Antena Mikrostrip *Triple-Band* untuk Aplikasi LTE dan *L-Band* Radar

Mohamad Reynaldy Hilyawan^{#1}, Syah Alam^{#2}, Indra Surjati^{#3}

#Program Studi Magister Teknik Elektro, Universitas Trisakti
Jl. Kyai Tapa No.1 Grogol Jakarta Barat, Indonesia

¹mohamad162012010003@std.trisakti.ac.id

²syah.alam@trisakti.ac.id

³indra@trisakti.ac.id

Abstract— In this research, microstrip antenna design is carried out using the inset and slot methods. This research proposes a microstrip antenna with three working frequencies, namely 1.3 GHz for radar applications and 1.8 and 2.6 GHz for 4G LTE applications. To fulfill the proposal, the type of substrate used is FR4 with a value of 4.3 for er and 1.6 millimeters for h. This research resulted in the initial design of a dual-band microstrip antenna that works at frequencies of 1.8 and 2.6 GHz for 4G LTE applications. Furthermore, the proposed T-slot and U-slot methods are added to generate a resonant frequency at 1.3 GHz for radar applications. The return loss results in the inset method are -20.76 dB at 1.79 GHz and -20.20 dB at 2.60 GHz. The addition of T-slot with fixed inset parameters results in -11.66 dB at 1.37 GHz, -17.31 dB at 1.95 GHz, and -20.56 dB at 2.59 GHz, then the addition of inverted U-slot results in -33.49 dB at 1.30 GHz, -22.13 dB at 1.80 GHz and -21.36 dB at 2.59 GHz. The simulation results obtained bandwidth of the working frequency at the third iteration are 1.04%, 2.22% and 1.18%. This research is simulated and designed with Simulator software. This research can be recommended as a radar and LTE communication system.

Keywords— software simulator, LTE (Long Term Evolution), microstrip antenna, L-Band radar application, triple band antenna

Abstrak- Pada penelitian ini dilakukan perancangan antena mikrostrip dengan menggunakan metode inset dan slot. Penelitian ini mengusulkan antena mikrostrip dengan tiga frekuensi kerja yaitu 1,3 GHz untuk aplikasi radar serta 1,8 dan 2,6 GHz untuk aplikasi 4G LTE. Untuk memenuhi usulan tersebut jenis substrat yang digunakan yaitu FR4 dengan nilai 4,3 untuk er dan 1,6 milimeter untuk h. Penelitian ini menghasilkan desain tahap awal antena mikrostrip dual band yang bekerja pada frekuensi 1,8 dan 2,6 GHz untuk aplikasi 4G LTE. Selanjutnya, penambahan metode T-slot dan U-slot yang diusulkan untuk menghasilkan frekuensi resonansi di 1,3 GHz untuk aplikasi radar. Hasil return loss pada metode inset yaitu -20,76 dB pada frekuensi 1,79 GHz dan -20,20 dB pada frekuensi 2,60 GHz. Penambahan T-slot dengan parameter inset tetap mendapatkan hasil -11,66 dB pada frekuensi 1,37 GHz, -17,31 dB pada frekuensi 1,95 GHz, dan -20,56 dB pada frekuensi 2,59 GHz, kemudian penambahan U-slot terbalik mendapatkan nilai -33,49 dB pada frekuensi 1,30 GHz, -22,13 dB pada frekuensi 1,80 GHz dan -21,36 dB pada frekuensi 2,59 GHz. Hasil simulasi diperoleh bandwidth dari frekuensi kerja pada iterasi ketiga adalah 1,04 %, 2,22 % dan 1,18 %. Penelitian ini disimulasikan dan didesain dengan software Simulator. Penelitian ini dapat direkomendasikan sebagai sistem komunikasi radar dan LTE.

Kata Kunci— software simulator, LTE (Long Term Evolution), antena mikrostrip, radar L-Band, antena triple band

e-ISSN: 2579-3772

I. PENDAHULUAN

Perkembangan komunikasi nirkabel yang pesat membuat antena menjadi semakin populer karena banyak aplikasi antena yang dapat diterapkan [1]. Tuntutan seperti kemampuan multi-fungsi, ringan, dan ukuran kecil dari satu perangkat juga meningkat. Untuk alasan ini, antena *patch* mikrostrip dibutuhkan [2][3]. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut banyak percobaan dengan metode *slot* mikrostrip dan berbagai metode serta strategi lainnya juga dikembangkan untuk meningkatkan kemampuan dan fungsionalitas antena [4].

