

# DESAIN ANTENA MICROSTRIP MULTIBAND DENGAN SLOT UNTUK LORA/GPS PADA APLIKASI INTERNET OF THINGS

Mohamad Reynaldy Hilyawan<sup>\*)</sup>, Syaiful Romadhon, Siti Hajar Juliatiza dan Mutia Nurpasha

<sup>\*)</sup> Program Studi Teknik Elektro, Universitas Pamulang, Serang, Indonesia

<sup>\*)</sup> E-mail: dosen02935@unpam.ac.id

## Abstrak

Antena mikrostrip banyak digunakan dalam aplikasi komunikasi nirkabel karena bentuknya yang ringkas dan kemampuannya bekerja pada berbagai frekuensi. Namun, sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada antena *dual-band* dan belum secara optimal mengintegrasikan kebutuhan komunikasi *Internet of Things* (IoT) yang menggabungkan LoRa dan GPS. Penelitian ini mengusulkan desain antena mikrostrip *multiband* berbasis slot pada *patch* untuk mendukung aplikasi LoRa dan GPS dengan ukuran yang kompak. Metode perancangan menggunakan substrat FR4 dengan ketebalan 1,6 mm dan dimensi antena  $65 \times 62 \times 1,6 \text{ mm}^3$ . Hasil simulasi menunjukkan bahwa antena mampu beroperasi pada beberapa frekuensi dengan *return loss* -11,93 dB pada 915 MHz, -11,92 dB pada 972 MHz, -18,54 dB pada 1,42 GHz, dan -17,23 dB pada 1,57 GHz. Evaluasi performa menunjukkan bahwa antena memiliki *bandwidth* yang memadai, efisiensi radiasi yang baik, serta potensi penggunaan untuk sistem LoRa (915 MHz) dan GPS (1,57 GHz). Kontribusi utama penelitian ini adalah menghadirkan desain antena *multiband* sederhana dengan teknik slot tanpa elemen tambahan, yang efektif untuk aplikasi IoT berbasis LoRa dan GPS. Desain ini berpotensi diterapkan pada perangkat sensor nirkabel, pelacakan berbasis satelit, serta dapat dikembangkan lebih lanjut menuju antena dengan polarisasi sirkuler untuk meningkatkan kompatibilitas sistem.

*Kata kunci:* Mikrostrip, LoRa/GPS, IoT, Multiband, Slot.

## Abstract

*Microstrip antennas are widely used in wireless communication applications due to their compact size and ability to operate at various frequencies. However, most previous studies have focused on dual-band antennas and have not optimally integrated the needs of Internet of Things (IoT) communications that combine LoRa and GPS. This study proposes a multiband microstrip antenna design based on a slot on a patch to support LoRa and GPS applications with a compact size. The design method uses an FR4 substrate with a thickness of 1.6 mm and antenna dimensions of  $65 \times 62 \times 1.6 \text{ mm}^3$ . Simulation results show that the antenna is capable of operating at several frequencies with a return loss of -11.93 dB at 915 MHz, -11.92 dB at 972 MHz, -18.54 dB at 1.42 GHz, and -17.23 dB at 1.57 GHz. Performance evaluations indicate that the antenna has adequate bandwidth, good radiation efficiency, and potential use for LoRa (915 MHz) and GPS (1.57 GHz) systems. The main contribution of this research is to present a simple multiband antenna design using a slot technique without additional elements, which is effective for LoRa and GPS-based IoT applications. This design has the potential to be applied to wireless sensor devices, satellite-based tracking, and can be further developed into an antenna with circular polarization to improve system compatibility.*

*Keywords:* Microstrip, LoRa/GPS, IoT, Multiband, Slot.

## 1. Pendahuluan

*Internet of Things* (IoT) merupakan teknologi terintegrasi yang memungkinkan berbagai perangkat saling berkomunikasi dan bertukar informasi melalui jaringan nirkabel [1]. IoT menghadirkan kemudahan dalam pengendalian perangkat dari jarak jauh, sekaligus memberikan manfaat ekonomi berupa peningkatan efisiensi, efektivitas, serta optimalisasi sumber daya [2]. Perkembangan IoT yang pesat dalam era telekomunikasi modern mendorong kebutuhan terhadap perangkat

komunikasi yang ringkas, efisien, dan mampu bekerja pada berbagai standar komunikasi [3].

Salah satu komponen penting dalam sistem komunikasi nirkabel adalah antena, karena secara langsung memengaruhi kualitas transmisi dan penerimaan sinyal. Antena yang dirancang dengan baik dapat meningkatkan efisiensi radiasi, memperluas *bandwidth*, serta menjamin kompatibilitas dengan sistem yang digunakan [3]. Antena *patch* mikrostrip (*Microstrip Patch Antenna*, MPA) banyak diaplikasikan pada perangkat IoT karena sifatnya yang ringkas, mudah difabrikasi, serta presisi bekerja pada

frekuensi gelombang mikro [4]. Selain itu, miniaturisasi antena memungkinkan integrasi yang lebih mudah ke dalam perangkat IoT berukuran kecil tanpa mengorbankan kinerja [5].

Keunggulan MPA mencakup ketahanan mekanis, kemudahan desain, biaya fabrikasi yang relatif rendah, serta kemampuannya diintegrasikan dengan permukaan planar maupun non-planar [6][7][8][9]. Karakteristik ini menjadikannya pilihan populer dalam pengembangan antena untuk sistem IoT, termasuk teknologi LoRa (*Long Range*) yang beroperasi pada frekuensi sub-GHz. Beberapa penelitian dalam dekade terakhir melaporkan desain MPA untuk aplikasi LoRa, baik dengan pendekatan antena miniatur [9], antena untuk komunikasi bawah air [10], maupun antena IoT berukuran kompak [11]. Namun, sebagian besar penelitian tersebut berfokus pada LoRa saja dan jarang yang mempertimbangkan kebutuhan simultan untuk LoRa dan GPS.

