

Peningkatan Performansi Desain Antena Mikrostrip dengan Penambahan *Slot* M dan *Inset* untuk Komunikasi 5G

Wahyu Ibrahim[#], Syah Alam, Indra Surjati

Program Studi Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti
Jl. Kyai Tapa No.1, Kota Jakarta Barat, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 11440, Indonesia
[#]wahyu162012000002@std.trisakti.ac.id

Abstrak

Sistem komunikasi generasi kelima (5G) telah diperkenalkan pada tahun 2018 dan memiliki kelebihan antara lain kecepatan transfer data yang tinggi serta *bandwidth* yang sangat lebar. Antena mikrostrip merupakan antena yang memiliki keunggulan seperti ukuran dimensi lebih kecil, biaya fabrikasi yang terjangkau dan dapat bekerja pada frekuensi yang tinggi. Namun antena mikrostrip mempunyai kekurangan seperti *bandwidth* yang sempit. Dalam penelitian ini membahas peningkatan performansi desain antena mikrostrip persegi dengan metode *slot* dengan bentuk M dan *inset* pada frekuensi kerja 15 GHz bertujuan untuk peningkatan *return loss* dan *bandwidth*. Hasil dari penelitian ini didapatkan peningkatan *return loss* sebesar 73,2% dan peningkatan *bandwidth* sebesar 15,1%.

Kata kunci: antena, *bandwidth*, *inset*, *return loss*, mikrostrip, *slot*

Abstract

The fifth-generation (5G) communication system was introduced in 2018 and has advantages such as high data transfer rates and very wide bandwidth. Microstrip antenna is an antenna that has advantages such as compact, low cost of fabrication and capable to work at high frequencies. However, microstrip antennas have disadvantages such as narrow bandwidth. This research discusses about improvement performance of the square microstrip antenna with the *slot* M and the *inset* that work at frequency of 15 GHz in order to increase the *return loss* and *bandwidth*. The results of this study showed an increase in the *return loss* of 73.2% and *bandwidth* of 15.1%.

Keywords: antenna, *bandwidth*, *inset*, *microstrip*, *return loss*, *slot*

I. PENDAHULUAN

Sistem komunikasi generasi kelima (5G) telah diperkenalkan pada tahun 2018 dan memiliki kelebihan antara lain kecepatan transfer data yang tinggi serta *bandwidth* yang sangat lebar [1]. Berdasarkan regulasi yang ditetapkan oleh frekuensi kerja yang digunakan untuk sistem komunikasi generasi kelima (5G) terbagi menjadi beberapa *band* yaitu untuk *high band* 28 GHz, *middle band* 15 GHz dan *low band* 3,5 GHz [2]. Dalam suatu sistem komunikasi nirkabel diperlukan perangkat antena sebagai pengirim dan penerima sinyal yang akan diubah menjadi gelombang listrik sehingga dapat dimanfaatkan untuk keperluan komunikasi suara maupun data [3]. Salah satu antena yang banyak dikembangkan untuk keperluan sistem komunikasi nirkabel adalah antena

mikrostrip [4]. Antena mikrostrip merupakan antena yang memiliki keunggulan seperti ukuran dimensi lebih kecil, biaya fabrikasi, dapat bekerja pada frekuensi yang tinggi, dan mudah digunakan [5]. Namun antena mikrostrip mempunyai kekurangan seperti *bandwidth* yang sempit. Dimensi yang lebih kecil pada antena mikrostrip menjadi salah satu keunggulan dari antena mikrostrip yang digunakan untuk antena penerima untuk bekerja secara optimal.

Beberapa cara dan metode yang telah untuk meningkatkan *bandwidth* yang dihasilkan pada antena mikrostrip seperti metode dengan penambahan ketebalan *substrate*, penambahan *inset* pada pencatu antena, modifikasi ukuran patch antena, penambahan *slot*, dan modifikasi ukuran *ground plane* antena [6]. Pada penelitian sebelumnya banyak dilakukan peningkatan