Beberapa penelitian seperti Asky Arief, Kris Sujatmoko, dan Yuyu Wahyu pada 2019 melakukan perancangan, pembuatan, dan realisasi antena mikrostip rectangular array 4 patch untuk aplikasi radar yang bekerja pada frekuensi 1,3 GHz (L-Band) dengan nilai VSWR ≤ 2, bandwidth ≥ 60 MHz dan memiliki return loss -12,261 dB dan VSWR sebesar 1,644 [5]. Penelitian lainnya oleh Ahmed Shamil, Salah Ayad, dan Mustafa Maad pada 2021 hanya menghasilkan desain antena mikrostrip yang bekerja pada frekuensi 1,8 GHz dan 2,6 GHz sehingga hanya dapat difungsikan sebagai frekuensi LTE [6]. Perancangan antena mikrostrip rectangular pada frekuensi L-Band (1,0 GHz sampai 2,0 GHz) dapat digunakan untuk aplikasi radar. Perancangan tersebut merupakan pengembangan dari frekuensi S-Band [5]. Penelitian ini mengusulkan antena mikrostrip dengan tiga frekuensi kerja vaitu: 1,3 GHz untuk aplikasi radar pada frekuensi L-Band serta 1,8 GHz dan 2,6 GHz untuk aplikasi 4G LTE. Penelitian ini juga menghasilkan desain antena yang memiliki dimensi 108,77 mm x 77,8 mm sehingga mudah diintegrasikan dengan perangkat pendukung, seperti modem dan radio pemancar. Faktanya juga bahwa antena dengan patch yang dihasilkan berdasarkan luas memiliki skala kecil, ringan, harga perakitan kecil, dan kemudahan dalam pemasangan [7][8].

Penelitian yang diusulkan juga memiliki kelebihan lain dari penelitian sebelumnya, yaitu: return loss -12,261 dB, bandwidth 27 MHz, dan VSWR 1,52. Pada penelitian sebelumnya antena menggunakan 4 patch dengan masingmasing dimensi patch, yaitu 53,4 mm x 68,95 mm, dan -33,49 dB pada frekuensi 1,30 GHz, bandwidth 30 MHz, dan VSWR 1,04. Pada penelitian yang diusulkan hanya menggunakan 1

patch dengan dimensi mikrostrip yang lebih kecil, yaitu 108,77 mm x 77,8 mm.

Tahapan awal dari penelitian ini adalah mendesain antena mikrostrip *dual-band* yang bekerja pada frekuensi 1,8 GHz dan 2,6 GHz untuk aplikasi 4G LTE. Selanjutnya, metode T*slot* dan U*-slot* diusulkan untuk menghasilkan frekuensi resonansi di 1,3 GHz untuk aplikasi radar. Penelitian tersebut didesain dan disimulasikan dengan menggunakan *software* [6]. Antena dengan metode *inset* mendapatkan hasil *return loss* -20,76 dB pada frekuensi 1,79 GHz dengan *bandwidth* 0,05 GHz dan -20,20 dB pada frekuensi 2,60 GHz dengan *bandwidth* 0,05 GHz. Antena dengan usulan penambahan T*slot* dan U*-slot* menghasilkan frekuensi *triple-band* 1,30 GHz (1,29 GHz-1,32 GHz), 1,80 GHz (1,78 GHZ-1,82 GHz), dan 2,59 GHz (2,55 GHz-2,62 GHz). Penelitian ini dapat direkomendasikan sebagai antena penerima untuk sistem komunikasi radar dan LTE.

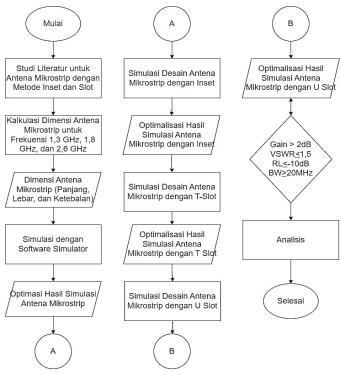
II. METODOLOGI

Dalam pembuatan antena mikrostrip, hal terpenting adalah menentukan ukuran dan desain antena sehingga dapat mempermudah proses membuat antena mikrostrip dengan menggunakan perangkat lunak.

A. Tahapan Penelitian

Dalam prosesnya, perancangan dan realisasi antena mikrostrip dalam penelitian ini memiliki beberapa tahapan yang dapat dilihat pada Gambar 1.

Tahap desain awal adalah melakukan studi literatur, kemudian menghitung dimensi antena dan simulasi menggu-



Gambar 1 Flowchart antena mikrostrip

nakan perangkat lunak untuk mendapatkan hasil optimasi dari antena mikrostrip. Terakhir, merancang dan mensimulasikan antena mikrostrip dengan beberapa iterasi untuk mendapatkan hasil optimasi yang lebih baik dari antena mikrostrip persegi panjang.

Langkah selanjutnya adalah mendesain dan mensimulasikan antena mikrostrip dengan menggunakan metode *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 antena dianalisis untuk menentukan perbedaan antara hasil penelitian sebelumnya dan penelitian yang diusulkan. Antena mikrostrip disimulasikan dengan software dengan berbagai metode. Hasil simulai antena dianalisis untuk menghitung bandwidth, gain, dan peningkatan parameter lainnya. Spesifikasinya adalah untuk 1,30 GHz, 1,80 GHz dan 2,59 GHz antena patch mikrostrip. Jenis substrat yang digunakan yaitu FR4 dengan nilai 4,3 untuk ε_r dan 1,6 milimeter untuk h. Substrat antena patch mikrostrip direncanakan dengan lebar 108,7 mm, panjang 77,8 mm, dan tinggi 1,6 mm. Permukaan substrat menjadi titik dasar, kemudian ukuran patch antena yang setengah lebarnya (54.35 mm) memiliki panjang 38,90 mm dan tinggi = 0,035 mm. Pengambilan data menggunakan software simulator.