Sebagai contoh, Muhammad et al. [12] mengusulkan antena *dual-band* untuk aplikasi geolokasi IoT yang mencakup GPS pada 1,57 GHz dan LoRa pada 868 MHz. Antena tersebut memiliki ukuran kompak  $65 \times 62 \times 1,6$  mm<sup>3</sup> dengan penguatan masing-masing 3,35 dBi (LoRa) dan 5,08 dBi (GPS). Meskipun hasilnya cukup baik, penelitian ini masih terbatas pada dua frekuensi operasi, sehingga fleksibilitasnya dalam mendukung aplikasi IoT yang lebih luas belum optimal.

Berdasarkan kajian tersebut, gap penelitian yang muncul adalah kebutuhan antena *multiband* yang mampu bekerja tidak hanya pada LoRa dan GPS, tetapi juga pada frekuensi tambahan yang relevan dengan IoT. Desain antena *multiband* dapat memberikan fleksibilitas lebih tinggi, terutama dalam mendukung perangkat IoT yang membutuhkan komunikasi jarak jauh (LoRa 915–970 MHz) sekaligus layanan navigasi satelit (GPS 1,42–1,57 GHz).

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan desain antena mikrostrip *multiband* dengan teknik slot untuk menghasilkan kinerja optimal pada beberapa frekuensi operasi. Antena yang diusulkan memiliki dimensi ringkas  $65 \times 62 \times 1,6$  mm<sup>3</sup> menggunakan substrat FR4, serta diuji melalui simulasi parameter kinerja seperti *return loss*, *bandwidth*, efisiensi radiasi, dan polarisasi.

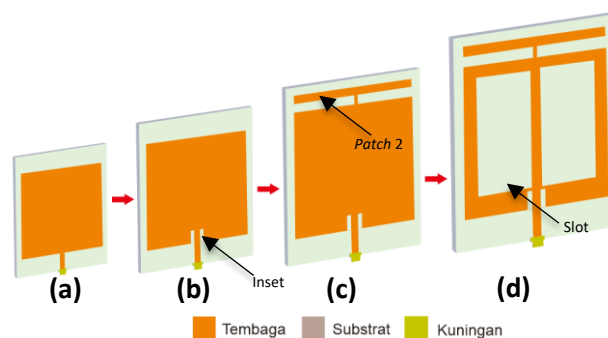
## 2. Metode

### 2.1. Pengembangan Model Antena

Penelitian ini, antena mikrostrip dirancang dan dikembangkan melalui beberapa tahapan yang pertama adalah *single element*, penambahan inset, penambahan *patch*, penambahan slot. Substrat yang digunakan adalah FR-4 epoxy dengan konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) 4,3, *loss tan* ( $\tan \delta$ ) 0,025 dan ketebalan (*h*) 1,6 mm. Antena dirancang

untuk beroperasi pada frekuensi resonansi (*fr*) 915 MHz, dan 970 MHz untuk LoRa serta 1,42 GHz, dan 1,57 GHz untuk GPS atau sistem navigasi dengan penambahan metode slot dan ukuran ringkas pada antena mikrostrip  $65 \times 62 \times 1,6$  mm<sup>3</sup>. Perbedaan utama desain antena ini dengan penelitian sebelumnya oleh Muhammad et al. [12] terletak pada jumlah frekuensi kerja dan metode optimasi. Antena pada [12] dirancang hanya untuk dua frekuensi, yaitu 868 MHz untuk LoRa dan 1,57 GHz untuk GPS, sehingga bersifat *dual-band*. Sementara itu, antena yang dikembangkan dalam penelitian ini memanfaatkan teknik slot pada *patch* untuk menghasilkan empat frekuensi operasi, yakni 915 MHz dan 970 MHz untuk LoRa serta 1,42 GHz dan 1,57 GHz untuk GPS/navigasi. Dengan dimensi yang sama ( $65 \times 62 \times 1,6$  mm<sup>3</sup>), antena yang diusulkan lebih fleksibel dan mendukung lebih banyak aplikasi IoT dibandingkan desain [12]. Gambar 1 menampilkan pengembangan model antena pada penelitian ini.

Tahapan diawali mulai dari pengembangan model antena mikrostrip yaitu dengan perancangan antena mikrostrip bentuk persegi Panjang yang beroperasi pada frekuensi resonansi (*fr*) 915 MHz, dan 970 MHz untuk LoRa serta 1,42 GHz, dan 1,57 GHz untuk GPS atau sistem navigasi seperti yang ada pada Gambar 1. Antena desain awal (a) Kemudian, untuk meningkatkan performa dari *return loss*, maka antena dapat dikembangkan menggunakan teknik *inset* pada Gambar 1 (b) dan Gambar 1 (c) dengan penambahan *patch* yang digunakan untuk menambahkan frekuensi. Tahap akhir adalah merancang antena dengan menambah metode slot pada *patch* antena seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 (d).



Gambar 1. Pengembangan Model Antena mikrostrip; (a) Elemen Tunggal, (b) Inset-Loaded, (c) Penambahan Patch, (d) Slot-Loaded.

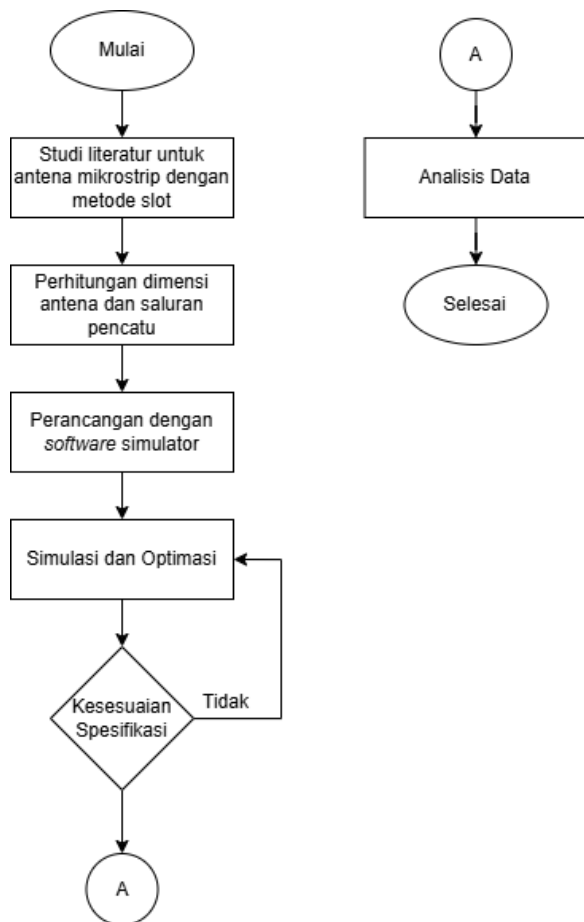
Perancangan antena mikrostrip terbuat dari bahan *copper* yang ada di bagian atas substrat dan berada di bagian bawah substrat yang difungsikan sebagai *groundplane*. Antena mikrostrip dapat terhubung secara langsung dengan menggunakan konektor yang terbuat dari bahan kuningan (*Brass*) dengan impedansi yang dibutuhkan adalah 50  $\Omega$  untuk saluran mikrostrip. Kemudian prosesnya, perancangan dan realisasi antena mikrostrip

