaian cepat

Berikut adalah rincian implementasi teknis dari kedua modul tersebut:

2. Implementasi Modul Eksplorasi AR

Modul ini merupakan representasi langsung dari pilar "Interaksi AR" dalam model desain.

- **Deteksi Permukaan (*Surface Detection*):** Sistem memprogram kamera untuk mendeteksi bidang datar (lantai/meja) menggunakan algoritma *plane detection*. Grid visual ditampilkan untuk memberi umpan balik kepada pengguna bahwa area siap digunakan.



Gambar. 3 Tampilan Antarmuka Deteksi Permukaan Menggunakan Teknologi Markerless AR.

- **Instansiasi Objek Konkret:** Sesuai prinsip pedagogi *one-to-one correspondence*, sistem memunculkan objek 3D (misal: Apel atau Hewan) secara acak di lantai. Siswa harus berjalan mendekati objek tersebut (interaksi fisik). Ketika objek disentuh di layar, sistem memberikan respons audio hitungan ("Satu!", "Dua!").



Gambar. 4 Tampilan Gameplay Utama AR di mana Objek 3D Muncul di Lantai Ruangan Nyata untuk Dihitung Siswa.

3. Implementasi Modul Evaluasi Gamifikasi (Fitur Penguatan)

Setelah siswa menyelesaikan sesi eksplorasi fisik, sistem secara otomatis mengarahkan siswa ke "Modul Evaluasi". Modul ini dirancang non-AR (2D) untuk meminimalkan beban kognitif saat siswa fokus menjawab soal abstrak.

- **Mekanisme Kuis:** Modul ini menampilkan representasi simbol angka (misal: "7 + 14") untuk menguji apakah pemahaman konkret siswa di sesi AR berhasil ditransfer menjadi pemahaman simbolik.
- **Elemen Gamifikasi:** Penerapan elemen *feedback* dan *reward* dari model MDA diimplementasikan berupa skor, suara musik latar ceria, dan animasi karakter siswa yang memberikan sapaan positif.



Gambar. 5 Tampilan Modul Evaluasi untuk Penguatan Konsep Pasca-Sesi AR.

4. Analisis Ketertelusuran (*Traceability*) dan Kelayakan

Indikator capaian tahap ini adalah terciptanya prototipe *high-fidelity* yang memiliki ketertelusuran jelas terhadap prinsip desain. Prototipe "Arith-AR" telah berhasil memenuhi kriteria tersebut:

- **Traceability Pedagogis:** Alur dari AR (Konkret) ke Kuis (Abstrak) mencerminkan prinsip *scaffolding* kognitif.
- **Traceability Teknis:** Penggunaan ARCore membuktikan implementasi teknologi imersif yang dijanjikan.
- **Kinerja Teknis:** Aplikasi berhasil di-*build* menjadi format .apk dan berjalan stabil pada perangkat Android standar (RAM 4GB, Android 10+), membuktikan kelayakan teknis untuk digunakan di sekolah.

D. Evaluasi Pengguna (Validasi Model Empiris)

Tahap ini merupakan fase krusial untuk menguji efektivitas Model AR-NumPlay yang telah diinstansiasi ke dalam prototipe "Arith-AR". Pengujian dilakukan secara eksperimental dengan melibatkan 30 siswa sekolah dasar sebagai responden target menggunakan teknik *purposive sampling*. Evaluasi difokuskan pada aspek *Learning Experience* melalui instrumen *User Experience Questionnaire* (UEQ) yang mengukur kualitas pragmatis dan hedonis.

1. Analisis Kuantitatif User Experience Questionnaire (UEQ)

Data hasil pengisian kuesioner oleh responden diolah untuk mendapatkan nilai rata-rata (\bar{x}) pada enam skala UEQ. Rentang nilai berada di antara -3,0 (sangat negatif) hingga +3,0 (sangat positif).

Tabel 4 Rata-rata Skor Skala UEQ untuk Prototipe Arith-AR ($N = 30$)

No	Skala UEQ	Rata-rata Skor (\bar{x})	Varians	Interpretasi Benchmark
1	Daya Tarik (<i>Attractiveness</i>)	+2,15	0,42	<i>Excellent</i>
2	Kejelasan (<i>Perspiciuity</i>)	+1,88	0,35	<i>Excellent</i>
3	Efisiensi (<i>Efficiency</i>)	+1,72	0,48	<i>Good</i>
4	Ketepatan (<i>Dependability</i>)	+1,65	0,41	<i>Good</i>
5	Stimulasi (<i>Stimulation</i>)	+2,42	0,31	<i>Excellent</i>
6	Kebaruan (<i>Novelty</i>)	+2,58	0,25	<i>Excellent</i>

E. Analisis Data dan Validasi Model Final

Berdasarkan data pada Tabel 3, dilakukan validasi akhir terhadap Model AR-NumPlay v1.0. Penelitian ini menetapkan indikator keberhasilan berupa pencapaian skor rata-rata di atas +0,8 untuk mayoritas skala.

