

Rancang Bangun Antena Mikrostrip Untuk Perangkat IoT Peringatan Bahaya Kebakaran

Microstrip Antenna Design for Fire Hazard Warning IoT Device

Nasyid Haris Sulaiman¹, Eka Purwa Laksana^{2*}, Suwasti Broto³

¹²³ Fakultas Teknik
Universitas Budi Luhur

E-mail: ¹nasyidharis@gmail.com, ^{2*}eka.purwalaksana@budiluhur.ac.id, ³suwasti.broto@budiluhur.ac.id

(* corresponding author)

Abstract

This study aims to design and realize a rectangular microstrip patch antenna operating at 2.4 GHz to improve the communication performance of an Internet of Things (IoT)-based fire hazard warning device within a Wireless Sensor Network (WSN). The antenna was designed using an FR-4 Epoxy substrate and simulated using CST Studio Suite prior to prototype fabrication. The optimization process was carried out by varying the ground plane dimensions and feed line parameters to achieve the desired return loss, Voltage Standing Wave Ratio (VSWR), and input impedance specifications. The measurement results show that the fabricated antenna operates at a resonant frequency of 2.41 GHz, with a return loss of -22.234 dB, a VSWR of 1.37, a bandwidth of 63 MHz, and an input impedance of 55 Ω . The implementation of the antenna in the IoT-based fire hazard warning device increased the communication range from 13 m to 35 m. These results demonstrate that the proposed microstrip antenna provides satisfactory performance and is suitable for supporting wireless communication in IoT-based fire hazard warning systems.

Keywords: *Microstrip Antenna, Wireless Sensor Network, Internet of Things, Fire Hazard Warning System, CST Studio Suite, FR-4 Epoxy*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan merancang dan merealisasikan antena mikrostrip patch persegi panjang pada frekuensi 2,4 GHz untuk meningkatkan performa komunikasi perangkat Internet of Things (IoT) peringatan bahaya kebakaran berbasis Wireless Sensor Network (WSN). Antena dirancang menggunakan substrat FR-4 Epoxy dan disimulasikan menggunakan CST Studio Suite sebelum direalisasikan dalam bentuk prototipe. Proses optimasi dilakukan dengan memvariasikan dimensi groundplane dan saluran pencatu untuk memperoleh nilai return loss, VSWR, dan impedansi masukan yang sesuai dengan spesifikasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa antena bekerja pada frekuensi 2,41 GHz dengan return loss sebesar -22,234 dB, VSWR sebesar 1,37, bandwidth sebesar 63 MHz, serta impedansi masukan sebesar 55 Ω . Implementasi antena pada perangkat IoT peringatan bahaya kebakaran mampu meningkatkan jangkauan transmisi dari 13 meter menjadi 35 meter. Hasil tersebut menunjukkan bahwa antena mikrostrip yang dirancang memiliki kinerja yang baik dan layak digunakan untuk mendukung komunikasi nirkabel pada sistem peringatan bahaya kebakaran berbasis IoT.

Kata kunci: Antena Mikrostrip, Jaringan Sensor Nirkabel, Internet of Things, Sistem Peringatan Bahaya Kebakaran, CST Studio Suite, FR-4 Epoxy.

1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan teknologi komunikasi nirkabel seperti *Wireless Sensor Networks* (WSN) berkembang dengan sangat cepat. Keberadaan WSN memungkinkan proses pengumpulan dan distribusi data dilakukan secara otomatis, sehingga kegiatan pengolahan serta pemantauan data menjadi lebih efektif dan efisien. WSN memanfaatkan gelombang elektromagnetik sebagai media transmisi data yang dibutuhkan. Dalam proses pengiriman data tersebut, digunakan antena sebagai perangkat pendukung komunikasi. Antena berfungsi sebagai transduser yang mengubah guided wave menjadi gelombang terpancar maupun sebaliknya.

Beberapa jenis antenna yang umum digunakan pada sistem komunikasi WSN antara lain antenna planar inverted F, antenna mikrostrip, antenna patch, antenna dipol, serta antenna dipol berbentuk bow-tie. Pemilihan jenis antenna pada WSN dilakukan berdasarkan kebutuhan sistem yang akan dirancang, seperti lokasi penempatan node sensor, topologi jaringan WSN yang digunakan, maupun frekuensi kerja antenna. Pada beberapa perangkat WSN, diperlukan antenna dengan pola radiasi terarah (directional) agar pancaran sinyal dapat difokuskan ke arah tertentu. Terdapat beberapa parameter penting yang perlu diperhatikan pada antenna mikrostrip. Parameter-parameter umum tersebut meliputi: 1) pola radiasi, 2) bandwidth, 3) *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR), 4) *return loss*, dan 5) impedansi masukan [1].