B. Dimensi Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip dapat diintegrasikan dengan mudah pada peralatan telekomunikasi. Mikrostrip antena seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 memiliki beberapa kekurangannya, yaitu efisiensi rendah, bandwidth terbatas, dan low directivity. Akibatnya beberapa cara harus digunakan untuk mengembangkan antena mikrostrip untuk mengatasi kekurangan ini [9].

Dalam merancang antena mikrostrip, perlunya perhitungan matematika dalam menentukan ukuran antena. Berikut adalah rumus yang digunakan untuk merancang antena mikrostrip. Desain antena dimulai dengan menghitung lebar elemen yang memancar (W) mengikuti rumus (1) [10].

$$W_{cw} = \frac{c}{2f\sqrt{\frac{\varepsilon+1}{2}}}\tag{1}$$

 W_{cw} adalah lebar konduktor, ε_r merupakan relatif konstanta dielektrik, c adalah kecepatan cahaya (3 × 10⁸ m/s), dan f adalah frekuensi kerja antena. Selanjutnya, perhitungan panjang elemen dengan rumus (2) [11],

$$L_{re} = L_{eff} - 2\Delta L_{RP} \tag{2}$$

untuk mencari panjang efektif, dapat menggunakan rumus (3).

Antena Mikrostrip Triple-Band untuk Aplikasi LTE dan L-Band Radar

$$L_{eff} = \frac{c}{2f\sqrt{\frac{\varepsilon+1}{2}}} \tag{3}$$

Nilai konstanta dielektrik efektif dihitung menggunakan rumus (4) [12].

$$\varepsilon_{reff} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{\frac{1}{2}} \tag{4}$$

 ε_{reff} adalah konstanta dielektrik efektif, w adalah patch lebar dalam mm, L_{eff} adalah panjang efektif dalam mm, dan h adalah ketebalan substrat dalam mm. Bagian dari mikrostrip antena diperlihatkan pada Gambar 2.

Efek pada elemen peradiasi antena mikrostrip terlihat lebih besar dari dimensi fisiknya. Pertambahan panjang dari L (ΔL) tersebut dapat dihitung menggunakan Persamaan (5) [13].

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

Penentuan *groundplane* pada desain antena mikrostrip perlu dilakukan sesuai dengan ketentuan dikarenakan berpengaruh pada tinggi rendahnya *gain* yang dihasilkan. Idealnya, luas dan tebal dari *groundplane* tidak terbatas atau dikenal dengan istilah *infinite groundplane*, namun dalam prakteknya tidak mungkin terealisasi. Hanya bisa disiasati sesuai kebutuhan [14].

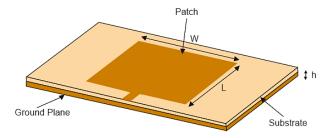
C. Parameter Antena Mikrostrip

Ada beberapa parameter penting sebagai karakteristik antena yang biasanya ditentukan pada pengamatan *far-field* [15].

1) VSWR

VSWR merupakan perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri (standing wave) maksimum ($\left|\overline{V}\right|_{\max}$) dengan minimum ($\left|\overline{V}\right|_{\min}$). Pada saluran transmisi ada dua komponen gelombang tegangan, yaitu tegangan yang dikirimkan (V_0^+) dan tegangan yang direfleksikan (V_0^-). Perbandingan antara tegangan yang direfleksikan dengan tegangan yang dikirimkan disebut sebagai koefisien refleksi tegangan (Γ) [14]. Persamaan (6) digunakan untuk mencari nilai VSWR atau S.

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



Gambar 2 Bagian dari antena mikrostrip

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 [14].

2) Bandwidth

Nilai bandwidth dapat diketahui apabila nilai frekuensi bawah dan frekuensi atas dari suatu antena sudah diketahui [15]. Misalkan sebuah antena bekerja pada frekuensi tengah sebesar f_c , namun masih dapat bekerja dengan baik pada frekuensi f_I (di bawah f_c) sampai dengan f_2 (di atas f_c), maka lebar bandwidth dari antena tersebut adalah $(f_I - f_2)$. Apabila dinyatakan dalam persen, maka bandwidth antena tersebut dinyatakan dengan Persamaan 7 [16]:

$$BW = \frac{f_2 - f_1}{f_2} \times 100\% \tag{7}$$

3) Gain

Gain merupakan perbandingan antara intensitas radiasi suatu antena pada suatu arah utama dengan intensitas radiasi dari antena isotropik yang menggunakan sumber daya masukan yang sama. Gain dinyatakan dengan Persamaan 8 [15].

$$G = D.\eta \tag{8}$$

D adalah *directivity* dan η adalah efisiensi antena. Ketika antena digunakan pada suatu sistem, biasanya lebih menarik pada bagaimana efisien suatu antena untuk memindahkan daya yang terdapat pada terminal input menjadi daya radiasi. Untuk menyatakan ini, *power gain* atau *gain* saja didefinisikan sebagai 4π kali rasio dari intensitas pada suatu arah dengan daya yang diterima antena. Dinyatakan dengan persamaan 9 [15].