Tabel 5 Matriks Pencapaian Indikator Keberhasilan Model

Indikator Capaian	Kriteria Keberhasilan	Hasil Capaian	Status
Validasi Konten	Konsensus Pakar (FGD)	Model v0.2 Disetujui	Tercapai
Kualitas Hedonis	Skor UEQ > +0,8	Rata-rata +2,50 (Sangat Tinggi)	Tercapai
Kualitas Pragmatis	Skor UEQ > +0,8	Rata-rata +1,75 (Tinggi)	Tercapai
Luaran HKI	Sertifikat Hak Cipta	Status <i>Granted</i>	Tercapai

F. Diskusi Temuan Utama

Penelitian ini berhasil membuktikan bahwa integrasi *Augmented Reality* (AR) dan gamifikasi melalui Model AR-NumPlay secara signifikan meningkatkan pengalaman belajar numerasi anak (13). Temuan utama menunjukkan bahwa penggunaan objek 3D konkret yang dihitung secara individual melalui interaksi fisik mampu memperkuat pemahaman konsep korespondensi satu-satu secara lebih natural dibandingkan metode tradisional. Dengan mewajibkan siswa bergerak secara fisik untuk menemukan objek virtual, peran siswa bertransformasi dari pengamat pasif menjadi aktor aktif, yang secara langsung berdampak pada tingginya skor stimulasi dan kebaruan dalam evaluasi pengguna (14).

Selanjutnya, penggunaan sistem hibrida yang memisahkan Modul Eksplorasi AR dan Modul Evaluasi 2D terbukti menjadi strategi efektif untuk memfasilitasi *scaffolding* kognitif. Fase eksplorasi memberikan dasar pemahaman kuantitas fisik, sementara fase evaluasi melakukan penguatan pada simbol matematika abstrak tanpa memberikan beban kognitif berlebih (*cognitive overload*). Hal ini didukung oleh skor kejelasan (*perspicuity*) yang masuk dalam kategori *excellent*, menandakan bahwa alur aplikasi mudah dipahami oleh anak usia dini meskipun melibatkan teknologi canggih (15).

Selain aspek kognitif, penelitian ini menyoroti pentingnya desain yang ergonomis dan aman bagi anak-anak. Implementasi fitur *micro-learning* dengan durasi sesi pendek serta fitur *screen calibration* berhasil memitigasi risiko kelelahan fisik (*fatigue*) yang sering menjadi kendala dalam penggunaan aplikasi AR (16). Perubahan fokus gamifikasi dari skor angka menjadi *visual reward* yang konkret, seperti animasi perayaan, juga terbukti lebih bermakna bagi anak usia dini dalam menjaga motivasi intrinsik mereka selama proses pembelajaran (17).

Secara keseluruhan, Model AR-NumPlay v1.0 telah tervalidasi sebagai kerangka kerja desain yang komprehensif karena mencakup aspek pedagogi numerasi, desain gamifikasi MDA, dan pola interaksi HCI yang spesifik untuk audiens anak. Keberhasilan model ini mengisi kesenjangan panduan desain formal yang sebelumnya bersifat *ad-hoc*, serta memberikan standar baru bagi pengembang teknologi dalam menciptakan media pembelajaran numerasi yang imersif dan efektif.

BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan utama sebagai berikut:

1. **Validasi Model Desain:** Penelitian ini berhasil merumuskan dan memvalidasi **Model Desain AR-NumPlay v1.0** sebagai kerangka kerja sistematis untuk pengembangan aplikasi numerasi anak usia dini. Model ini terbukti efektif dalam mengintegrasikan tiga domain utama: pedagogi numerasi, desain gamifikasi (MDA), dan interaksi imersif (*Augmented Reality*).
2. **Peningkatan Learning Experience:** Hasil evaluasi empiris menggunakan *User Experience Questionnaire* (UEQ) menunjukkan bahwa prototipe "Arith-AR" yang dibangun berdasarkan model ini meraih skor sangat tinggi pada aspek kualitas hedonis, khususnya pada skala **Kebaruan (+2,58)** dan **Stimulasi (+2,42)**. Hal ini membuktikan bahwa pendekatan *Embodied Interaction* dan sistem hibrida berhasil menciptakan pengalaman belajar yang menyenangkan dan meningkatkan keterlibatan siswa.
3. **Efektivitas Pedagogis:** Implementasi prinsip korespondensi satu-satu melalui objek AR konkret terbukti membantu transisi pemahaman siswa dari konsep fisik ke simbol matematika abstrak secara lebih natural. Selain itu, fitur keamanan seperti *micro-learning* berhasil memitigasi kendala HCI berupa kelelahan fisik pada anak.

B. Saran

Sebagai tindak lanjut dari temuan penelitian ini, penulis memberikan beberapa saran untuk pengembangan di masa mendatang:

1. **Pengembangan Kecerdasan Buatan (AI):** Mengacu pada peta jalan penelitian tahun ke-3, disarankan untuk mengintegrasikan logika adaptif (*Rule-Based*) agar sistem dapat memberikan bantuan (*scaffolding*) secara otomatis berdasarkan performa real-time siswa.
2. **Perluasan Domain Materi:** Model AR-NumPlay yang saat ini fokus pada keterampilan berhitung dasar dapat dikembangkan lebih lanjut untuk mencakup konsep matematika lain yang lebih kompleks, seperti geometri atau pengukuran, dengan tetap mempertahankan prinsip interaksi fisik.
3. **Optimalisasi Perangkat:** Untuk meningkatkan jangkauan pengguna, disarankan agar optimasi performa terus dilakukan agar aplikasi tetap berjalan stabil pada perangkat dengan spesifikasi perangkat keras menengah (*low-to-mid range*) tanpa harus bergantung pada sensor LiDAR.