Pada penelitian [2] mengungkapkan adanya hubungan kuat antara pemilihan substrat dan efisiensi radiasi, di mana penggunaan material *low-loss* seperti Rogers RT5880 terbukti mampu menghasilkan efisiensi di atas 80% dibandingkan dengan substrat FR-4 standar. Hasil penelitian [3] menunjukkan bahwa sistem transfer daya induktif (IPT) yang dirancang mampu mencapai efisiensi sekitar 39,3% pada jarak 6 inci, yang membuktikan bahwa penggunaan menara transmisi untuk pengisian daya nirkabel secara berkala merupakan solusi yang layak untuk mendukung operasional drone pelacak kebakaran hutan dalam jangka waktu yang lebih lama. Penelitian [4] berhasil mengembangkan sistem fusi data proteksi kebakaran berbasis RFID dan WSN yang mampu mencapai tingkat pengenalan tag sebesar 99,6% serta mempercepat waktu respons alarm hingga kurang dari 2,7 detik, yang secara signifikan meningkatkan efisiensi manajemen keselamatan dibandingkan teknologi tradisional. Penelitian [5] berhasil mengembangkan antenna terintegrasi sel surya berbasis CIGS dengan profil ultra-rendah ($0,0046 \lambda_0$) yang menghasilkan efisiensi radiasi di atas 80% dan faktor bentuk (form factor) mencapai 99,1% pada pita frekuensi ISM 2,4 GHz tanpa adanya pemblokiran optik. Penelitian [6] berhasil mengembangkan desain antenna mikrostrip patch baru untuk frekuensi 868 MHz yang menghasilkan koefisien refleksi sebesar -34,3 dB dan terbukti mampu meningkatkan level performa serta efisiensi komunikasi nirkabel SigFox dalam skenario pengoperasian nyata. Penelitian [7] berhasil mengembangkan antenna mikrostrip patch sirkular termodifikasi untuk aplikasi mmWave 5G dan IoT yang menghasilkan penguatan puncak sebesar 12,5 dBi serta efisiensi radiasi mencapai 99% pada frekuensi 46,2 GHz. Hasil penelitian [8] menunjukkan bahwa realisasi antenna mikrostrip patch sirkular dengan elemen parasitik untuk radar altimeter berhasil mencapai penguatan sebesar 8,13 dBi dan lebar pita 300 MHz pada pita frekuensi C-band. Studi literatur [9] menyimpulkan bahwa implementasi berbagai teknik desain seperti Defected Ground Structure (DGS) dan metamaterial pada antenna CPW-fed mampu meningkatkan lebar pita impedansi hingga 181% dan penguatan hingga 13,1 dBi. Penelitian [10] membuktikan bahwa implementasi sistem monitoring deteksi kebakaran berbasis IoT efektif menurunkan risiko kebakaran secara signifikan, yang ditunjukkan dengan penurunan nilai RPN dari 720 menjadi 84 pada industri LPG. Hasil pengujian [11] menunjukkan bahwa desain antenna mikrostrip patch berbentuk L yang dikembangkan untuk aplikasi IoT 2,4 GHz mencapai efisiensi radiasi sebesar 98% dan penguatan puncak hingga 2,09 dBi. Penelitian [12] berhasil merancang antenna shared-aperture profil rendah untuk pita 5G FR1 dan FR2 yang menghasilkan penguatan sebesar 18,54 dBi serta kemampuan pemindaian berkas hingga $\pm 30^\circ$ pada frekuensi 27 GHz. Hasil [13] pengujian sistem alarm kebakaran berbasis IoT menunjukkan kemampuan sensor untuk mendeteksi api dalam jarak 10 cm dan konsentrasi asap hingga 1080 ppm dengan pengiriman notifikasi peringatan secara real-time melalui WhatsApp.

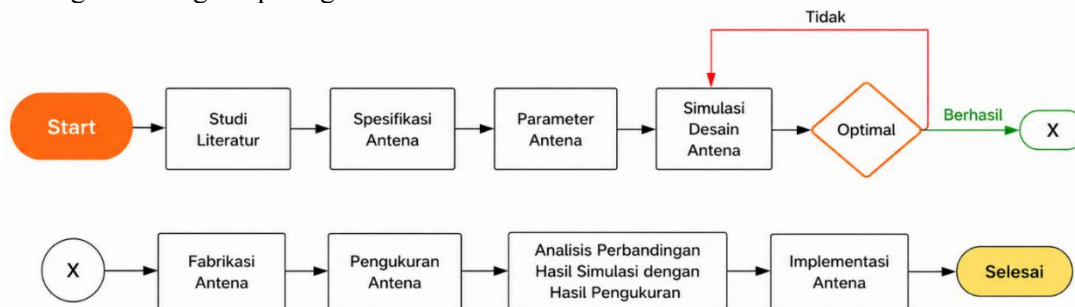
Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan, sebagian besar penelitian terdahulu berfokus pada peningkatan gain, bandwidth, efisiensi radiasi, maupun pengembangan antenna untuk aplikasi komunikasi umum. Namun demikian, penelitian yang secara khusus membahas perancangan antenna mikrostrip berbiaya rendah berbahan FR-4 untuk perangkat IoT peringatan bahaya kebakaran pada lingkungan padat penduduk masih sangat terbatas. Selain itu, kajian yang menghubungkan performa parameter antenna dengan peningkatan jangkauan komunikasi perangkat IoT peringatan bahaya kebakaran juga belum banyak dilaporkan. Oleh karena itu, penelitian ini mengisi kesenjangan tersebut dengan merancang, mensimulasikan, merealisasikan, dan menguji antenna mikrostrip 2,4 GHz yang diimplementasikan pada perangkat IoT peringatan bahaya kebakaran.

Kontribusi utama penelitian ini adalah merancang antenna mikrostrip patch persegi panjang frekuensi 2,4 GHz berbahan FR-4 yang ekonomis dan mudah difabrikasi, melakukan optimasi dimensi antenna menggunakan CST Studio Suite untuk memperoleh performa antenna yang memenuhi spesifikasi WSN, menguji kinerja antenna secara eksperimen melalui pengukuran parameter antenna dan implementasi pada perangkat IoT peringatan bahaya kebakaran, menganalisis pengaruh penggunaan antenna terhadap peningkatan jangkauan komunikasi perangkat IoT.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Tahapan Penelitian

Penerapan pada penelitian ini bersifat analisis dan aplikatif, yaitu tentang rancang dan bangun antenna mikrostrip dengan frekuensi kerja 2,4 Ghz untuk perangkat IOT peringatan bahaya kebakaran, dengan langkah – langkah pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Tahapan Penelitian

2.2. Spesifikasi Antena

Tahap awal pada proses ini dimulai dengan pemilihan material antenna, yaitu menggunakan FR4-Epoxy sebagai substrat dengan konstanta dielektrik relatif sebesar 4,4, tembaga sebagai bahan konduktor, serta konektor SMA female dengan impedansi 50Ω sebagai pencatu antenna.