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

Metode yang paling banyak digunakan untuk mengukur gain antena adalah metode perbandingan atau gain transfer method. Cara ini menggunakan penguatan standar untuk me-

nentukan penguatan absolut. Mula-mula dilakukan pengukuran *gain* relatif tehadap antena standar yang penguatannya sudah diketahui.

4) Return Loss

Return loss dapat terjadi akibat adanya diskontinuitas di antara saluran transmisi dengan impedansi masukan beban antena sehingga tidak semua daya yang diradiasikan, melainkan ada yang dipantulkan kembali [15]. Nilai return loss dapat dicari dengan cara memasukkan koefisien tegangan Γ ke dalam Persamaan 10:

$$Return \ Loss = 20 \log_{10} |\Gamma| \tag{10}$$

5) Pola Radiasi

Pola radiasi merupakan sebuah fungsi matematika atau representasi grafik dalam fungsi koordinat ruang dari sifat radiasi antena. Sifat radiasi dapat meliputi kuat medan atau polarisasi, kerapatan *flux*. Biasanya sifat dari radiasi yang sangat penting ialah persebaran secara tiga dimensi atau dua dimensi dari energi yang diradiasikan antena [15].

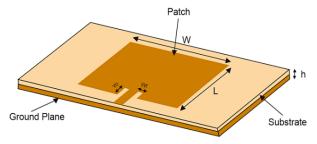
D. Teknik Pencatuan Inset

Pencatuan *inset* adalah turunan dari pencatuan *microstrip line*. Pencatunya seperti *microstrip line* dengan perbedaannya terlihat sedikit masuk ke arah antena *patch* mikrostrip tersebut. Tujuan dari pemotongan *patch* membentuk pencatuan *inset* agar menyamakan impedansi *feed line* dengan *patch* tanpa perlu penambahan elemen lain, seperti ditunjukkan pada Gambar 3 [13].

Dengan menggunakan Persamaan (1) sampai (5) mendapatkan ukuran dari antena mikrostrip dengan *slot*. Desain antena dengan *slot*, seperti pada Gambar 4 dan Tabel I, menunjukkan dimensi sesuai perhitungan dari antena mikrostrip dengan metode *slot*. Antena mikrostrip dengan metode *slot* memiliki *groundplane* penuh.

E. 4G Long Term Evaluation (LTE)

Long Term Evolution adalah sebuah nama yang diberikan pada sebuah projek dan Third Generation Partnership Project (3GPP) untuk memperbaiki standar mobilephone generasi ke-3 (3G), yaitu UMTS WCDMA. LTE merupakan pengembangan dan teknologi sebelumnya, yaitu UMTS (3G) dan HSPA (3.5G), yang mana LTE disebut sebagai generasi ke-4 (4G). Pada UMTS kecepatan transfer data maksimum adalah 2 Mbps. Pada HSPA kecepatan transfer data mencapai



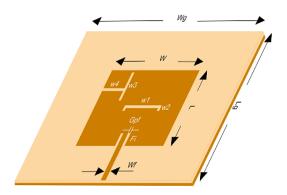
Gambar 3 Antena mikrostrip dengan pencatuan inset line

14 Mbps pada sisi *downlink* dan 5,6 Mbps pada sisi *uplink*. Pada LTE ini kemampuan dalam memberikan kecepatan dalam hal transfer data dapat mencapai 100 Mbps pada sisi *downlink* dan 50 Mbps pada sisi *uplink*. Selain itu, LTE ini mampu mendukung semua aplikasi yang ada, baik *voice*, data, video, maupun IPTV. LTE diciptakan untuk memperbaiki teknologi sebelumnya. Kemampuan dan keunggulan dari LTE terhadap teknologi sebelumnya, selain dari kecepatannya dalam transfer data, tetapi juga karena LTE dapat memberikan *coverage* dan kapasitas dan layanan yang lebih besar, mengurangi biaya dalam operasional, mendukung penggunaan *multiple*-antena, fleksibel dalam penggunaan *bandwidth* operasinya dan juga dapat terhubung atau terintegrasi dengan teknologi yang sudah ada [16].

F. Desain Antena Mikrostrip

Desain antena dimulai dengan menentukan karakteristik antena mikrostrip yang digunakan. Karakteristik dalam penelitian ini, yaitu frekuensi kerja, *return loss*, VSWR, *gain*, dan *bandwidth* pada Tabel II.