bandwidth, dan *return loss*. Seperti pada penelitian yang diusulkan oleh [7] melakukan sebuah pengujian antena mikrostrip patch *rectangular* menghasilkan *bandwidth* sebesar 100 MHz, selanjutnya pada penelitian yang dilakukan oleh [8] melakukan analisa optimasi *bandwidth* pada antena mikrostrip *rectangular* metode *slit* dan *slot* didapatkan sebesar 8,82%, pada penelitian yang diusulkan oleh [9] melakukan berhasil melakukan miniaturisasi antena dengan *return loss* sebesar -18,56 dB yang bekerja pada frekuensi 1,5 GHz. Selanjutnya, pada penelitian yang diusulkan oleh [10] melakukan pengujian antena *U-Slot* pada frekuensi 15 GHz didapatkan *return loss* sebesar -18,66 dB. Pada penelitian yang diusulkan oleh [11] melakukan pengujian metode penambahan *inset* menghasilkan *bandwidth* sebesar 46 MHz, selanjutnya pada penelitian oleh [12] melakukan pengujian pada rancang bangun antena mikrostrip patch segiempat pada frekuensi 2,4 GHz dengan penambahan *inset* didapatkan *bandwidth* 112 MHz, dan *return loss* -14,77 dB, pada penelitian yang diusulkan oleh [13] melakukan pengujian antena mikrostrip dengan penambahan *inset* menghasilkan *return loss* sebesar -15,75 dB, Pada penelitian yang diusulkan oleh [14] melakukan pengujian rancang bangun antena mikrostrip *rectangular array* dengan *U-Slot* pada frekuensi 1,8 GHz menghasilkan *return loss* sebesar -14,55 dB. Pada penelitian yang diusulkan oleh [15] melakukan perancangan antena mikrostrip circular dengan *U-Slot* menghasilkan *return loss* sebesar -21,75 dB dan *bandwidth* 236 MHz pada frekuensi 26 GHz.

Namun, dari hasil penelitian sebelumnya masih terdapat kekurangan yaitu nilai *bandwidth*, dan nilai koefisien yang kurang baik. Penelitian ini mengusulkan peningkatan *bandwidth*, dan *return loss* pada desain antena awal dengan optimasi penambahan *slot* bentuk M dan *inset* pada frekuensi kerja 15 GHz untuk sistem komunikasi 5G.

II. METODE PENELITIAN

A. Desain Antena Mikrostrip

Pada penelitian ini, desain antena mikrostrip menggunakan model persegi dengan spesifikasi Substrat FR-4 dengan konstanta dielektrik (ϵ_r) sebesar 4,3, *loss tangent* 0,0265, dan ketebalan substrat (h) sebesar 1,6 mm. pada pengukuran dimensi panjang (L), dan lebar (W) antena mikrostrip patch pada model persegi dapat dihitung dengan persamaan (1) [16].

$$W = \frac{C}{2f \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (1)$$

Sedangkan untuk menentukan panjang *patch* antena mikrostrip menggunakan perhitungan ΔL untuk pertambahan panjang (L) akibat fringing effect. Pertambahan panjang (L) dapat dihitung dengan persamaan (2).

$$\Delta L = 0,412 h \frac{(\epsilon_{\text{reff}} + 0,3) \left(\frac{wp}{hp} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{\text{reff}} + 0,258) \left(\frac{wp}{hp} + 0,8 \right)} \quad (2)$$

dimana (h) merupakan tinggi atau tebal substrat, dan ϵ_{reff} merupakan konstanta dielektrik yang dapat dihitung dengan persamaan (3), dan persamaan (4) berikut.

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} + \left[1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Panjang *patch* (L) dirumuskan oleh:

$$L = L_{\text{reff}} - 2\Delta L \quad (4)$$

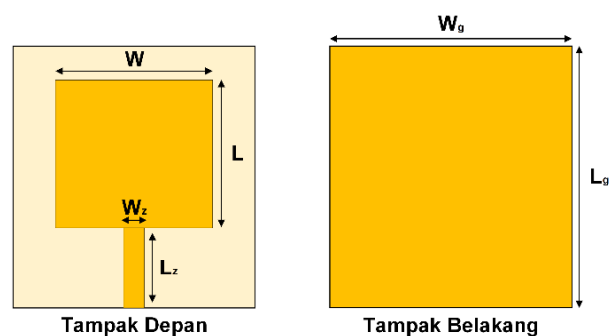
dimana L_{reff} merupakan panjang *patch* efektif yang dapat dihitung dengan persamaan (5).

$$L_{\text{reff}} = \frac{c}{2fr\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} \quad (5)$$

Setelah dilakukan proses perhitungan pada persamaan (1) sampai dengan persamaan (5) didapatkan nilai panjang *patch* 5,9 mm (W), nilai lebar patch 3,9 mm pada dimensi (L), nilai panjang *ground plane* 10 mm (W_g), nilai lebar *ground plane* 10 mm (L_g), nilai panjang pencatu 3,5 mm (L_z), dan lebar pencatu 0,5 mm (W_z). Proses simulasi yang digunakan dalam perancangan antena mikrostrip menggunakan *AWR Microwave Office* 2009. Desain antena yang diusulkan ditampilkan pada Gambar 1.