Tabel 1. Spesifikasi Substrat

Jenis Substrat	FR4 - Epoxy
Konstanta Dielektrik Relatif (ϵ_r)	4,4
Ketebalan Substrat (h)	1,5 mm

Penentuan parameter antenna dilakukan berdasarkan kebutuhan sistem komunikasi perangkat IoT peringatan bahaya kebakaran yang beroperasi pada pita ISM 2,4 GHz. Nilai VSWR ditetapkan kurang dari 2 untuk memastikan pencocokan impedansi yang baik. Return loss ditargetkan lebih kecil dari -10 dB agar daya yang dipantulkan minimum. Impedansi masukan ditetapkan sebesar 50 Ω untuk menyesuaikan karakteristik saluran transmisi dan konektor SMA yang digunakan. Pola radiasi directional dipilih agar energi pancaran dapat difokuskan menuju node penerima sehingga meningkatkan jangkauan komunikasi. Tahap berikutnya adalah menentukan nilai parameter antenna yang dirancang untuk memperoleh performa antenna yang optimal yang diinginkan yaitu pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Eksperimen Model

No	Parameter Antena	Nilai
1	Frekuensi kerja (fr)	2,4 GHz
2	VSWR	< 2
3	Impedansi masukan	50 Ω
4	Pola Radiasi	Directional
5	Return loss	< -10 dB

2.3. Perhitungan Dimensi Antena

Dalam perancangan antenna mikrostrip dimensi yang perlu diketahui adalah dimensi geometris yang terdiri dari:

- Panjang antenna (L) yang biasanya ditentukan oleh frekuensi operasional dan kecepatan gelombang dalam medium elektrik yang digunakan.
- Lebar antenna (W) yang tergantung pada impedansi karakteristik yang diinginkan dan lebar jalur transmisi atau pencatutan yang digunakan.
- Groundplane permukaan konduktif yang berada dibawah substrat antenna mikrostrip. Dimensi groundplane juga mempengaruhi kinerja antenna mikrostrip.
- Pencatutan microstrip line bertujuan menyalurkan daya untuk antenna.
- Dengan perhitungan matematis secara berikut:

$$W = \frac{1}{2f_r \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (1)$$

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (2)$$

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (3)$$

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (4)$$

Keterangan :

W = Lebar patch antenna

L = Panjang patch antenna

fr = Frekuensi kerja antenna

C = Kecepatan cahaya (3×10^8)

$$Lg = xh + L \quad (5)$$

$$wg = xh + w \quad (6)$$

Keterangan :

Lg = Panjang groundplane dan substrat

Wg = Lebar groundplane dan substrat

x = Faktor pengali dengan nilai ≤ 6

h = Tinggi substrat

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_0} \quad (7)$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (8)$$

$$Lf = \frac{\lambda_g}{4} \quad (9)$$

$$Wf = \frac{2h}{\pi} x \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} [\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r}] \right\} \quad (10)$$

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (11)$$

Keterangan :

λ_0 = Panjang gelombang diruang bebas

λ_g = Panjang gelombang dalam bahan dielektrik saluran mikrostrip

Lf = Panjang saluran transmisi

Wf = Lebar saluran transmisi.

Dengan menggunakan Persamaan (1), diperoleh: W = 38 mm

Dengan menggunakan Persamaan (2)–(4), diperoleh: L = 29,5 mm

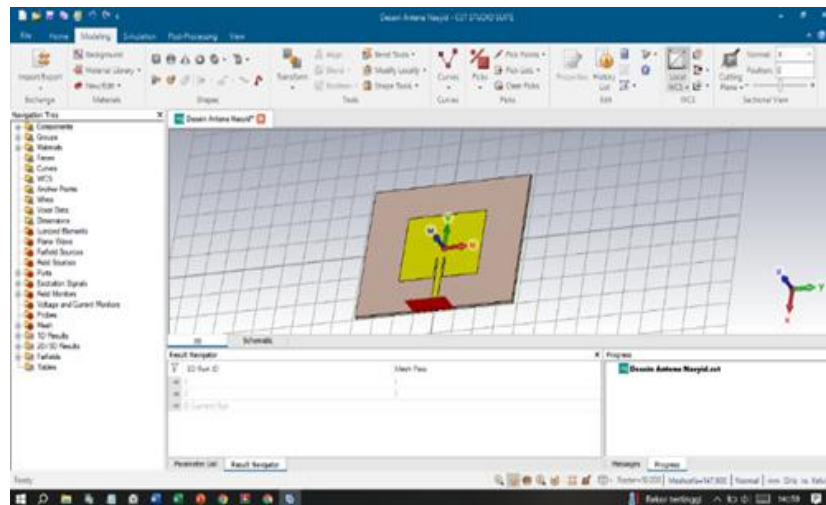
Selanjutnya diperoleh dimensi groundplane: Wg = 76 mm dan Lg = 59 mm

2.4. Simulasi dan Optimasi

CST Studio Suite adalah perangkat lunak simulasi elektromagnetik yang kuat yang digunakan untuk menganalisis berbagai jenis struktur dan komponen elektromagnetik, termasuk antenna mikrostrip. CST Studio Suite dapat dimanfaatkan untuk merancang, menganalisis, serta mengoptimalkan antenna mikrostrip dengan tingkat ketelitian yang tinggi. Dalam CST Studio Suite, dapat membuat model tiga dimensi (3D) dari antenna mikrostrip menggunakan perangkat lunak pemodelan yang disediakan. Dapat juga mendefinisikan bahan dan parameter geometris antenna, seperti Panjang, lebar, dan ketebalan

piringan mikrostrip, serta jenis substrat yang digunakan. Setelah mendesain seperti yang diinginkan dapat juga mensimulasikan elektromagnetik untuk menganalisis performa antenna [14].