Tahap selanjutnya dalam desain mikrostrip antena yaitu menentukan jenis substrat yang akan digunakan. Pada penelitian ini jenis substrat yang digunakan adalah FR4 (*epoxy*) yang memiliki ketebalan 1,6 mm dengan spesifikasi dapat dilihat pada Tabel III.



Gambar 4 Desain antena dengan slot dan inset

TABEL I

DIMENSI ANTENA DENGAN SLOT

No.	Parameter	Nilai (mm)
1.	W	54,35
2.	L	38,90
3.	L_{g}	77,8
4.	\widetilde{W}_{g}	108,7
5.	F_{i}	6,70
6.	W_f	3,137
7.	G_{pf}	1,00
8.	w_I	23,0
9.	w_2	2,00
10.	w_3	11,0
11.	w_4	13,0

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan (1), maka ukuran elemen atau tambalan yang memancar dengan lebar 54,35 mm dibulatkan menjadi 54,4 mm. Panjang efektif elemen radiasi yang digunakan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3). Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan (2), maka ukuran elemen atau tambalan yang memancar dengan panjang 38,90 mm dibulatkan menjadi 39 mm. Karena perhitungan lebar dan panjang substratnya sama dengan *ground plane*, maka berdasarkan hasil perhitungan bahwa lebar substrat 77,8 mm dibulatkan menjadi 78 mm.

Dalam desain panjang saluran transmisi menggunakan impedansi 50Ω . Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan atau rumus, maka diperoleh lebar saluran transmisi adalah 50Ω dengan nilai 3,137 mm. Desain panjang *inset feed line* dapat dihitung berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan atau rumus. Panjang *inset feed line* diperoleh dengan nilai 6,70 mm, sedangkan desain lebar celah/lebar saluran *inset* menggunakan persamaan atau rumus. Ukuran lebar celah/lebar garis umpan *inset* dapat ditemukan dengan nilai 1 mm.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Spesifikasi frekuensi antena patch mikrostrip dalam penelitian ini adalah 1,30 GHz, 1,80 GHz, dan 2,59 GHz. Jenis substrat yang digunakan yaitu FR4 dengan ε_r sebesar 4.3 dan h sebesar 1,6 milimeter. Desain model antena direncanakan sebagaimana mestinya. Pertama-tama substrat antena patch mikrostrip direncanakan dengan lebar 108,7 mm dan panjang 77,8 mm, dan tinggi 1,6 mm. Permukaan substrat menjadi titik dasar kemudian ukuran patch antena yang setengah dari lebarnya (54,35 mm) memiliki panjang 38,90 mm dan tinggi 0,035 mm. Pengambilan data menggunakan software simulator. Gambar 5 menunjukkan ukuran antena mikrostrip hasil simulasi berdasarkan penelitian sebelumnya dengan ukuran substrat yang dioptimalkan, yaitu ukuran patch, saluran transmisi, dan ground sehingga ukuran terbaik substrat adalah lebar 108,7 mm dan panjang 77,8 mm. Ukuran patch dengan lebar 54,35 mm dan panjang 38,90 mm dan ukuran sa-

TABEL II
PARAMETER ANTENA

Parameter	Score
Frequency of work	1,3GHz, 1,8GHz, 2,6GHz
Return loss	≤ -10dB
VSWR	≤ 1,5
Gain	> 2
Bandwidth	≥ 20MHz

TABEL III SPESIFIKASI SUBSTRAT

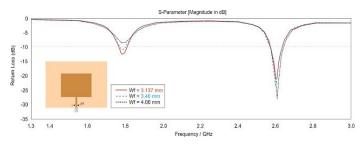
Parameter	Score	
Substrate Type	FR4 (epoxy)	
Relative dielectric constant (ε_r)	4,3	
Dielectric loss tangent ($tan \delta$)	0,025	
Substrate thickness (h)	1,6 mm	

luran transmisi dengan lebar 3,137 mm, dan ukuran *groundplane* dengan lebar 108,7 mm dan panjang 77,8 mm.

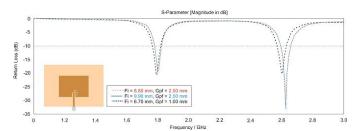
Gambar 6 merupakan hasil simulasi berdasarkan ukuran antena mikrostrip sebelumnya dengan *inset feed line* yang dioptimalkan sehingga ukuran terbaik diperoleh dengan lebar 3,137 mm dan *inset* saluran umpan dengan lebar 1,00 mm dan panjang 6,70 mm.

Gambar 7 merupakan hasil simulasi antena mikrostrip berdasarkan iterasi sebelumnya dengan substrat yang dioptimalkan dan penambahan T-slot dengan panjang $w_3 = 11,0$ mm dan $w_4 = 13,01$ mm serta parameter lainnya tetap.