dalam penelitian ini memiliki beberapa tahapan yang dapat dilihat pada Gambar 2 yaitu diagram alir perancangan antenna mikrostrip dengan menambahkan slot pada *patch*.

Tahap desain awal adalah melakukan studi literatur, selanjutnya menghitung dimensi antenna mikrostrip dan simulasi menggunakan perangkat lunak atau *software* untuk mendapatkan hasil optimasi dari antenna mikrostrip. Terakhir, merancang dan mensimulasikan antenna mikrostrip dengan beberapa iterasi untuk mendapatkan hasil optimasi yang lebih baik dari antenna mikrostrip.

Langkah berikutnya mendesain dan mensimulasikan antenna mikrostrip dengan menggunakan metode penambahan *patch*, *slot* dan *inset* sehingga optimasi yang lebih baik bisa dihasilkan dari desain sebelumnya. Jika hasilnya masih belum sesuai dengan parameter yang diinginkan, maka optimasi dilakukan kembali.

Langkah selanjutnya adalah menganalisis apakah hasilnya sesuai dengan yang diinginkan. Selanjutnya hasil pengukuran parameter antenna dianalisis untuk menentukan perbedaan antara hasil penelitian sebelumnya dan penelitian yang diusulkan. Antena mikrostrip disimulasikan dengan *software* dengan berbagai metode.



Gambar 2. Diagram Alir Perancangan Antena

Hasil simulasi antenna dianalisis untuk menghitung *bandwidth*, *gain*, dan peningkatan parameter lainnya. Dengan menggunakan rumus persamaan, maka ukuran elemen atau tambalan yang memancar dengan panjang 46 mm. Karena perhitungan lebar dan panjang substratnya sama dengan *ground plane*, maka berdasarkan hasil perhitungan bahwa lebar substrat 62 mm dan Panjang substrat adalah 65 mm.

Gambar 2 tersebut menunjukkan bahwa tahapan dimulai dari perancangan antenna mikrostrip yaitu menentukan parameter antenna. Parameter antenna mikrostrip yang diusulkan pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Antena

Deskripsi	Parameter	Optimasi	Diusulkan
Panjang Substrat ( <i>Length Substrat</i> )	Ls	65	65
Lebar Substrat ( <i>Width Substrat</i> )	Ws	62	62
Panjang Patch ( <i>Length</i> )	L	55,15	53
Lebar Patch ( <i>Width Patch</i> )	Wp	46	46
Lebar Feed ( <i>Width Feed</i> )	Wf	3,06	3,06
Panjang Feed ( <i>Length Feed</i> )	Lf	9,5	9,5
Lebar Inset ( <i>Width Substrat</i> )	Wg	3,06	3,06
Panjang Inset ( <i>Length Inset</i> )	Lg	7	7
Ketebalan substrat ( <i>Thickness Substrat</i> )	ts	1.6	1.6
Ketebalan Patch ( <i>Thickness Patch</i> )	tp	0,035	0,035

## 2.2. Dimensi Antena

Antena mikrostrip mudah diintegrasikan dalam peralatan telekomunikasi. Namun, mikrostrip memiliki beberapa kelemahan, seperti efisiensi yang rendah, *bandwidth* yang terbatas, dan *directivity* yang rendah. Berbagai metode digunakan untuk meningkatkan kinerja antenna mikrostrip guna optimasi [13].

Dalam merancang antenna mikrostrip, perhitungan matematis diperlukan untuk menentukan ukuran antenna. Berikut adalah rumus yang digunakan dalam perancangan antenna mikrostrip. Proses desain antenna dimulai dengan menghitung lebar elemen pemancar (W) menggunakan rumus berikut (1) [14].

$$W_{cw} = \frac{c}{2f \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (1)$$

$W_{cw}$  adalah lebar konduktor,  $\epsilon_r$  merupakan konstanta dielektrik *relative*, c merupakan kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s), dan f adalah frekuensi operasi antenna. Selanjutnya, panjang elemen dihitung menggunakan rumus (2) [15].

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

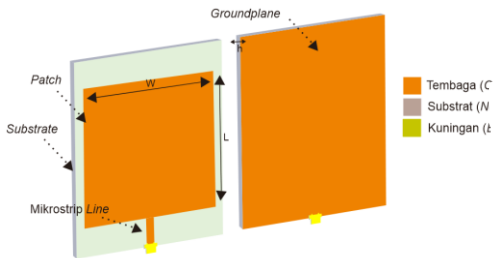
Untuk mencari panjang efektif dapat menggunakan rumus (3).

$$L_{eff} = \frac{c}{2f\sqrt{\frac{\epsilon+1}{2}}} \quad (3)$$

Nilai konstanta dielektrik efektif dihitung menggunakan rumus (4) [16].

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r+1}{2} + \frac{\epsilon_r-1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{w}\right]^{-\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$\epsilon_{reff}$  adalah konstanta dielektrik efektif,  $w$  menunjukkan lebar *patch* dalam satuan mm,  $L_{eff}$  adalah panjang efektif dalam mm, dan  $h$  adalah ketebalan substrat dalam mm. Bagian dari antenna mikrostrip ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur Dasar Antena Patch Mikrostrip

Pengaruh elemen radiasi pada antenna mikrostrip tampak lebih besar dibandingkan dengan dimensi fisiknya. Penambahan panjang pada  $L$  ( $\Delta L$ ) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (5) [17].