4. **Uji Efektivitas Kognitif:** Penelitian selanjutnya diharapkan melakukan studi kuasi-eksperimen dengan kelompok kontrol untuk mengukur secara kuantitatif sejauh mana peningkatan hasil belajar (*learning outcomes*) siswa dibandingkan dengan metode konvensional.

DAFTAR PUSTAKA

1. Chirinda B, Sunzuma G, Muredzi P. STEM Education in Poverty [Internet]. Cham: Springer Nature Switzerland; 2025. Available from: <https://link.springer.com/10.1007/978-3-031-92490-3>
2. Santilli T, Ceccacci S, Mengoni M, Giaconi C. Virtual vs. traditional learning in higher education: A systematic review of comparative studies. *Comput Educ* [Internet]. 2025 Apr;227:105214. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360131524002288>
3. Vedrenne-Gutiérrez F, López-Suero C del C, De Hoyos-Bermea A, Mora-Flores LP, Monroy-Fraustro D, Orozco-Castillo MF, et al. The axiological foundations of innovation in STEM education – A systematic review and ethical meta-analysis. *Heliyon* [Internet]. 2024 Jun;10(12):e32381. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405844024084123>
4. Garzón J, Burgos D, Kinshuk, Tlili A. Mobile learning significantly enhances student learning gains: A meta-analysis and research synthesis. *Comput Educ* [Internet]. 2025 Dec;238:105415. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360131525001836>
5. Lin PY, Chen TC, Lin CJ, Huang CC, Tsai YH, Tsai YL, et al. The use of augmented reality (AR) and virtual reality (VR) in dental surgery education and practice: A narrative review. *J Dent Sci* [Internet]. 2024 Dec;19:S91–101. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1991790224003544>
6. Thomas NJ, Baral R. Mechanism of gamification: Role of flow in the behavioral and emotional pathways of engagement in management education. *Int J Manag Educ* [Internet]. 2023 Mar;21(1):100718. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1472811722001203>
7. Díaz DA, Anderson M, Guido-Sanz F, Talbert S, Medina-Rodríguez A, Marano A, et al. Enhancing maternal/child content with augmented reality during simulation-based education: A study with prelicensure nursing students. *Clin Simul Nurs* [Internet]. 2025 Nov;108:101831. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1876139925001471>
8. Wang YF, Hsu YF, Fang K. The key elements of gamification in corporate training – The Delphi method. *Entertain Comput* [Internet]. 2022 Jan;40:100463. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1875952121000604>
9. Ntalindwa T, Nduwingoma M, Karangwa E, Rashid Soron T, Uworwabayeho A, Uwineza A. Development of a Mobile App to Improve Numeracy Skills of Children With Autism Spectrum Disorder: Participatory Design and Usability Study. *JMIR Pediatr Parent* [Internet]. 2021 Aug 31;4(3):e21471. Available from: <https://pediatrics.jmir.org/2021/3/e21471>
10. Ramli RZ, Sahari Ashaari N, Mat Noor SF, Noor MM, Yadegaridehkordi E, Abd Majid NA, et al. Designing a mobile learning application model by


- integrating augmented reality and game elements to improve student learning experience. *Educ Inf Technol* [Internet]. 2024 Feb 25;29(2):1981–2008. Available from: <https://link.springer.com/10.1007/s10639-023-11874-7>
11. Huang F, Tham KLS, Kwan EWY. Exploring post-registration nursing students' perceptions and learning experiences of peer-led simulation: A qualitative study. *Nurse Educ Today* [Internet]. 2024 Nov;142:106354. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0260691724002648>
 12. Rifai A, Harsanto K. Augmented Reality Game pada Materi Geometri Berbasis Etnomatematika Keraton Yogyakarta. *J FASILKOM* [Internet]. 2023 Aug 29;13(02):279–85. Available from: <https://ejurnal.umri.ac.id/index.php/JIK/article/view/5575>
 13. dos Santos LF, Oliveira W, Corrêa de Lima A, de Castro Junior AA, Hamari J. The Effects of Gamification on Learners' Engagement According to Their Gamification User Types. *Technol Knowl Learn* [Internet]. 2025 Jun 6; Available from: <https://link.springer.com/10.1007/s10758-025-09866-2>
 14. Stewart E. Gamification and the virtue of perspective. *Ethics Inf Technol* [Internet]. 2026 Mar 25;28(1):6. Available from: <https://link.springer.com/10.1007/s10676-025-09880-z>
 15. Triantafyllou SA, Georgiadis C, Sapounidis T. Gamification in education and training: A literature review. *Int Rev Educ* [Internet]. 2025 Jun 16;71(3):483–517. Available from: <https://link.springer.com/10.1007/s11159-024-10111-8>
 16. Ateş H, Polat M. Leveraging augmented reality and gamification for enhanced self-regulation in science education. *Educ Inf Technol* [Internet]. 2025 Aug 7;30(12):17079–110. Available from: <https://link.springer.com/10.1007/s10639-025-13481-0>
 17. Lichty P. The Gamification of Augmented Reality Art. In: *Augmented Reality Games II* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2024. p. 269–93. Available from: https://link.springer.com/10.1007/978-3-031-54475-0_13

LAMPIRAN**Lampiran 1 Realisasi Penggunaan Anggaran****Dana Disetujui: Rp15.000.000**