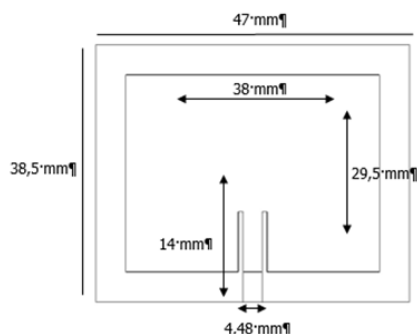
Proses simulasi pada perangkat lunak dilakukan untuk merancang antenna mikrostrip sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Desain antenna mikrostrip yang diperoleh dari perhitungan matematis berdasarkan persamaan (1)–(11) selanjutnya disimulasikan guna mengetahui performa antenna. Pada tahap perancangan, parameter utama yang ingin dicapai ditunjukkan pada Tabel 2, sehingga dilakukan beberapa percobaan simulasi dengan desain serta hasil yang ditampilkan pada Gambar 2.



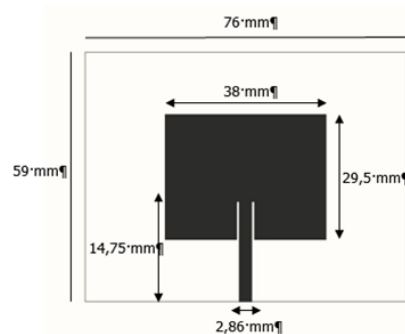
Gambar 2. Simulator Antena CST Studio Suite

Tabel 3. Hasil Optimasi

Dimensi	Nilai Awal (mm)	Nilai Akhir (mm)
Wg (Lebar Groundplane)	47	76
Lg (Panjang Groundplane)	38,5	59
Wf (Lebar Feedline)	4,48	2,86
Lf (Panjang Feedline)	14	14,75



Gambar 3. Dimensi Hasil Perhitungan

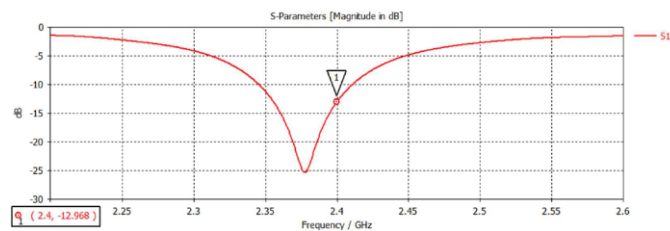


Gambar 4. Dimensi Setelah Optimasi

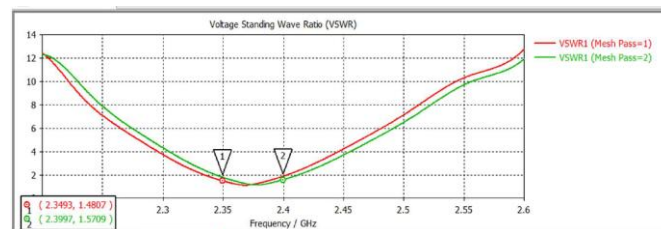
Proses optimasi dilakukan untuk memperoleh nilai return loss yang lebih kecil dari -10 dB, VSWR kurang dari 2, dan impedansi masukan mendekati 50 Ω pada frekuensi kerja 2,4 GHz. Optimasi dilakukan secara parametrik menggunakan CST Studio Suite dengan memvariasikan dimensi groundplane dan saluran pencatu (feedline). Parameter yang dimodifikasi meliputi lebar groundplane (Wg), panjang groundplane (Lg), lebar feedline (Wf), dan panjang feedline (Lf). Hasil optimasi menunjukkan bahwa perubahan dimensi tersebut mampu meningkatkan kinerja antenna dari return loss sebesar -9,5 dB menjadi -12,96 dB, menurunkan nilai VSWR dari 1,99 menjadi 1,57, serta menghasilkan impedansi masukan yang lebih mendekati nilai target 50 Ω . Dimensi antenna sebelum dan sesudah optimasi ditunjukkan pada Tabel 3. Proses optimalisasi dilakukan dengan memvariasikan nilai x sebagai faktor pengali pada Persamaan (5) dan (6) dan mengubah nilai saluran pencatu sesuai dengan perubahan dimensi groundplane, Sehingga didapatkan desain antenna hasil optimasi pada gambar 3 dan gambar 4.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

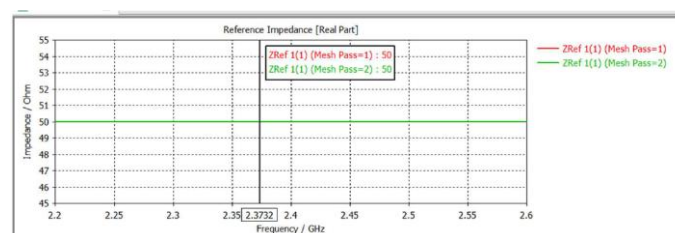
3.1 Hasil Simulasi



Gambar 5. Nilai Return Loss Setelah Optimasi



Gambar 6. Nilai VSWR Setelah Optimasi



Gambar 7. Nilai Impedansi Masukan Setelah Optimasi

Dapat dilihat dari gambar 5, gambar 6 dan gambar 7, perubahan pada dimensi groundplane dan saluran pencatu didapatkannya hasil yang cukup optimal dengan hasil kinerja antenna setelah optimasi sudah sesuai dengan parameter yang diinginkan yaitu return loss -12,96 dB, VSWR 1,57 dan impedansi masukan 50 Ω . Karena kinerja antenna mikrostrip sudah sesuai dengan kinerja yang diinginkan maka selanjutnya yaitu realisasi antenna mikrostrip yang telah dirancang secara optimal dengan dimensi pada tabel 4. Hasil simulasi menunjukkan frekuensi resonansi berada pada 2,38 GHz dengan return loss -16,2 dB dan VSWR 1,57 sehingga desain memenuhi spesifikasi awal.