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{reff}+3)(\frac{W}{h}+0.264)}{(\epsilon_{reff}-0.258)(\frac{W}{h}+0.8)} \quad (5)$$

Penentuan *groundplane* pada desain antenna mikrostrip harus disesuaikan dengan spesifikasi yang tepat karena dapat mempengaruhi nilai gain yang dihasilkan. Meskipun secara ideal ukuran dan ketebalan *groundplane* tidak terbatas, yang dikenal dengan istilah *infinite groundplane*, dalam praktiknya hal ini tidak dapat diterapkan secara langsung. Oleh karena itu, penyesuaian dilakukan berdasarkan kebutuhan spesifik dari desain tersebut [18].

### 2.3. Parameter dari Antena Mikrostrip

Beberapa parameter penting yang sering digunakan untuk menggambarkan karakteristik antenna mikrostrip biasanya ditentukan melalui pengamatan pada *far-field* [19].

#### 1) VSWR

VSWR merupakan rasio dari amplitudo gelombang berdiri maksimum ( $|V|_{max}$ ) dan minimum ( $|V|_{min}$ ). Saluran transmisi terdiri dari dua komponen gelombang tegangan, yaitu tegangan yang dikirimkan ( $V_0^+$ ) dan tegangan yang

dipantulkan ( $V_0^-$ ). Rasio antara tegangan yang dipantulkan dan yang dikirimkan dikenal sebagai koefisien refleksi tegangan ( $\Gamma$ ) [18]. Untuk mencari nilai VSWR atau S, digunakan Persamaan (6).

$$S = \frac{|V|_{max}}{|V|_{min}} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (6)$$

Kondisi yang paling baik yaitu ketika nilai VSWR sama dengan 1 atau  $S = 1$  yang berarti tidak ada refleksi. Ketika saluran dalam kondisi *matching* sempurna [18].

#### 2) Bandwidth

Bandwidth dapat dihitung jika frekuensi bawah dan frekuensi atas suatu antenna sudah diketahui [19]. Sebagai contoh, jika sebuah antenna beroperasi pada frekuensi tengah  $f_c$ , namun masih dapat berfungsi dengan baik pada frekuensi  $f_1$  (di bawah  $f_c$ ) hingga  $f_2$  (di atas  $f_c$ ), maka lebar bandwidth antenna tersebut adalah selisih antara  $f_1$  dan  $f_2$ . Jika dinyatakan dalam persentase, bandwidth antenna ini dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 7 [20].

$$BW = \frac{f_2-f_1}{f_c} \times 100\% \quad (7)$$

#### 3) Gain

*Gain* adalah rasio antara intensitas radiasi suatu antenna dalam arah utama tertentu dengan intensitas radiasi dari antenna isotropik yang menggunakan daya masukan yang sama. Nilai gain dapat dihitung menggunakan Persamaan 8 [19].

$$G = D \cdot \eta \quad (8)$$

$D$  merujuk pada *directivity* dan  $\eta$  adalah efisiensi antenna. Saat antenna digunakan dalam suatu sistem, fokus utamanya adalah seberapa efisien antenna dalam mengubah daya yang diterima di terminal *input* menjadi daya radiasi. Untuk mengukur hal ini, *power gain* atau cukup disebut *gain*, didefinisikan sebagai  $4\pi$  kali rasio antara intensitas dalam arah tertentu dengan daya yang diterima oleh antenna. Hal ini dinyatakan dalam Persamaan 9 [19].

$$G(\theta, \phi) = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (9)$$

Metode pada pengukuran *gain* yang paling sering digunakan yaitu metode perbandingan atau *gain transfer method*. Metode ini memanfaatkan penguatan standar untuk menentukan penguatan absolut. Langkah pertama adalah melakukan pengukuran *gain* relatif terhadap antenna standar yang penguatannya sudah diketahui.

#### 4) Return Loss

*Return loss* terjadi karena adanya ketidaksesuaian antara saluran transmisi dan impedansi masukan beban antenna, yang menyebabkan tidak semua daya yang diradiasikan dapat diterima, melainkan sebagian dipantulkan kembali [19]. Nilai *return loss* dapat dihitung dengan memasukkan koefisien tegangan  $[\Gamma]$  ke dalam Persamaan 10:

$$\text{Return Loss} = 20 \log_{10} |\Gamma| \quad (10)$$

### 5) Pola Radiasi

Pada sebuah fungsi matematis atau biasa disebut dengan representasi sebuah grafik dalam suatu fungsi koordinat ruang dari sifat radiasi antenna bisa disebut dengan Pola Radiasi. Sifat radiasi dapat meliputi kuat medan atau polarisasi, kerapatan *flux*. Biasanya sifat dari radiasi yang sangat penting adalah persebaran secara 3 dimensi atau 2 dimensi dari energi yang diradiasikan antenna [19].

### 2.4. Teknik Pencatutan Inset

Pencatutan *inset* merupakan modifikasi dari pencatutan *microstrip line*. Pencatutan ini mirip dengan *microstrip line*, namun dengan perbedaan yaitu bagian pencatutan sedikit masuk menuju antenna *patch* mikrostrip. Tujuan pemotongan *patch* untuk membentuk pencatutan *inset* adalah untuk menyelaraskan impedansi *feed line* dengan *patch* tanpa perlu menambahkan elemen lain, seperti yang terlihat pada Gambar 4 [17].