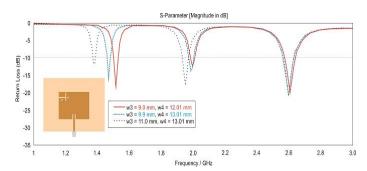
Gambar 8 menunjukkan pengembangan antena mikrostrip dan simulasi berdasarkan penelitian sebelumnya dengan substrat yang dioptimalkan serta penambangan T-slot dan U-slot. Parameter lain tetap sehingga ukuran terbaik diperoleh substrat dengan lebar 108,7 mm dan panjang 77,8 mm. Ukuran patch dengan lebar 54,35 mm dan panjang 38,90 mm, ukuran saluran transmisi dengan lebar 3,137 mm, dan ukuran groundplane dengan lebar 108,7 mm dan panjang 77,8 mm.



Gambar 5 Hasil simulasi koefisien refleksi dari parameter saluran transmisi dengan parameter lain tetap.



Gambar 6 Hasil simulasi koefisien refleksi dari parameter *inset feed line* dengan parameter lain tetap.

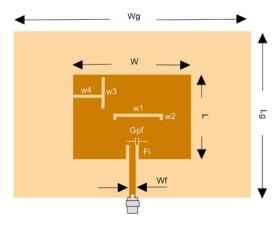


Gambar 7 Hasil simulasi koefisien refleksi dari parameter *T-slot* dengan parameter lain tetap.

Semua parameter yang dihitung dalam satuan milimeter (mm) pada mikrostrip dapat dilihat pada Tabel IV yang menunjukkan parameter untuk konfigurasi model antena.

Berdasarkan penelitian sebelumnya didapatkan hasil spesifikasi frekuensi pada 1,8 GHz dan 2,6 GHz dan substrat FR4 dengan ε_r sebesar 4,3 dan h sebesar 1,6 mm. Parameter antena dapat dilihat pada Gambar 9 yang menunjukkan return loss antena dan Gambar 10 yang menunjukkan VSWR dari beberapa iterasi. Iterasi pertama dengan inset, iterasi kedua dengan T-slot, dan iterasi ketiga dengan U-slot terbalik.

Gambar 9 memperlihatkan pengujian antena *patch* mikrostrip untuk keterbaruan, yaitu *triple-band*, berdasarkan penelitian sebelumnya dengan beberapa iterasi dan parameter yang diusulkan. Pada gambar garis hitam menunjukkan desain antena menggunakan *inset* dengan hasil *return loss* -20,76 dB pada frekuensi 1,79 GHz dan -20,20 dB pada frekuensi 2,60 GHz. Pada gambar garis putus-putus biru menunjukkan penambahan T-*slot* di sisi kiri sehingga mendapatkan hasil -11,66 dB pada frekuensi 1,37 GHz, -17,31 dB pada frekuensi 1,95 GHz, dan -20,56 dB pada frekuensi 2,59 GHz. Pada gambar garis putus-putus merah menunjukkan penambahan U-*slot* terbalik sehingga mendapatkan nilai -33,49 dB pada frekuensi 1,30 GHz, -22,13 dB pada frekuensi 1,80 GHz, dan -21,36 dB pada frekuensi 2,59 GHz. Gambar 10 menunjukkan VSWR dari ketiga iterasi tersebut.



Gambar 8 Konfigurasi model antena

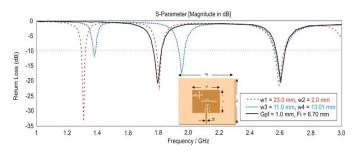
TABEL IV
PARAMETER UNTUK KONFIGURASI MODEL ANTENA

No.	Parameter	Nilai (mm)
1.	W	54,35
2.	L	38,90
3.	L_{g}	77,8
4.	W_g	108,7
5.	F_i	6,70
6.	W_f	3,137
7.	G_{pf}	1,00
8.	w_I	23,0
9.	w_2	2,00
10.	w_3	11,0
11.	w_4	13,0

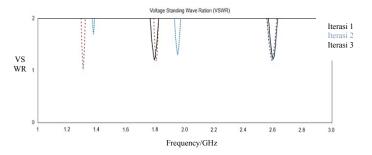
Tabel V merupakan perbandingan dari tiap parameter iterasi. Iterasi ke-1 menghasilkan dua frekuensi dengan bandwidth sebesar 2,79% dan 1,92%. Iterasi ke-2 menghasilkan tiga frekuensi dengan bandwidth sebesar 0,72%, 1,53% dan 2,70%. Iterasi ke-3 menghasilkan tiga frekuensi dengan bandwidth sebesar 2,30%, 2,30% dan 2,70%.

Gambar 11 memperlihatkan bahwa antena mikrostrip dengan berbagai iterasi mempunyai distribusi arus yang berbeda dengan nilai maksimumnya pada saluran transmisi dan pada sisi-sisinya yang dapat dilihat dari garis area terang berwarna tosca. Pada Gambar 11a nilai maksimum distribusi arus hingga sebesar 57,1 A/m, Gambar 11b nilai maksimum distribusi arusnya sebesar 67,6 A/m, dan Gambar 11c nilai maksimum distribusi arusnya sebesar 60,8 A/m.