3.2 Fabrikasi Antena

Fabrikasi antenna dilakukan berdasarkan hasil desain yang diperoleh dari tahap simulasi perancangan, di mana seluruh parameter yang diinginkan telah memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Antena mikrostrip direalisasikan dengan menggunakan material FR-4 Epoxy sebagai substrat yang memiliki konstanta dielektrik 4,4 dan ketebalan 1,5 mm, serta lapisan tembaga setebal 0,035 mm sebagai konduktor. Pada bagian saluran transmisi digunakan konektor SMA female dengan impedansi 50 Ω . Hasil fabrikasi antenna ditunjukkan pada Gambar 8, dimensi akhir antenna disajikan pada Tabel 4.



Gambar 8. Hasil Fabrikasi Antena

Tabel 4. Dimensi Akhir Antena

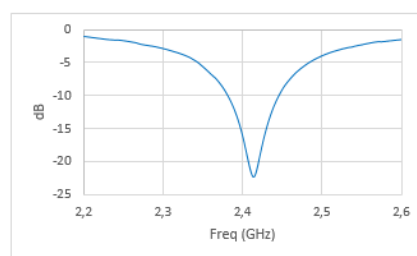
Dimensi	Hasil (mm)
Lebar (<i>patch</i>)	38
Panjang (<i>patch</i>)	29,5
Lebar saluran pencatu	2,86
Panjang saluran pencatu	14,75
Lebar insert	0,74
Panjang <i>inset</i>	9
Lebar <i>ground plane</i>	76
Panjang <i>ground plane</i>	59

3.3 Metode Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja antena mikrostrip yang telah direalisasikan dan membandingkannya dengan hasil simulasi. Parameter yang diukur meliputi frekuensi resonansi, return loss, VSWR, bandwidth, impedansi masukan, dan pola radiasi antena. Pengukuran dilakukan menggunakan Spectrum Analyzer Keysight FieldFox yang telah dikalibrasi sebelumnya untuk memastikan akurasi hasil pengukuran. Antena yang diuji dihubungkan ke perangkat pengukuran melalui konektor SMA dan kabel koaksial. Pengukuran return loss dilakukan pada mode Log Magnitude (LogMag), sedangkan pengukuran VSWR dilakukan pada mode VSWR. Impedansi masukan antena diamati menggunakan Smith Chart yang tersedia pada perangkat pengukuran.

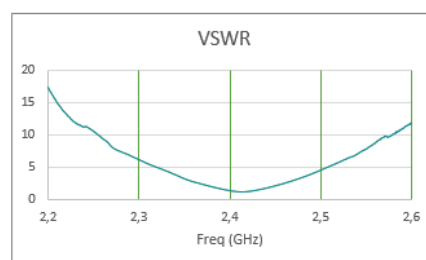
Bandwidth antena ditentukan berdasarkan rentang frekuensi pada nilai return loss ≤ -10 dB. Selain itu, pengujian pola radiasi dilakukan dengan memutar antena terhadap antena referensi pada sudut tertentu untuk memperoleh karakteristik arah pancaran antena. Selanjutnya, antena yang telah direalisasikan diimplementasikan pada perangkat IoT peringatan bahaya kebakaran berbasis WSN. Pengujian dilakukan dengan membandingkan kinerja komunikasi perangkat sebelum dan sesudah penggunaan antena mikrostrip, terutama terhadap parameter jangkauan transmisi data. Hasil pengujian digunakan untuk menganalisis pengaruh antena mikrostrip terhadap peningkatan performa komunikasi pada sistem peringatan bahaya kebakaran.

3.4 Hasil Pengujian Antena



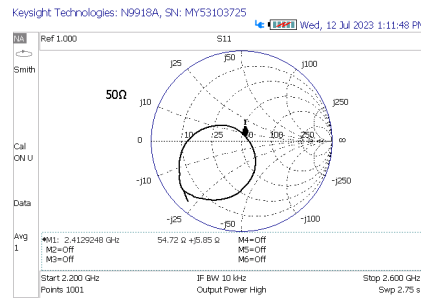
Gambar 9. Hasil Pengujian Frekuensi Kerja, Return Loss, dan Bandwidth

Dari gambar 9, didapatkan hasil frekuensi tengah antena dengan nilai 2,41 GHz terjadi peningkatan dari frekuensi tengah yang diinginkan yaitu 2,4 GHz, return loss mendapatkan -22,234 dB sesuai dengan yang diinginkan yaitu ≤ -10 dB, dan bandwidth rentang frekuensi yang didapatkan dari -10 dB yaitu frekuensi tertinggi 2,44 GHz dikurangi frekuensi terendah 2,38 GHz didapatkan nilai 63 MHz.