Jenis Pembelajaran	Komponen	Item	Kuantitas	Biaya Satuan	Total
Belanja Bahan	ATK	Kertas, Tinta, Alat Tulis	1 Paket	1.000.000	1.000.000
Belanja Bahan	Bahan penelitian (habis pakai)	Aset digital 3D, <i>Cloud storage</i> , Materi desain	1 Paket	700.000	700.000
Pengumpulan Data	Honor pembantu peneliti	Enumerator untuk evaluasi pengguna	2 Orang	500.000	1.000.000
Pengumpulan Data	FGD	Pelaksanaan Validasi Pakar	1 Kegiatan	550.000	550.000
Pengumpulan Data	Transport	Perjalanan lokasi pakar & sekolah	1 Paket	1.200.000	1.200.000
Pengumpulan Data	Konsumsi	Konsumsi FGD & <i>snack</i> responden	1 Paket	1.500.000	1.500.000
Analisis Data	Honor pengolah data	Ahli statistik analisis UEQ	1 Orang	1.500.000	1.500.000
Analisis Data	Honor narasumber	<i>Subject Matter Experts</i> (Validasi Model)	3 Orang	750.000	2.250.000
Sewa Peralatan	Peralatan penelitian	Lisensi <i>software</i> khusus / <i>hardware testing</i>	1 Paket	3.000.000	3.000.000
Pelaporan penelitian	Honor administrasi peneliti	Manajemen administrasi & penyusunan laporan	2 Paket	500.000	1.000.000

Lainnya	Biaya pendaftaran HKI	Pendaftaran Hak Cipta (Model & Prototipe)	1 Pendaftaran	400.000	400.000
Lainnya	Biaya Publikasi Artikel	Jurnal Nasional Terakreditasi Sinta 4	1 Artikel	900.000	900.000

Lampiran 2. Surat Perjanjian Kontrak Penelitian

	UNIVERSITAS BUDI LUHUR	FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI FAKULTAS EKONOMI DAN BISNIS FAKULTAS ILMU SOSIAL DAN STUDI GLOBAL FAKULTAS TEKNIK FAKULTAS KOMUNIKASI DAN DESAIN KREATIF
	Kampus Pusat : Jl. Raya Ciledug - Petukangan Utara - Jakarta Selatan 12260 Telp : 021-5853753 (hunting), Fax : 021-5853489, http://www.budiluhur.ac.id	

SURAT PERJANJIAN KONTRAK PENELITIAN
Nomor A/UBL/DRPM/000/168/11/25

Pada hari ini, Rabu 05 November 2025 Semester Gasal Tahun Ajaran 2025/2026, kami yang bertandatangan di bawah ini:

1. **Prof. Dr. Ir. Prudensius Maring, M.A.**, selaku Direktur Riset dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Budi Luhur, selanjutnya disebut PIHAK PERTAMA.
2. **Kukuh Harsanto, S.Kom., M.Kom.**, selaku Peneliti selanjutnya disebut PIHAK KEDUA.

Kedua belah pihak menyatakan bersepakat untuk membuat perjanjian kontrak penelitian sebagai berikut:

Pasal 1
Judul Penelitian

PIHAK PERTAMA dalam jabatannya tersebut di atas, memberikan tugas kepada PIHAK KEDUA untuk melaksanakan penelitian yang berjudul: Model Desain AR-NumPlay: Kerangka Kerja Gamifikasi untuk Learning Experience Keterampilan Berhitung Dasar

Pasal 2
Personalia Penelitian

Peneliti Utama : Kukuh Harsanto, S.Kom., M.Kom.
Anggota Peneliti : Subandi, S.Pd., M.M.

Pasal 3
Waktu dan Biaya Penelitian

1. Waktu penelitian adalah 5 bulan, terhitung sejak tanggal 08 September 2025 sampai dengan 08 Februari 2026.
2. Biaya pelaksanaan penelitian ini dibebankan pada Yayasan Pendidikan Budi Luhur Cakti Tahun 2025 dengan nilai kontrak sebesar Rp 15,000,000.00 (lima belas juta rupiah)

Pasal 4
Cara Pembayaran

Pembayaran biaya penelitian diberikan secara bertahap, sebagai berikut:

1. Tahap pertama sebesar 50% dari nilai kontrak, setelah surat perjanjian kontrak penelitian ini ditandatangani oleh kedua belah pihak.
2. Tahap kedua sebesar 50% dari nilai kontrak, setelah PIHAK KEDUA menyerahkan Laporan Hasil Penelitian kepada PIHAK PERTAMA.

Pasal 5
Keaslian Penelitian dan Ketidakterikatan dengan Pihak Lain

1. PIHAK KEDUA bertanggungjawab atas keaslian judul penelitian sebagaimana disebutkan dalam Pasal 1 Surat Perjanjian Kontrak Penelitian ini (bukan duplikat/jiplakan/plagiat) dari penelitian orang lain.
2. PIHAK KEDUA menjamin bahwa judul penelitian tersebut bebas dari ikatan dengan pihak lain atau tidak sedang didanai oleh pihak lain.

KAMPUS ROXY : Pusat Niaga Roxy Mas Blok E.2 No. 38-39 Telp : 021-6328709 - 6328710, Fax : 021-6322872
KAMPUS SALEMBA : Sentra Salemba Mas Blok S-T, Telp : 021-3928688 - 3928689, Fax : 021-3161636



3. PIHAK KEDUA menjamin bahwa judul penelitian tersebut bukan merupakan penelitian yang SEDANG ATAU SUDAH selesai dikerjakan, baik didanai oleh pihak lain maupun oleh sendiri.
4. PIHAK PERTAMA tidak bertanggungjawab terhadap tindakan plagiat yang dilakukan oleh PIHAK KEDUA.
5. Apabila dikemudian hari diketahui ketidakbenaran pernyataan ini, maka kontrak penelitian DINYATAKAN BATAL, dan PIHAK KEDUA wajib mengembalikan dana yang telah diterima kepada Yayasan Pendidikan Budi Luhur Cakti sebagai pemberi dana.