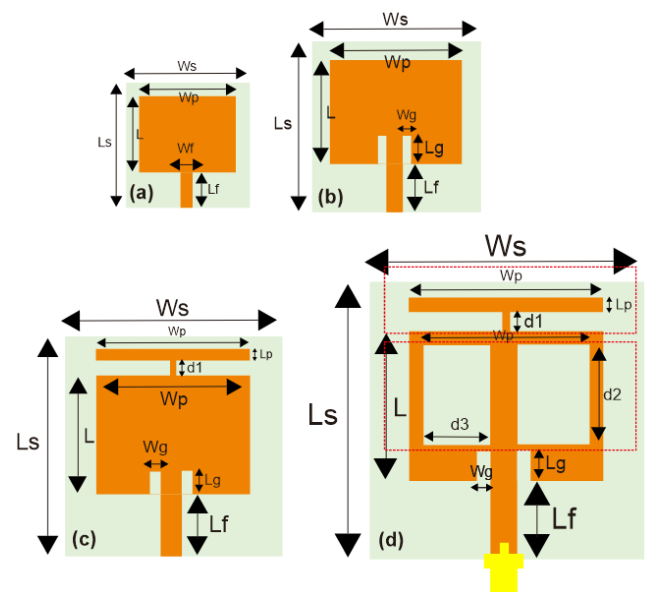
Dengan menggunakan Persamaan (1) hingga (5), ukuran antenna mikrostrip dengan *slot* dapat dihitung. Desain antenna dengan *slot*, yang ditunjukkan pada Gambar 4 dan Tabel 2, mencerminkan dimensi yang sesuai dengan perhitungan antenna mikrostrip menggunakan metode *slot*. Antena mikrostrip dengan metode *slot* memiliki *groundplane* yang penuh.

### 2.5. Desain Antena Mikrostrip

Perancangan antenna mikrostrip dimulai dengan menentukan karakteristik antenna yang akan digunakan. Karakteristik yang dipertimbangkan dalam penelitian ini meliputi frekuensi kerja, *return loss*, *VSWR*, *gain*, dan *bandwidth*, yang tercantum pada Tabel 3. Selanjutnya, desain antenna mikrostrip melibatkan pemilihan jenis substrat yang digunakan. Dalam penelitian ini, substrat yang dipilih adalah FR4 (*epoxy*) dengan ketebalan 1,6 mm, dan spesifikasinya dapat dilihat pada Tabel 4.

Setelah menentukan karakteristik antenna dan memilih substrat yang sesuai, langkah selanjutnya adalah merancang geometri antenna, seperti lebar *patch*, panjang elemen, dan posisi pencatutan, yang semuanya berpengaruh terhadap performa antenna, termasuk efisiensi radiasi dan impedansi. Proses ini juga melibatkan pengujian dan simulasi menggunakan perangkat lunak untuk memastikan desain antenna mencapai spesifikasi yang diinginkan, seperti pengurangan *return loss*, peningkatan *bandwidth*, dan pencocokan impedansi yang tepat. Dengan memanfaatkan metode perancangan yang tepat, antenna mikrostrip diharapkan dapat berfungsi optimal sesuai dengan aplikasi yang ditargetkan, baik itu untuk komunikasi nirkabel, sistem navigasi, atau aplikasi IoT.

Perlu ditegaskan bahwa perbedaan mendasar antara desain yang diusulkan dengan penelitian Muhammad et al. [12] adalah pada cakupan frekuensi operasi. Jika desain [12] hanya berfungsi pada dua frekuensi (868 MHz untuk LoRa dan 1,57 GHz untuk GPS), maka desain pada penelitian ini dikembangkan dengan teknik slot sehingga mampu mendukung empat frekuensi kerja (915 MHz, 970 MHz, 1,42 GHz, dan 1,57 GHz). Dengan dimensi yang tetap ringkas ( $65 \times 62 \times 1,6 \text{ mm}^3$ ), antenna ini menawarkan fleksibilitas lebih besar untuk aplikasi IoT yang memerlukan konektivitas *multiband*.



Gambar 4. Struktur Antena Rancangan; (a) Elemen Tunggal, (b) Inset-Loaded, (c) Penambahan Patch 2, (d) Diusulkan Slot-Loaded.

Tabel 2. Dimensi Antena dengan Slot

Deskripsi	Parameter	Diusulkan
Iterasi 1 dan 2, Patch 2 (Length Patch)	Lp	53
Iterasi 1 dan 2, Patch 2 (Width Patch)	Wp	3
Iterasi 1 dan 2, Patch 2 (diameter)	dw1	1
Iterasi 3 dan 4, Patch 2 (Length Patch)	Lp	54,60
Iterasi 3 dan 4, Patch 2 (Width Patch)	Wp	2,20
Iterasi 3 Patch 2 (diameter)	dw1	3
Iterasi 4 Patch 2 (diameter)	dw1	4,4
Iterasi 1 Slot (diameter)	d3	15
Iterasi 2 Slot (diameter)	d3	16
Iterasi 3 dan 4, Slot (diameter)	d3	15,80
Iterasi 3 dan 4, Slot (diameter)	d2	34,40

Berdasarkan hasil perhitungan maka ukuran elemen yang memancar dengan lebar 53 mm. Panjang efektif elemen radiasi yang digunakan dapat dihitung dengan menggunakan rumus persamaan (3). Hasil dari perhitungan menggunakan rumus persamaan (2) tersebut, maka ukuran elemen atau tambalan yang memancar dengan panjang 46 mm. Karena perhitungan lebar dan panjang substratnya sama dengan *ground plane*, maka berdasarkan hasil perhitungan bahwa lebar substrat 62 mm dan Panjang substrat adalah 65 mm.

Dalam desain panjang saluran transmisi menggunakan impedansi yaitu 50 Ω. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan atau rumus, maka diperoleh lebar saluran transmisi adalah 50 Ω dengan nilai 3,06 mm. Desain panjang *inset feed line* dapat dihitung berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan atau rumus. Panjang *inset feed line* diperoleh dengan nilai 7 mm, dan Panjang saluran pencatu adalah 9,5 mm, sedangkan desain lebar celah/lebar saluran *inset* menggunakan persamaan atau rumus. Ukuran lebar celah/lebar garis umpan *inset* dapat ditemukan dengan nilai 3,06 mm.