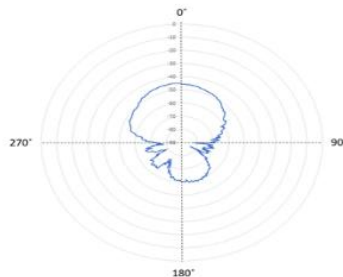
Gambar 10. Hasil Pengujian VSWR

Diperoleh nilai VSWR sebesar 1,37 pada frekuensi 2,4 GHz. Hasil tersebut menunjukkan bahwa performa VSWR antena tergolong baik, nilainya memenuhi kriteria, yaitu ≤ 2 .



Gambar 11. Hasil Pengujian Impedansi Masukan

Gasil impedansi masukan didapatkan sebesar $54,72\Omega + j5,85\Omega = 55,01\Omega$, terjadi peningkatan pada impedansi masukan yang diinginkan yaitu 50Ω dimana ini akan mempengaruhi kinerja antenna serta interaksi dengan sistem transmisi atau perangkat penerima.

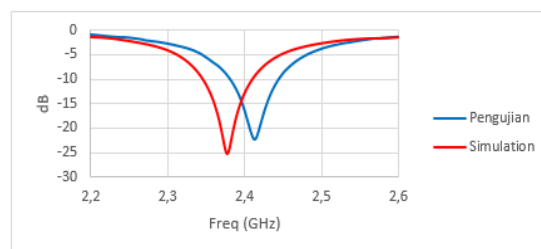


Gambar 12. Hasil Pengujian Pola Radiasi

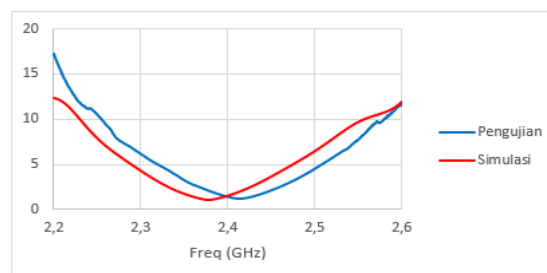
Berdasarkan hasil pengujian, pola radiasi antenna menunjukkan karakteristik *directional* dengan arah pancaran *main lobe* berada pada sudut 0° . Selain itu, terdapat *noise* pada bagian *back lobe* yang disebabkan oleh faktor lingkungan serta interferensi elektromagnetik.

3.5 Analisis Perbandingan Hasil Simulasi dengan Hasil Pengujian

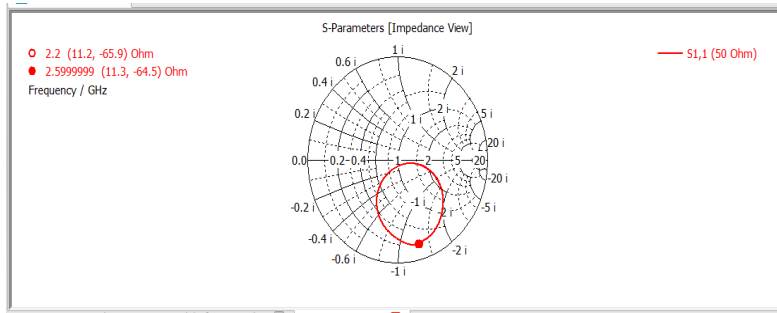
Analisis perbandingan antara hasil simulasi dan hasil pengujian secara nyata dilakukan untuk mengetahui perubahan performa antenna mikrostrip pada tahap simulasi maupun realisasi.



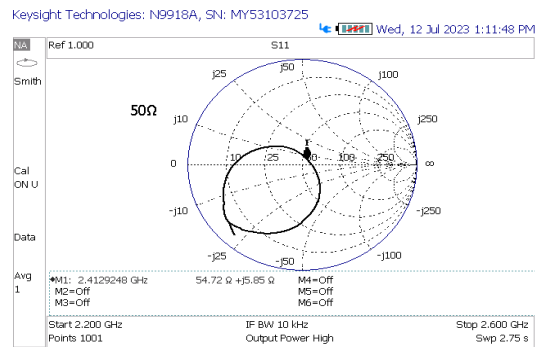
Gambar 13. Perbandingan Data Hasil Simulasi dan Pengujian Frekuensi Kerja, Return Loss dan Bandwith



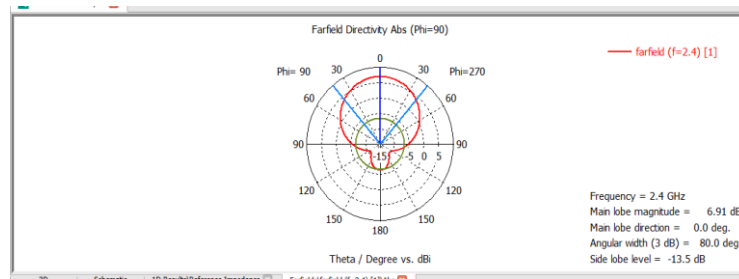
Gambar 14. Perbandingan Data Hasil Simulasi dan Pengujian VSWR



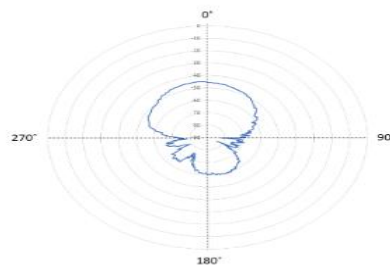
Gambar 15. Hasil Simulasi Impedansi Masukan



Gambar 16. Hasil Pengujian Impedansi Masukan



Gambar 17. Hasil Simulasi Pola Radiasi



Gambar 18. Hasil Pengujian Pola Radiasi

Setelah dilakukan pengujian terhadap setiap parameter antenna yang ditunjukkan pada Gambar 13–18, dapat diamati hasil dari masing-masing parameter yang telah disimulasikan maupun diuji untuk mengetahui kinerja antenna secara keseluruhan. Perbandingan hasil parameter yang diperoleh dari hasil simulasi dan pengujian ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Setiap Parameter