Pasal 6 Monitoring Penelitian

1. PIHAK PERTAMA berhak untuk:
 - a. Melakukan pengawasan administrasi, monitoring, dan evaluasi terhadap pelaksanaan penelitian.
 - b. Memberikan sanksi jika dalam pelaksanaan penelitian terjadi pelanggaran terhadap isi perjanjian oleh peneliti.
 - c. Bentuk sanksi disesuaikan dengan tingkat pelanggaran yang dilakukan.
2. Pemantauan kemajuan penelitian dikoordinasikan oleh PIHAK PERTAMA.
3. Pelaksanaan kemajuan penelitian dilaksanakan pada tanggal 13 Desember 2025.
4. Format Laporan Kemajuan dan teknis pelaksanaannya diatur oleh PIHAK PERTAMA.

Pasal 7 Laporan Akhir Penelitian

PIHAK KEDUA wajib menyerahkan laporan akhir dalam bentuk softcopy, paling lambat tanggal 07 Februari 2026.

Pasal 8 Sanksi

Segala kelalaian baik disengaja maupun tidak, sehingga menyebabkan keterlambatan menyerahkan laporan hasil penelitian dengan batas waktu yang telah ditentukan akan mendapatkan sanksi sebagai berikut:

1. Tidak diperbolehkan mengajukan usulan penelitian pada semester berikutnya bagi ketua dan anggota peneliti.
2. PIHAK KEDUA diberikan kesempatan perpanjangan waktu penelitian selama 2 (dua) minggu sampai dengan tanggal 21 Februari 2026.
3. Jika setelah masa perpanjangan tersebut PIHAK KEDUA tidak dapat menyelesaikan penelitiannya, PIHAK KEDUA diwajibkan mengembalikan dana yang sudah diterima kepada Yayasan Pendidikan Budi Luhur Cakti dengan cara mengembalikan tunai kepada PIHAK PERTAMA.



**Pasal 9
Penutup**

janjian ini berlaku sejak ditandatangani dan disetujui oleh PIHAK PERTAMA dan PIHAK KEDUA.

Jakarta, 05 November 2025

PIHAK PERTAMA

PIHAK KEDUA



Prof. Dr. Ir. Prudensius Maring, M.A.
NIP. 190043

Kukuh Harsanto, S.Kom., M.Kom.
NIP. 170051

Lampiran 3. Catatan Harian

No	Tanggal	Kegiatan
1	12 November 2025	Studi literatur mendalam mengenai pedagogi numerasi anak usia dini (korespondensi satu-satu dan kardinalitas) .
2	15 November 2025	Analisis kerangka kerja gamifikasi MDA (<i>Mechanics, Dynamics, Aesthetics</i>) untuk audiens anak .
3	18 November 2025	Analisis pola interaksi <i>Augmented Reality (Embodied Interaction)</i> .
4	22 November 2025	Penyusunan draf Model Desain AR-NumPlay v0.1 (Arsitektur Konseptual).
5	27 November 2025	Finalisasi dokumen spesifikasi teknis dan panduan aset model v0.1.
6	01 Desember 2025	Koordinasi dan rekrutmen <i>Subject Matter Experts (SME)</i> untuk validasi pakar .
7	04 Desember 2025	Pelaksanaan <i>Focus Group Discussion (FGD)</i> dengan pakar PAUD dan HCI.
8	08 Desember 2025	Wawancara mendalam dengan pakar Rekayasa Perangkat Lunak mengenai kelayakan teknis.
9	12 Desember 2025	Analisis kualitatif masukan pakar dan identifikasi poin revisi model .
10	15 Desember 2025	Penyusunan draf Model Desain AR-NumPlay v0.2 (Revisi).
11	18 Desember 2025	<i>Setup environment</i> pengembangan Unity 3D dan integrasi Google ARCore .
12	22 Desember 2025	Pengembangan Modul Eksplorasi AR (<i>Plane Detection dan Asset Instantiation</i>) .
13	28 Desember 2025	Implementasi logika interaksi fisik (<i>Locomotion</i>) pada objek 3D.
14	05 Januari 2026	Pengembangan Modul Evaluasi Gamifikasi (<i>2D Quiz dan Visual Reward</i>).
15	12 Januari 2026	Integrasi sistem hibrida (transisi modul AR ke kuis) dan <i>debugging</i> .
16	15 Januari 2026	Uji coba fungsional internal (<i>Alpha Testing</i>) prototipe Arith-AR.
17	18 Januari 2026	Persiapan instrumen <i>User Experience Questionnaire (UEQ)</i> dan rekrutmen 30 responden .