Hasil pengukuran *gain* antena dari setiap iterasi dan pola radiasinya dapat dilihat pada Gambar 12 yang terbagi menjadi beberapa iterasi, seperti antena dengan *inset*, antena dengan T-slot, dan antena dengan U-slot terbalik. Nilai *gain*-nya ditunjukkan pada Tabel VI. Nilai-nilai *gain* tersebut telah memenuhi parameter *gain* antena yaitu lebih besar dari 2 dBi.



Gambar 9 Hasil simulasi koefisien refleksi dari parameter U-Slot, T-slot, dan inset



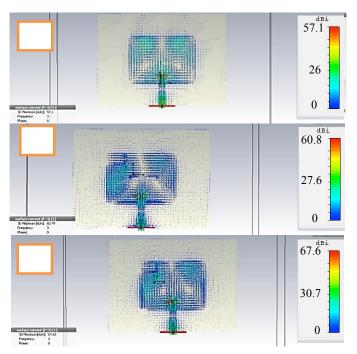
Gambar 10 Hasil pengukuran VSWR

 ${\it TABEL V}$ ${\it BANDWIDTH DAN VSWR}$

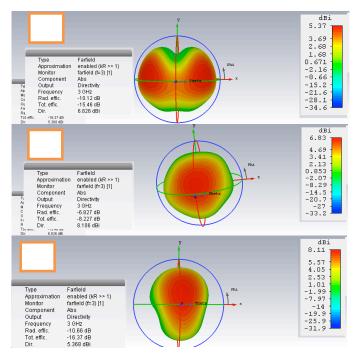
Parameter	Frekuensi (GHz)	Bandwid	tth (GHz)	VSWR
T4	1,79	0,05	2,79%	1,20
Iterasi 1	2,60	0,05	1,92%	1,21
Iterasi 2	1,37	0,01	0,72%	1,70
	1,95	0,03	1,53%	1,31
	2,59	0,07	2,70%	1,20
Iterasi 3	1,30	0,03	2,30%	1,04
	1,80	0,04	2,30%	2,22
	2,59	0,07	2,70%	1,18

Simulasi ini menunjukkan bahwa nilai *gain* antena yang dihasilkan iterasi ke-3 adalah 8,11 dBi yang mengalami peningkatan dari iterasi ke-1. Nilai *gain* yang diperoleh ini telah mencapai spesifikasi yang diharapkan, yaitu sekitar 8,11 dBi.

Berdasarkan pengukuran yang dilakukan, maka diperoleh



Gambar 11 Distribusi arus pada antena mikrostrip di setiap iterasi: (a) *inset*, (b) antena dengan T-*slot* (c) antena dengan U-*slot* terbalik



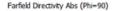
Gambar 12 Nilai *gain*: (a) antena dengan *inset*, (b) antena dengan T-*slot*, (c) antena dengan U-*slot*

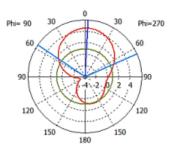
hasil pola radiasi seperti ditunjukkan pada Gambar 13. Hasil tersebut diperoleh pada iterasi ke 3.

Hal yang harus diperhatikan dalam pengukuran polarisasi yaitu jenis polarisasi antena. Apabila jenis polarisasi antena penerima dan polarisasi antena pemancar tidak sama, maka hal yang akan terjadi adalah hilangnya daya. Hal ini di disebabkan jenis polarisasi yang tidak sama (*match*), atau dikenal dengan istilah *loss polarization*. Untuk mengetahui ti-

TABEL VI NILAI *GAIN* ANTENA

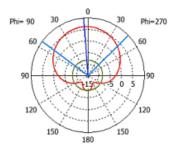
Parameter	Score
Iterasi 1	5,37 dBi
Iterasi 2	6,83 dBi
Iterasi 3	8,11 dBi





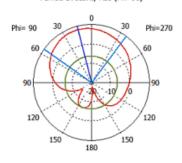
Theta / Degree vs. dBi

Farfield Directivity Abs (Phi=90)



Theta / Degree vs. dBi

Farfield Directivity Abs (Phi=90)



Theta / Degree vs. dBi

Gambar 13 Polar pattern iterasi 3

pe polarisasi pada pengukuran dapat menggunakan persamaan *Axial Ratio* (AR).

IV. SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dirancang bahwa keunggulan antena mikrostrip dengan satu *patch* persegi menggunakan metode *inset*, T-*slot*, dan U-*slot* dapat bekerja pada tiga frekuensi berbeda, yaitu *return loss* -33,49 dB pada frekuensi 1,30 GHz, -22,13 dB pada frekuensi 1,80 GHz, dan -21,36 dB pada frekuensi 2,59 GHz. Keterbaharuan lain juga dapat dibandingkan dengan dimensi *patch* yang digunakan, yaitu 54,35 mm x 38,90 mm. Pada penelitian sebelumnya menggunakan 4 *patch* dengan masing-masing dimensi *patch*, yaitu 53,4 mm x 68,95 mm. Hasil pengukuran lainnya diperoleh *bandwidth* masing-masing frekuensi kerja pada iterasi ke-3 adalah 1,04%, 2,22%, dan 1,18 % dan dapat bekerja untuk aplikasi *Long Term Evolution* (LTE) dan L-*Band* Radar.