Spesifikasi Antena	Target	Simulasi	Pengujian
Frekuensi tengah	2,4 GHz	2,38 GHz	2,41 GHz
Return loss (pada frekuensi 2,4 GHz)	≤ -10 dB	-16,2 dB	-12,9 dB
VSWR (pada frekuensi 2,4 GHz)	≤ 2	1,57	1,37
Impedansi masukan	50 Ω	50 Ω	55 Ω
Pola radiasi	directional	directional	directional

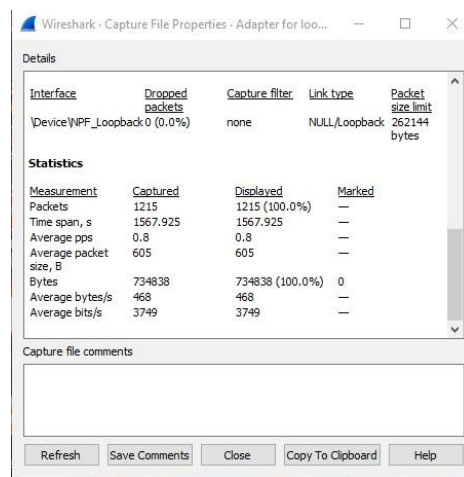
Dari Tabel 5 dapat diketahui kinerja antenna berdasarkan parameter-parameter yang didapat menunjukkan tidak semua parameter memenuhi target yang diinginkan. Namun nilai parameter yang didapatkan baik dari simulasi dan pengujian memperlihatkan perubahan yang dapat dihitung dan didapatkan perubahan sebesar 1,25%. Perubahan nilai return loss dan VSWR terjadi akibat adanya perubahan pada impedansi masukan antenna. Selain itu, perubahan pada *return loss* dan VSWR juga dapat memengaruhi frekuensi kerja antenna.

$$\text{Perubahan} = \frac{2,41 - 2,38}{2,4} \times 100\% = 1,25\%$$

3.6 Hasil Implementasi Antena Mikrostrip

a. *Quality of Service*

Dalam melihat kinerja antenna mikrostrip setelah diimplementasikan digunakannya metode quality of service (QOS) untuk memastikan kualitas jaringan nirkabel pada perangkat dalam mentransfer data dari pengirim ke penerima data. Dalam pengujian ini menggunakan software *wireshark* yang berfungsi memantau dan menganalisis lalu lintas data pada jaringan nirkabel dengan parameter-parameternya yaitu *throughput*, *packet loss* dan *delay* [15]. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 19.



Gambar 19. Hasil Pengujian Quality of Service

Berdasarkan pengujian didapatkan nilai throughput 3749,3 kilobits/s, packet loss 0% dan delay 1,2904 ms dimana menurut standar TIPHON termasuk buruk terkecuali packet loss yaitu baik.

b. Jangkauan transmisi antenna

Pengujian ini dilakukan untuk melihat perbedaan perangkat IoT yang menggunakan antenna dengan yang tidak menggunakan antenna dan juga untuk mendapatkan jarak transmisi yang dicari untuk mengoptimalkan penempatan perangkat IoT peringatan bahaya kebakaran pada lingkungan padat penduduk. Hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 6 dan 7.

Tabel 6. Jangkauan Transmisi Pada Perangkat IoT Tanpa Antena

Jarak (m)	Data dikirim	Data diterima	Pengiriman data
5	59.00%	59.00%	Berhasil
10	59.00%	59.00%	Berhasil
13	57.00%	57.00%	Berhasil
15	nan%	nan%	Tidak Berhasil
18	nan%	nan%	Tidak Berhasil

Tabel 7. Jangkauan Transmisi Pada Perangkat IoT dengan Antena

Jarak (m)	Data dikirim	Data diterima	Pengiriman data
10	67.00%	67.00%	Berhasil
20	67.00%	67.00%	Berhasil
30	61.00%	61.00%	Berhasil
35	64.00%	64.00%	Berhasil
37	nan%	nan%	Tidak Berhasil
40	nan%	nan%	Tidak Berhasil

Berdasarkan tabel 6 dan 7 data yang didapatkan dengan nilai (%) menunjukkan data kelembaban yang dihasilkan dari sensor dht 11 pada perangkat IoT, terlihat jarak terjauh untuk menempatkan perangkat IoT peringatan bahaya kebakaran tanpa antenna adalah 13 meter jika melebihi jarak 13 meter data yang dikirim tidak dapat tersampaikan sedangkan jarak terjauh untuk menempatkan perangkat IoT peringatan bahaya kebakaran dengan antenna adalah 35 meter dan apabila melebihi dari 35 meter data yang dikirimkan tidak dapat tersampaikan dari node ke base.

Peningkatan jangkauan komunikasi dari 13 Meter menjadi 35 Meter menunjukkan bahwa penggunaan antenna mikrostrip mampu memperluas cakupan monitoring perangkat IoT peringatan bahaya kebakaran hingga 169,2%. Dengan peningkatan tersebut, jumlah node yang dibutuhkan pada lingkungan padat penduduk dapat dikurangi sehingga biaya implementasi sistem menjadi lebih efisien.