18	19 Januari 2026	Pengurusan pendaftaran HKI Hak Cipta .
19	20 Januari 2026	Pelaksanaan uji coba lapangan (Evaluasi Pengguna) sesi 1-15.
20	21 Januari 2026	Pelaksanaan uji coba lapangan (Evaluasi Pengguna) sesi 16-30.
21	23 Januari 2026	Input data mentah skor UEQ ke dalam <i>spreadsheet</i> analisis .
22	26 Januari 2026	Pengolahan data statistik UEQ (<i>Mean</i> , <i>Varians</i>) dan <i>plotting benchmark</i> .
23	29 Januari 2026	Analisis keterkaitan hasil empiris dengan teori desain dan finalisasi Model v1.0 .
24	01 Februari 2026	Penyusunan draf artikel ilmiah untuk Jurnal Sinta 2.
25	03 Februari 2026	Finalisasi laporan akhir

Lampiran 4. Artikel Ilmiah (draft)



Design model of AR-NumPlay: A gamification framework for numeracy learning experience

Kukuh Harsanto*¹, Subandi²
1,2, Universitas Budi Luhur, Indonesia

Article Info

Keywords:
Augmented Reality, Design Framework, Embodied Interaction, Gamification, Learning Experience, Numeracy

Article history:

Received 17 August 2018
Revised 15 February 2019
Accepted 4 April 2019
Available online 4 April 2019

Cite:

Wardana, A., Rakhmatsyah, A., Minamo, A., & Anbiya, D. (2019). Internet of Things Platform for Manage Multiple Message Queuing Telemetry Transport Broker Server. *Kinetik: Game Technology, Information System, Computer Network, Computing, Electronics, and Control*, 4(3).
doi:<http://dx.doi.org/10.22219/kinetik.v4i3.841>

* Corresponding author.
Corresponding Author
E-mail address:
kukuhharsanto@budiluhur.ac.id

Abstract

Learning basic numeracy skills in early childhood education often faced challenges due to abstract and unengaging traditional teaching methods. While Augmented Reality (AR) and gamification offered potential immersive solutions, their development remained ad-hoc due to the absence of standardized design frameworks. This study aimed to design and validate the "AR-NumPlay Design Model," a systematic framework intended to enhance student learning experiences through embodied interaction. The research employed the Design-Based Research (DBR) method, which encompassed five stages: conceptual design, expert validation, prototype development, user evaluation, and final model analysis. A high-fidelity prototype named "Arith-AR" was developed as a technical instantiation of the model using a hybrid system approach. Empirical validation was conducted with 30 primary school students using the User Experience Questionnaire (UEQ). The results indicated that the AR-NumPlay Model v1.0 achieved "Excellent" ratings in the Novelty (+2.58) and Stimulation (+2.42) scales. These findings proved that the integration of physical AR interaction and hybrid systems effectively created concrete and motivating learning experiences. This research concluded that the AR-NumPlay model provided a comprehensive guide for educational technology developers to create immersive and effective numeracy learning media by bridging the gap between physical quantity understanding and abstract mathematical symbols.

1. Introduction

The Introduction should provide a clear background, a clear statement of the problem, the relevant literature on the research subject, the proposed approach or solution or method, and the new value or novelty of research [1]. Organization and citation of the bibliography are made in Vancouver style [2]. The terms in foreign languages are written italic. Authors are suggested to present their articles in the section structure: Introduction, Research Method, Results and Discussion, Conclusion, References. Acknowledgement and Notation can be written before References section if needed.

The manuscripts must be submitted through the website <http://kinetik.umm.ac.id> by following the specified registration flow. The entire registration and submission process of manuscript are free of charge. The length of manuscript is minimum 6 pages and maximum 8 pages based on article format according to the provided template.

Mastering basic numeracy skills is an essential foundation for a student's future academic success, particularly in Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) disciplines. However, traditional numeracy teaching methods at the early childhood education level are often abstract, repetitive, and unengaging, which frequently fails to motivate students. This aligns with identified challenges in STEM learning, where dense and technical materials can diminish the overall student learning experience.

Mobile learning technology offers a viable solution to address these pedagogical issues. Two specific technologies showing great potential are Augmented Reality (AR) and gamification. AR creates immersive learning environments that blend the physical and digital worlds, allowing students to interact physically with virtual objects, a concept known as embodied interaction. Meanwhile, gamification, or the use of game design elements, has proven effective in increasing student motivation, engagement, and enjoyment.

Despite the proliferation of mobile learning applications for mathematics, there is a significant lack of standardized design frameworks specifically formulated to integrate AR interactions and gamification elements for early childhood numeracy. Existing guidelines often focus solely on technical usability and fail to address the learning

Cite: Wardana, A., Rakhmatsyah, A., Minamo, A., & Anbiya, D. (2019). Internet of Things Platform for Manage Multiple Message Queuing Telemetry Transport Broker Server. *Kinetik: Game Technology, Information System, Computer Network, Computing, Electronics, and Control*, 4(3).
doi:<http://dx.doi.org/10.22219/kinetik.v4i3.841>

experience holistically. Previous research has explored AR-gamification models for STEM, but these were typically targeted at older students (ages 12-15).

To bridge this gap, this research proposes the AR-NumPlay Design Model. This study utilizes the Design-Based Research (DBR) approach to design, develop, and validate a new framework specifically tailored for early childhood numeracy. The novelty of this research lies in its focus on practical guidelines for maximizing learning experience through embodied interaction and a hybrid system, validated using the User Experience Questionnaire (UEQ). By transitioning from concrete physical interactions in AR to abstract symbolic representations, this model aims to provide a more natural and effective learning trajectory for young learners.