DAFTAR REFERENSI

- [1] K. M. Mak, K. K. So, H.-W. Lai, dan K. M. Luk, "A magnetoelectric dipole leaky-wave antenna for millimeter-wave application," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 65, no. 12, hlm. 6395–6402, 2017, doi: 10.1109/TAP.2017.2722868.
- [2] A. Garg, D. Kumar, P. K. Dhaker, dan I. B. Sharma, "A novel design dual band-notch small square monopole antenna with enhanced bandwidth for UWB application," dalam 2015 International Conference on Computer, Communication and Control (IC4), 2015, hlm. 1–5. doi: 10.1109/IC4.2015.7375542.
- [3] A. A. Deshmukh, D. Singh, dan K. P. Ray, "Modified designs of broadband E-shape microstrip antennas," Sadhana - Acad. Proc. Eng. Sci., vol. 44, no. 3, hlm. 1–13, 2019, doi: 10.1007/s12046-018-1030-8.
- [4] E. Gupta dan A. Garg, "A dual-band rectangular patch notched antenna with T- and E-slots," dalam Proceedings of International Conference on Communication and Artificial Intelligence, 2021.
- [5] A. A. Nidardika, "Perancangan dan Realisasi Antena Mikrostrip Array Rectangular untuk Radar pada Frekuensi L-band," Universitas Telkom, 2019.
- [6] A. S. Mustafa, S. A. Jasim, M. M. Hamdi, A. M. Shantaf, M. A. Jubair, dan M. M. Al-Heeti, "Develop model for an antenna with dual-band microstrip patches," ISMSIT 2021 - 5th Int. Symp. Multidiscip. Stud. Innov. Technol. Proc., no. December, hlm. 377–382, 2021, doi: 10.1109/ISMSIT52890.2021.9604739.
- [7] H. Wong, K.-M. Luk, C. H. Chan, Q. Xue, K. K. So, dan H. W. Lai, "Small antennas in wireless communications," Proc. IEEE, vol. 100, no. 7, hlm. 2109–2121, 2012.

- [8] K. Chellappan, A. S. Mustafa, M. J. Mohammed, dan A. M. Thajeel, "Layered defense approach: towards total network security," Int. J. of Computer Science and Business Informatics, vol. 15, December, 2015.
- [9] E. A. Sarfina dan M. Irhamsyah, "Analisis perancangan antena mikrostrip patch segitiga array untuk aplikasi WLAN 2,4 GHz," J. Kitektro, vol. 2, no. 2, hlm. 6–14, 2017.
- [10] R. A. Gusma, Y. Rahayu, dan L. O. Sari, "Simulasi antena 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.
- [11] R. J. Hendra, Y. Rahayu, dan E. Safrianti, "Analisis antena 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.
- [12] 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.
- [13] C. A. Balanis, Antenna Theory Analysis and Design, 3rd ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2005.
- [14] D. Pasaribu dan A. H. Rambe, "Rancang bangun antena mikrostrip patch segi empat pada frekuensi 2,4 GHz dengan metode pencatuan inset," J. Singuda Ensikom, vol. 7, no. 1, hlm. 30–35, 2014.
- [15] M. Alaydrus, Antena: Prinsip dan Aplikas. Jakarta: Graha Ilmu, 2011.
- [16] Ciksadan, "Perancangan antena mikrostrip untuk LTE," J. Informanika, vol. 5, no. 1, hlm. 83–97, 2019.

Mohamad Reynaldy Hilyawan, kelahiran kota Serang. Menerima Sarjana Teknik dari Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Jurusan Teknik Elektro pada tahun 2020 dan mengambil gelar Magister dari Universitas Trisakti Jurusan Teknik Elektro pada tahun 2021. Saat ini aktif sebagai mahasiswa Trisakti, Bekerja menjadi karyawan BUMN, dan membuka usaha budidaya benih lele. Syah Alam, dosen Fakultas Teknik Industri Universitas Trisakti dan Sekretaris Program Studi Teknik Elektro. Menerima Sarjana Pendidikan dari Universitas Pendidikan Indonesia pada tahun 2009, menerima Magister Teknik dari Universitas Trisakti pada tahun 2012, dan sedang melanjutkan studi S3 di Malaysia.

Indra Surjati, dosen Fakultas Teknik Industri Program Studi Teknik Elektro Universitas Trisakti. Menerima Sarjana Pendidikan dari Universitas Trisakti pada tahun 1985, menerima Magister Teknik dari Universitas Trisakti pada tahun 1996, dan menerima gelar Doktor dari Universitas Indonesia pada tahun 2004. Pada saat ini menekuni bidang keahlian antena mikrostrip.