**Tabel 3. Parameter Antena**

Parameter	Nilai
Frequency	915 MHz, 970 MHz, 1,42 GHz, 1,57 GHz
Return Loss	≤ -10dB
VSWR	≤ 2
Bandwidth	≥10

**Tabel 4. Spesifikasi Substrat**

Parameter	Nilai
Substrate Type	FR 4 Epoxy
Relative dielectric constant ( $\epsilon_r$ )	4,3
Dielectric loss tangent ( $\tan \delta$ )	0,025
Substrate thickness ( $h$ )	1,6 mm

### 3. Hasil dan Pembahasan

Spesifikasi antena mikrostrip yang dikembangkan dalam penelitian ini ditujukan untuk mendukung aplikasi LoRa pada frekuensi 915 MHz dan 970 MHz, serta GPS/navigasi pada frekuensi 1,42 GHz dan 1,57 GHz. Substrat yang digunakan adalah FR-4 epoxy dengan  $\epsilon_r = 4,3$ , ketebalan 1,6 mm, dan *loss tangent* 0,025. Dimensi antena dioptimasi dengan ukuran substrat  $65 \times 62 \times 1,6 \text{ mm}^3$  dan *patch* berukuran  $53 \times 46 \text{ mm}^2$ . Proses perancangan dan pengambilan data dilakukan menggunakan perangkat lunak simulator.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa antena menghasilkan *return loss* sebesar -11,93 dB pada 915 MHz, -11,92 dB pada 970 MHz, -18,54 dB pada 1,42 GHz, dan -17,23 dB pada 1,57 GHz (Gambar 5). Nilai ini berada di bawah ambang batas -10 dB, sehingga memenuhi kriteria antena dengan efisiensi radiasi yang baik.

Jika dibandingkan dengan penelitian [12], yang melaporkan *return loss* -14 dB pada 868 MHz dan -15 dB

pada 1,57 GHz, hasil penelitian ini memiliki performa sebanding pada frekuensi GPS (1,57 GHz), namun menunjukkan kelebihan utama dengan mendukung dua frekuensi tambahan (915 MHz dan 970 MHz) yang tidak tersedia pada desain [12]. Hal ini memperluas cakupan aplikasi, khususnya untuk LoRa *multiband* pada sistem IoT.

Berdasarkan Tabel 5, *bandwidth* yang diperoleh berkisar antara 12 sampai 29 MHz dengan nilai VSWR < 2, yang menunjukkan performa pencocokan impedansi cukup baik. *Bandwidth* pada frekuensi GPS (1,42 sampai 1,57 GHz) mencapai 23 sampai 29 MHz, lebih lebar dibandingkan penelitian [10] yang hanya sekitar 15 MHz. Kelebihan ini menjadikan antena lebih toleran terhadap variasi frekuensi kerja akibat kondisi propagasi.

Hasil simulasi *gain* menunjukkan nilai rata-rata 2,9 dBi pada 915 MHz, 3,1 dBi pada 970 MHz, 3,8 dBi pada 1,42 GHz, dan 4,6 dBi pada 1,57 GHz. Nilai ini relatif kompetitif dibandingkan dengan penelitian [12], yang melaporkan *gain* maksimum 5,08 dBi pada 1,57 GHz. Walaupun sedikit lebih rendah, desain antena ini menawarkan keunggulan ukuran yang ringkas serta dukungan *multiband* yang lebih luas.

Pola radiasi antena menunjukkan karakteristik omnidireksional pada frekuensi LoRa dan semi-omnidireksional pada frekuensi GPS. Karakteristik ini konsisten dengan kebutuhan komunikasi IoT yang membutuhkan jangkauan luas pada LoRa dan akurasi posisi pada GPS.

Jenis polarisasi antena ini adalah linear, dengan *axial ratio* (AR) hasil simulasi > 6 dB pada seluruh frekuensi kerja. Hal ini berbeda dengan sistem GPS yang umumnya menggunakan *Right-Hand Circular Polarization* (RHCP) dengan AR < 3 dB. Perbedaan ini berpotensi menimbulkan *polarization mismatch loss* sekitar 3 dB pada penerimaan sinyal GPS. Dengan demikian, meskipun antena masih dapat menerima sinyal GPS, kualitas penerimaan bisa lebih rendah dibandingkan antena dengan polarisasi sirkuler.

Secara keseluruhan, antena yang diusulkan memiliki beberapa keunggulan:

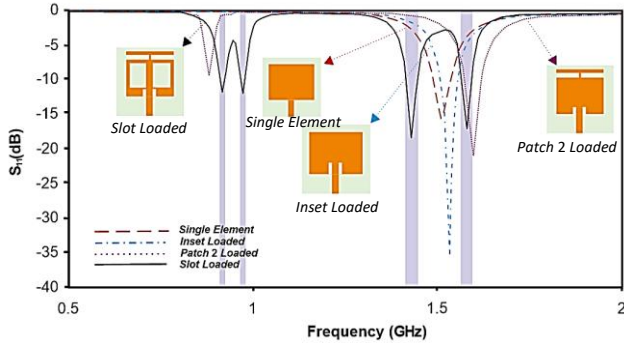
1. Mendukung empat frekuensi kerja (915, 970, 1420, 1570 MHz), lebih banyak dibanding penelitian sebelumnya ([10], [12]).
2. Dimensi yang ringkas ( $65 \times 62 \times 1,6 \text{ mm}^3$ ) sehingga mudah diintegrasikan pada perangkat IoT.
3. *Return loss* dan *bandwidth* memenuhi kriteria antena efisien dengan performa multiband stabil.

Namun terdapat keterbatasan, yaitu:

1. Polarisasi masih linear, sehingga terjadi mismatch dengan GPS yang menggunakan RHCP.
2. Nilai *gain* sedikit lebih rendah dibandingkan beberapa desain sebelumnya [12].

Gambar 5 menunjukkan ukuran antenna mikrostrip hasil simulasi berdasarkan penelitian sebelumnya dengan ukuran substrat yang dioptimalkan, yaitu ukuran *patch*, saluran transmisi, dan *ground* sehingga ukuran terbaik substrat adalah lebar 62 mm dan panjang 65 mm, dan tinggi 1,6 mm. Permukaan substrat menjadi titik dasar kemudian ukuran *patch* antenna yang setengah dari lebarnya 46 mm memiliki panjang 53 mm dan tinggi 0,035 mm.