2. Research Method

This study employed the Design-Based Research (DBR) method. This approach was selected because it is iterative and highly relevant to Information Technology research, which aims not only to understand a phenomenon but also to design and develop a new computational artifact. The research followed a systematic flow consisting of conceptual design, expert validation, implementation, and empirical evaluation. The research was conducted over a six-month period. The chronological stages of the research are illustrated in Figure 1.

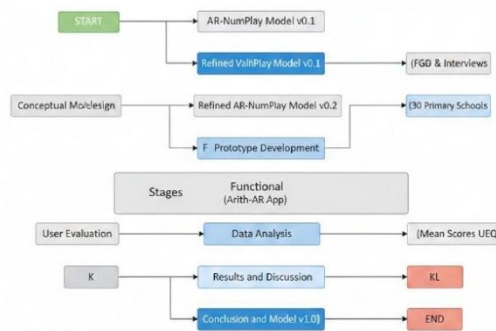


Figure 1. Research Flow Diagram

2.1. Conceptual Model Design (Stage 1)

The first stage focused on designing the conceptual architecture of the AR-NumPlay Model. This involved a deep synthesis of three core domains:

- Pedagogical Domain: Analyzed cognitive theories on how early childhood students learn basic numeracy, focusing on one-to-one correspondence, cardinality, and subitizing.
- Gamification Domain: Synthesized the Mechanics, Dynamics, and Aesthetics (MDA) framework to identify effective game elements like points, feedback, and rewards for children.
- HCI/AR Domain: Analyzed mobile AR interaction patterns with an emphasis on Embodied Interaction (physical movement-based interaction).

The output of this stage was the AR-NumPlay Model v0.1.

2.2. Expert Validation (Stage 2)

The v0.1 model was validated qualitatively through Focus Group Discussions (FGD) and semi-structured interviews involving 4-6 Subject Matter Experts (SME) in the fields of HCI, Software Engineering, and Early Childhood Education. This stage ensured content validity, completeness, and technical feasibility. The feedback from experts led to the refinement of the model into version v0.2.

2.3. Prototype Development (Stage 3)

The validated model (v0.2) was instantiated into a functional software artifact named "Arith-AR". The application was developed using the Unity 3D engine integrated with the Google ARCore library for markerless surface detection. The prototype utilized a hybrid system comprising an AR Exploration Module for physical interaction and a 2D Quiz Module for abstract concept reinforcement.

2.4. User Evaluation and Data Acquisition (Stage 4 & 5)

To validate the model empirically, an experimental study was conducted with 30 primary school students selected through purposive sampling. Respondents interacted with the "Arith-AR" prototype in a controlled session.

Data were collected using the User Experience Questionnaire (UEQ). The UEQ measures six scales: Attractiveness, Perspicuity, Efficiency, Dependability, Stimulation, and Novelty. The data analysis involved calculating the mean score (\bar{x}) for each scale using the following formula:

$$\bar{x}_{\text{scale}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i$$

Where n represents the total number of responses per scale and v_i represents the individual response value ranging from -3 to +3. The model was considered successfully validated if the majority of the scales achieved a mean score above +0.8.

3. Results and Discussion

The results of this research are presented chronologically, following the development and validation stages of the **AR-NumPlay** model as outlined in the research roadmap.

1. Conceptual Model Design Synthesis

The primary output of the initial stage was the **AR-NumPlay Model v0.1**, which serves as a theoretical framework for numeracy application development. This model was formulated by synthesizing three core domains: early childhood pedagogy, gamification mechanics, and Augmented Reality interaction patterns. **Figure 1** shows the conceptual architecture scheme of the AR-NumPlay model, illustrating how the integration of these three domains centers on the student learning experience.

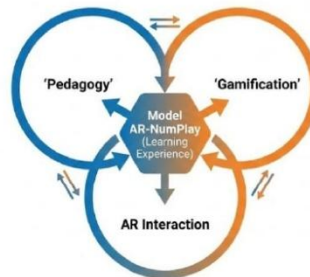


Figure 1 here: Skema Arsitektur Konseptual Model AR-NumPlay

The design matrix of the model ensures that every technical element is grounded in pedagogical theory, particularly the transition from concrete physical objects to abstract mathematical symbols as detailed in **Table 1**.

Table 1. Matrix of AR-NumPlay Conceptual Model v0.1 Synthesis

Component	Pedagogical Foundation	Implementation in Model v0.1
Counting Logic	One-to-One Correspondence	Objects must be 3D concrete items; symbols only appear after counting is complete.
Navigation	Embodied Interaction	Visual radar guides students to move physically in the real world to find targets.
Level Structure	Cognitive Scaffolding	Level 1: Static objects (1-5); Level 2: Moving objects; Level 3: Hidden objects (6-10).
Feedback	MDA Framework	Multisensory response: Corrective (audio) for errors and Reinforcement (animation) for success.

2. Expert Validation and Technical Refinement

The v0.1 model was subjected to qualitative validation by five Subject Matter Experts (SME) specializing in Early Childhood Education, HCI, and Software Engineering. The validation resulted in critical refinements to mitigate cognitive overload and physical fatigue. Material was divided into short sessions of 3–5 minutes, and a Screen Calibration feature was added to ensure AR objects appear on the floor rather than at eye level, allowing for a more relaxed arm position. These refinements were finalized in AR-NumPlay Model v0.2.

3. Prototype Instantiation: "Arith-AR" Application

Model v0.2 was instantiated into a high-fidelity prototype named "Arith-AR," developed using Unity 3D and Google ARCore. The system implements a hybrid architecture to balance physical interaction with conceptual reinforcement.