Selain itu, keberhasilan pengiriman data pada jarak yang lebih jauh memungkinkan informasi kondisi kebakaran dapat diteruskan secara lebih andal menuju pusat monitoring sehingga meningkatkan efektivitas sistem peringatan dini kebakaran.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan merealisasikan antenna mikrostrip patch persegi panjang pada frekuensi kerja 2,4 GHz untuk aplikasi perangkat IoT peringatan bahaya kebakaran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa antenna bekerja pada frekuensi 2,41 GHz dengan return loss sebesar -22,234 dB, VSWR sebesar 1,37, bandwidth sebesar 63 MHz, dan impedansi masukan sebesar 55 Ω . Seluruh parameter utama telah memenuhi spesifikasi yang ditetapkan sehingga antenna layak digunakan pada sistem komunikasi WSN. Implementasi antenna pada perangkat IoT peringatan bahaya kebakaran mampu meningkatkan jangkauan transmisi dari 13 Meter menjadi 35 Meter atau meningkat sekitar 169,2% dibandingkan perangkat tanpa antenna. Hasil tersebut menunjukkan bahwa antenna mikrostrip yang dirancang efektif dalam meningkatkan performa komunikasi perangkat IoT untuk mendukung sistem peringatan dini bahaya kebakaran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Fadilah and K. Budayawan, "Desain dan Karakteristik Antena Microstrip Sebagai Sensor Non – Destructive," *Voteteknika (Vocational Tek. Elektron. dan Inform.*, vol. 10, no. 2, p. 1, 2022, doi: 10.24036/voteteknika.v10i2.116516.
- [2] Y. Albaihani, R. Akram, E. A. Hajlaoui, A. M. Almohaimeed, Z. M. Almohaimeed, and A. Albaihani, "5.8 GHz Microstrip Patch Antennas for Wireless Power Transfer: A Comprehensive Review of Design, Optimization, Applications, and Future Trends," *Electronics*, vol. 15, no. 2, p. 311, 2026, doi: 10.3390/electronics15020311.
- [3] J. La Porte, "Using Inductive and Microwave Power Transfer to Design a Wildfire Tracking Drone," pp. 1–8, 2024, doi: 10.2514/6.2024-78395.
- [4] X. Li, X. Zhang, and L. Lei, "Construction of an Innovative RFID- Based Cross-System Fire Protection Data Fusion and Intelligent Decision- Making System," pp. 0–9, 2026, doi: 10.20944/preprints202601.2131.v1.
- [5] A. Ali, *et al.*, "Ultra-low profile solar-cell-integrated antenna with a high form factor," *Sci. Rep.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–9, 2021, doi: 10.1038/s41598-021-00461-w.
- [6] L. Anchidin, A. Lavric, P. M. Mutescu, A. I. Petrariu, and V. Popa, "The Design and Development of a Microstrip Antenna for Internet of Things Applications," *Sensors*, vol. 23, no. 3, 2023, doi: 10.3390/s23031062.
- [7] A. A. G. Mohammed, A. S. A. Gaid, M. A. Alomari, and Z. A. Shamsan, "High-gain microstrip antenna with improved radiation characteristics for mmWave 5G and IoT: Design, optimization, and validation," *J. Radiat. Res. Appl. Sci.*, vol. 18, no. 4, p. 101964, 2025, doi: 10.1016/j.jrras.2025.101964.
- [8] S. Latifah and H. Madiawati, "Antena Mikrostrip Circular Patch untuk Aplikasi Radar Altimeter pada Frekuensi C-Band Menggunakan Metode Parasitik," *J. Tek. Media Pengemb. Ilmu dan Apl. Tek.*, vol. 21, no. 2, pp. 106–114, 2023, doi: 10.55893/jt.vol21no2.453.
- [9] *et al.*, "Advancements in CPW-Fed Antennas: Review on Design Techniques and Performance Optimization for 5G and Beyond," *Curr. Nat. Sci. Eng.*, vol. 2, no. 3, pp. 682–704, 2025, doi: 10.63015/10se-2464.2.3.

- [10] A. Riyadi, E. Nursanti, and J. H. Galuh, “Perancangan Sistem Monitoring Deteksi Kebakaran Berbasis Internet of Things (IoT) Untuk Menurunkan Risiko Kebakaran,” *J. Valtech*, vol. 7, no. 1, pp. 123–128, 2024, doi: 10.36040/valtech.v7i1.9272.
- [11] M. F. Zambak *et al.*, “A Compact 2.4 GHz L-Shaped Microstrip Patch Antenna for ISM-Band Internet of Things (IoT) Applications,” *Electron.*, vol. 12, no. 9, 2023, doi: 10.3390/electronics12092149.
- [12] M. Simone *et al.*, “A Low-Profile Shared Aperture Antenna for FR1 and FR2 5G Frequency Bands,” *IEEE Access*, vol. 12, no. April, pp. 71617–71627, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3400671.
- [13] M. Amirul Akbar P, Suwadi Nanra, and Jumadril JN, “Perancangan Sistem Alarm Kebakaran Berbasis Iot Untuk Mendeteksi Kebakaran Secara Real-Time,” *Zo. Elektro Progr. Stud. Tek. Elektro Univ. Batam*, vol. 14, no. 3, pp. 21–30, 2024, doi: 10.37776/ze.v14i3.1620.
- [14] M. W. Iqbal, F. Y. Zulkifli, and E. T. Rahardjo, “Peningkatan Bandwidth dan Gain Antena Mikrostrip Leaky Wave dengan Multi Slot untuk Aplikasi WLAN,” *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 10, no. 2, p. 432, 2022, doi: 10.26760/elkomika.v10i2.432.
- [15] R. Ramadhan, A. I. Purnamasari, and A. R. Dikananda, “Analisis Perbandingan Quality of Service Menggunakan Virtual Access Point Dan Real Access Point Dengan Metode Tiphon,” *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 7, no. 1, pp. 516–526, 2023, doi: 10.36040/jati.v7i1.6352.