Selain itu pengembangan lainnya menunjukkan antenna mikrostrip simulasi berdasarkan penelitian sebelumnya dengan substrat yang dioptimalkan serta penambahan *slot*. Parameter lain tetap sehingga ukuran terbaik diperoleh substrat dengan lebar 62 mm dan panjang 65 mm. Ukuran *patch* dengan lebar 46 mm dan panjang 53 mm, ukuran saluran transmisi dengan lebar 3,06 mm, dan ukuran *groundplane* dengan lebar 62 mm dan panjang 65 mm.



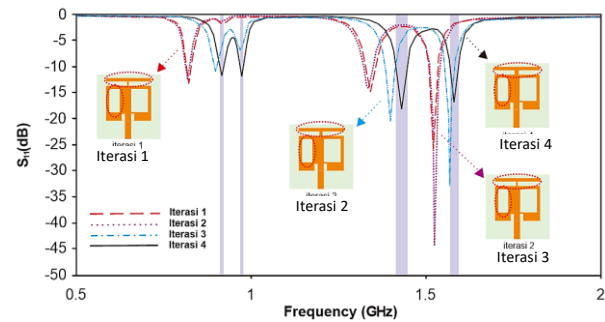
Gambar 5. Hasil Simulasi dari Antena Rancangan

Gambar 6 memperlihatkan pengujian antenna *patch* mikrostrip untuk keterbaruan, yaitu *multiband*, berdasarkan penelitian sebelumnya dengan beberapa iterasi dan parameter yang diusulkan. Pada gambar iterasi 1 menunjukkan desain antenna menggunakan *patch 2* dan *slot* dengan hasil *return loss* -13,5 dB pada frekuensi 820 MHz, -14,64 dB pada frekuensi 1,34 GHz, -25,98 dB pada frekuensi 1,52 GHz.

Iterasi 2 memperlihatkan pengujian antenna *patch* mikrostrip untuk keterbaruan, yaitu *multiband*, dengan beberapa iterasi dan parameter yang diusulkan. Pada gambar iterasi 2 menunjukkan desain antenna menggunakan *patch 2* dan *slot* dengan hasil *return loss* -12,59 dB pada frekuensi 817 MHz, -14,1 dB pada frekuensi 1,33 GHz, -44,60 dB pada frekuensi 1,52 GHz.

Iterasi 3 memperlihatkan pengujian antenna *patch* mikrostrip untuk keterbaruan, yaitu *multiband*, dengan beberapa iterasi dan parameter yang diusulkan. Pada gambar iterasi 2 menunjukkan desain antenna menggunakan *patch 2* dan *slot* dengan hasil *return loss* -10,80 dB pada frekuensi 897 MHz, -20,48 dB pada frekuensi 1,39 GHz, -32,97 dB pada frekuensi 1,56 GHz.

Iterasi 4 memperlihatkan pengujian antenna *patch* mikrostrip untuk keterbaruan, yaitu *multiband*, dengan beberapa iterasi dan parameter yang diusulkan. Pada gambar iterasi 2 menunjukkan desain antenna menggunakan *patch 2* dan *slot* dengan hasil *return loss* -11,93 dB pada frekuensi 915 MHz, -11,92 dB pada frekuensi 972 GHz, -18,54 dB pada frekuensi 1,42 GHz, serta -17,23 dB pada frekuensi 1,57 GHz.



Gambar 6. Hasil Simulasi dengan Beberapa Iterasi dari Antena Mikrostrip

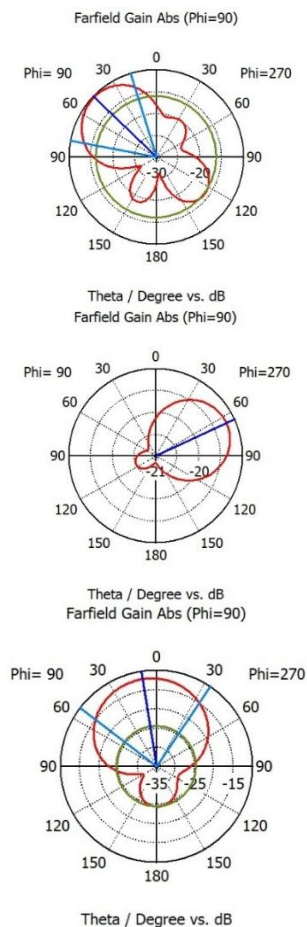
Tabel 5. Bandwidth dan VSWR

Parameter	Frekuensi (GHz)	Bandwidth (MHz)	VSWR
Iterasi 1	0,82	14	1,53
	1,34	28	1,45
	1,52	27	1,10
Iterasi 2	0,81	12	1,61
	1,33	27	1,49
	1,52	28	1,01
Iterasi 3	0,89	9	1,8
	1,39	28	1,2
	1,56	27	1,04
Iterasi 4	0,915	13	1,67
	0,972	12	1,67
	1,42	29	1,26
	1,57	23	1,31

Beberapa hal pada pengukuran yang perlu diperhatikan yaitu jenis polarisasi antenna. Apabila jenis polarisasi tersebut tidak sesuai, maka yang terjadi yaitu hilangnya daya. Hilangnya hal tersebut dikarenakan ketidaksesuaian antara antenna penerima dan pemancar. Istilah dari ketidaksesuaian polarisasi tersebut adalah *loss polarization*. Agar dapat mengetahui tipe polarisasi maka dapat menggunakan persamaan Axial Ratio (AR).