A. Exploration Module (AR Mode) The application utilizes markerless AR to detect floor surfaces.

Figure 2 shows the markerless AR surface detection interface, where a grid visual provides feedback to the user that the area is ready for use.



Figure 2. Surface Detection Interface Display

Once the surface is detected, 3D concrete objects appear. Following the **Embodied Interaction** principle, students must physically walk toward these objects to count them. **Figure 3** illustrates the primary AR gameplay interface where 3D objects, such as apples, are placed in the real-world environment for students to count.



Figure 3 Display of Gameplay AR

B. Evaluation Module (Quiz Mode) After the AR session, students are transitioned to a 2D interface to reinforce abstract concepts. **Figure 4** displays the evaluation module for concept reinforcement, showing how concrete understanding is transferred into symbolic representations like "7 + 14".

(Place Figure 4 here: Tampilan Modul Evaluasi - Source: Figure 5, page 16 of the report)

4. Empirical Validation and UEQ Analysis

The final validation involved 30 primary school students using the **User Experience Questionnaire (UEQ)**. The results showed that the prototype achieved **Excellent** ratings across most scales, particularly in hedonic qualities.

Table 2. Mean UEQ Scale Scores for Arith-AR Prototype (N=30)

No	UEQ Scale	Mean Score (x)	Benchmark Interpretation
1	Attractiveness	2.15	Excellent
2	Perspicuity (Clarity)	1.88	Excellent
3	Efficiency	1.72	Good
4	Dependability	1.65	Good
5	Stimulation	2.42	Excellent
6	Novelty (Kebaruan)	2.58	Excellent

The model is considered empirically validated as all scales achieved a mean score significantly above the 0.8 success threshold.

Acknowledgement

The authors would like to express their gratitude to Universitas Budi Luhur and the Directorate of Research and Community Service (DRPM) for providing the funding and facilities necessary to complete this research. Hopefully, this study contributes significantly to the advancement of educational technology in Indonesia

References

- [1] M. Chernyshev, Z. Baig, O. Bello, and S. Zeadally, "Internet of Things (IoT): Research, Simulators, and Testbeds," *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 5, No. 3, Pp. 1637–1647, 2018. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2017.2786639>
- [2] J. Rui and S. Danpeng, "Architecture Design of the Internet of Things based on Cloud Computing," in *Seventh International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, Pp. 206–209, 2015. <https://doi.org/10.1109/ICMTMA.2015.57>
- [3] H. C. Hwang, J. Park, and J. G. Shon, "Design and Implementation of a Reliable Message Transmission System Based on MQTT Protocol in IoT," *Wireless Pers Commun.*, Springer, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11277-016-3398-2>
- [4] W. Pipatsakulroj, V. Visootviseth, and R. Takano, "muMQ: A Lightweight and Scalable MQTT Broker," in *IEEE International Symposium on Local and Metropolitan Area Networks (LANMAN)*, 2017. <https://doi.org/10.1109/LANMAN.2017.7972165>
- [5] A. Zabasta, et. al, "MQTT Service Broker for Enabling the Interoperability of Smart City Systems," in *IEEE Energy and Sustainability for Small Developing Economies (ES2DE)*, 2018. <https://doi.org/10.1109/ES2DE.2018.8494341>

Lampiran 5. HKI


REPUBLIC INDONESIA
KEMENTERIAN HUKUM

SURAT PENCATATAN CIPTAAN

Dalam rangka perlindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:

Nomor dan tanggal permohonan : EC002026015352, 26 Januari 2026

Pencipta
Nama : **Kukuh Harsanto dan Subandi**
Alamat : Jl. Alfa IV No. 74 RT.04 RW.07, Karawaci, Kota Tangerang, Banten, 15114
Kewarganegaraan : Indonesia

Pemegang Hak Cipta
Nama : **Direktorat Riset dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Budi Luhur**
Alamat : Jl. Ciledug Raya, RT.10/RW.2, Pesangrahan, Kota Adm. Jakarta Selatan, DKI Jakarta, 12260
Kewarganegaraan : Indonesia

Jenis Ciptaan : **Program Komputer**
Judul Ciptaan : **Model Desain AR- NumPlay: Kerangka Kerja Gamifikasi untuk Learning Experience Keterampilan Berhitung Dasar**

Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia : 15 Januari 2026, di DKI Jakarta

Jangka waktu perlindungan : Berlaku selama 50 (lima puluh) tahun sejak Ciptaan tersebut pertama kali dilakukan Pengumuman.

Nomor Pencatatan : 001094881

adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon.
Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.

a.n. MENTERI HUKUM
DIREKTUR JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL
u.b
Direktur Hak Cipta dan Desain Industri


Agung Damarsasongko.SH..MH.
NIP. 196912261994031001





Disclaimer:
1. Dalam hal pemohon memberikan keterangan tidak sesuai dengan surat pernyataan, Menteri berwenang untuk mencabut surat pencatatan permohonan.
2. Surat Pencatatan ini telah disegel secara elektronik menggunakan segel elektronik yang diterbitkan oleh Balai Besar Sertifikasi Elektronik, Badan Siber dan Sandi Negara.
3. Surat Pencatatan ini dapat dibuktikan keasliannya dengan memindai kode QR pada dokumen ini dan informasi akan ditampilkan dalam browser.