Tabel 6. Diusulkan Antena Mikrostrip

	[10]	[12]	Penelitian ini
Referensi	868	868, 1575	915, 970, 1420, 1570
Ukuran (mm <sup>3</sup> )	70 × 65 × 1,6	65 × 62 × 1,6	65 × 62 × 1,6
Gain (dBi)	2,1	3,35 (868), 5,08 (1575)	2,9 (915), 3,1 (970), 3,8 (1420), 4,6 (1570)
Pola Radiasi	Omnidireksional	Semi-Omni	Omni (LoRa), Semi-Omni (GPS)
Polarisasi	Linear	Linear	Linear



Gambar 7. Polar Pola Iterasi 4

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan mensimulasikan antenna mikrostrip *multiband* berbasis *slot-loaded* yang bekerja pada frekuensi 915 MHz dan 970 MHz untuk LoRa, serta 1,42 GHz dan 1,57 GHz untuk GPS/navigasi. Desain antenna menggunakan substrat FR4 dengan ukuran ringkas  $65 \times 62 \times 1,6 \text{ mm}^3$ , menghasilkan *return loss* di bawah -10 dB, *bandwidth* 12 sampai 29 MHz, *VSWR* < 2, serta *gain* hingga 4,6 dBi.

Keterbaruan dari penelitian ini terletak pada penerapan teknik *slot-loaded* untuk menghasilkan antenna mikrostrip *multiband* yang mampu mendukung komunikasi LoRa sekaligus sistem GPS, dengan dimensi yang ringkas dan dapat dengan mudah diintegrasikan pada perangkat IoT.

Secara praktis, antenna ini dapat digunakan untuk aplikasi IoT *tracking*, komunikasi antar sensor nirkabel, serta sistem navigasi yang membutuhkan konektivitas LoRa dan GPS dalam satu perangkat. Keunggulan utama dibandingkan penelitian sebelumnya adalah jumlah frekuensi yang lebih banyak didukung, sehingga lebih fleksibel untuk aplikasi lapangan.

Namun, terdapat keterbatasan yaitu antenna yang dirancang masih menggunakan polarisasi linear, sedangkan GPS umumnya menggunakan *Right-Hand Circular Polarization* (RHCP). Hal ini berpotensi menimbulkan *polarization mismatch loss* hingga 3 dB, sehingga performa penerimaan sinyal GPS belum optimal.

#### Referensi

- [1]. I. Aggarwal, M.R. Tripathy, S. Pandey, InGreen Eng. Technol. (2016) 1–4
- [2]. S. Li, L.D. Xu, S. Zhao, Information Systems Frontiers 7 (2) (2015) 243–259.
- [3]. M.T. Lazarescu, J. Emerg. Select. Topics Circuit Syst. 3 (1) (2013) 45–54.
- [4]. A. Bekasiewicz, S. Koziel, Electron. Lett. 5 (7) (2016) 492–494.
- [5]. L. Lizzi, F. Ferrero, Electron. Lett. 51 (24) (2015) 1964–1966.
- [6]. C. A. Balanis, Antenna theory: analysis and design. A John Wiley & Sons, INC., Publication.
- [7]. D. G. Fang, Antenna Theory and Microstrip Antennas. CRC Press, 2017, doi: 10.1201/b10302.
- [8]. M. S. Yahya and S. K. A. Rahim, “15 GHz grid array antenna for 5G mobile communications system,” Microwave and Optical Technology Letters, vol. 58, no. 12, pp. 2977–2980, Dec. 2016, doi: 10.1002/mop.30190.
- [9]. M. S. Yahya et al., “A Compact Reconfigurable Multi-frequency Patch Antenna for LoRa IoT Applications,” Progress In Electromagnetics Research M, vol. 116, pp. 77–89, 2023, doi: 10.2528/PIERM23021804.
- [10]. A. Dala and T. Arslan, “Design, Implementation, and Measurement Procedure of Underwater and Water Surface Antenna for LoRa Communication,” Sensors, vol. 21, no. 4, p. 1337, Feb. 2021, doi: 10.3390/s21041337.
- [11]. L. Lizzi, F. Ferrero, P. Monin, C. Dancheschi, and S. Boudaud, “Design of miniature antennas for IoT applications,” in 2016 IEEE Sixth International Conference on Communications and Electronics (ICCE), pp. 234–237, Jul. 2016, doi: 10.1109/CCE.2016.7562642.
- [12]. Y. Muhammad, Soeung. Socheatra, et al., “Dual Band GPS/LoRa Antenna for Internet of Things Applications,” Bulletin of Electrical Engineering and Informatics, vol. 13, no. 2, p. 986, April. 2024, doi: 10.11591/eei.v13i2.6428.
- [13]. E. A. Sarfina dan M. Irhamsyah, “Analisis perancangan antenna mikrostrip patch segitiga array untuk aplikasi WLAN 2,4 GHz,” J. Kitektro, vol. 2, no. 2, hlm. 6–14, 2017.
- [14]. R. A. Gusma, Y. Rahayu, dan L. O. Sari, “Simulasi antenna mikrostrip patch persegi panjang planar array 6 elemen dengan pencatuan aperture coupled untuk aplikasi CPE WiMAX pada frekuensi 3,3-3,4 GHz,” J. Online Mhs. Fak. Tek., vol. 2, no. 1, hlm. 1–9, 2014.
- [15]. R. J. Hendra, Y. Rahayu, dan E. Safrianti, “Analisis antenna mikrostrip array bentuk lingkaran dan persegi panjang menggunakan simulasi untuk aplikasi LTE frekuensi 2,3 GHz,” J. Online Mhs. Fak. Tek., vol. 2, no. 1, hlm. 1–14, 2015.

- [16]. H. Madiawati dan Asep Barnas Simanjuntak, "Desain dan realisasi antena mikrostrip patch rectangular array dengan slit pada frekuensi 2620-2690 MHz untuk aplikasi LTE," *J. Tek. Media Pengemb. Ilmu dan Apl. Tek.*, vol. 19, no. 2, hlm. 110–119, 2020, doi: 10.26874/jt.vol19no02.232.
- [17]. C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, 3rd ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2005.
- [18]. D. Pasaribu dan A. H. Rambe, "Rancang bangun antena mikrostrip patch segi empat pada frekuensi 2,4 GHz dengan metode pencatutan inset," *J. Singuda Ensikom*, vol. 7, no. 1, hlm. 30–35, 2014.
- [19]. M. Alaydrus, *Antena: Prinsip dan Aplikasi*. Jakarta: Graha Ilmu, 2011.
- [20]. Ciksadan, "Perancangan antena mikrostrip untuk LTE," *J. Informanika*, vol. 5, no. 1, hlm. 83–97, 2019.