B. Desain Penambahan Metode Slot M dan Inset

Setelah dilakukan perancangan dan desain awal pada Gambar 1. Maka dilakukan optimasi berupa



Gambar 1. Desain antena *patch* persegi

Tabel 1. Ukuran dimensi antena mikrostrip penambahan slot M dan inset

Dimensi utama	Parameter	Ukuran
Frekuensi	F	15 GHz
Panjang <i>patch</i>	L	3,9 mm
Lebar <i>patch</i>	W	5,9 mm
Panjang <i>ground plane</i>	L_g	10 mm
Lebar <i>ground plane</i>	W_g	10 mm
Panjang <i>slot</i>	L_s	2,2 mm
Panjang <i>slot</i>	L_{s1}	1,2 mm
Lebar <i>slot</i>	W_s	0,2 mm
Panjang <i>inset</i>	L_i	1,4 mm
Lebar <i>inset</i>	W_i	0,2 mm

Tabel 2. Iterasi ukuran *ground plane*

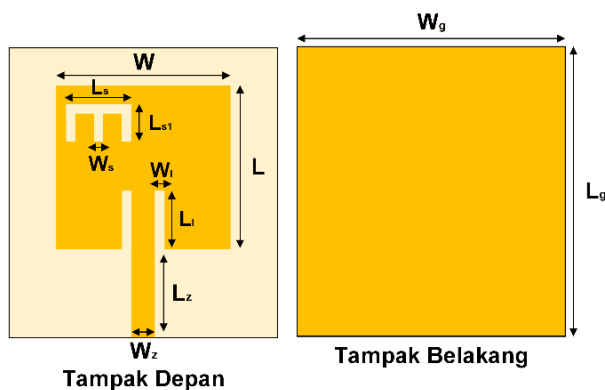
Iterasi ke-	Ukuran <i>ground plane</i>	
	Panjang (L_g)	Lebar (W_g)
Desain awal	10 mm	10 mm
1	8 mm	8 mm

Tabel 3. Hasil iterasi *ground plane*

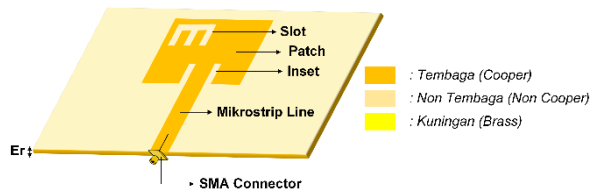
Iterasi ke-	Parameter		
	Frekuensi (GHz)	Return loss (dB)	Bandwidth (MHz)
Desain awal	15,1 GHz	-21,54 dB	550 MHz
1	14,95 GHz	-17,04 dB	429 MHz

Tabel 4. Iterasi ukuran panjang *patch* antena

Iterasi ke-	Ukuran <i>patch</i> Antena	
	Panjang (L)	Lebar (W)
1	5,7 mm	3,9 mm
2	5,3 mm	3,9 mm
3	4,5 mm	3,9 mm



Gambar 2. Desain antena mikrostrip dengan penambahan slot M dan inset



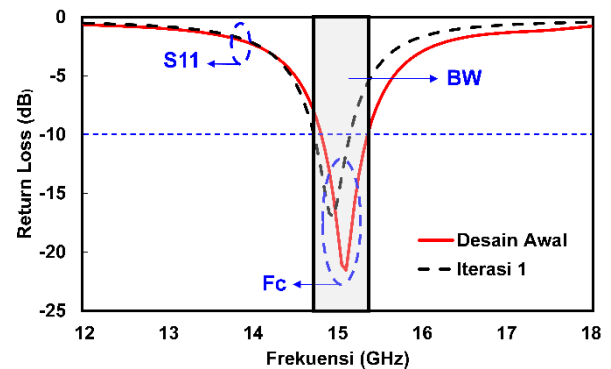
Gambar 3. Struktur antena mikrostrip dengan penambahan slot M dan inset

pengaturan dimensi dari *ground plane*, *patch antena*, dan penambahan slot M dan inset. Tujuan dari penambahan tersebut adalah untuk meningkatkan *bandwidth*, dan *return loss*. Dimensi dan penambahan metode slot M dan inset dapat dilihat pada Tabel 1.

Desain dan struktur dari antena mikrostrip dengan penambahan slot M dan inset ditujukan pada Gambar 2 dan Gambar 3.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mendapatkan peningkatan performansi yang terbaik, maka dilakukan proses iterasi dengan mengatur parameter ukuran *ground plane*, ukuran *patch*, ukuran slot M, dan ukuran inset. Parameter yang diamati adalah *bandwidth* dan *return loss*. Proses iterasi awal dilakukan percobaan mengatur



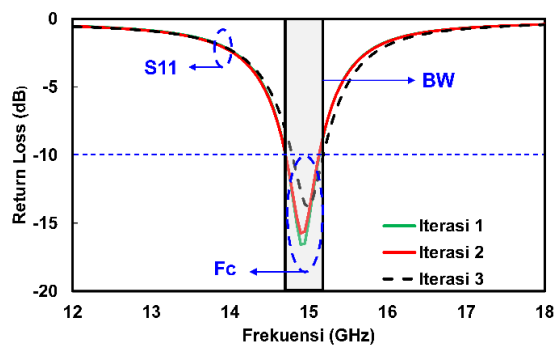
Gambar 4. Hasil simulasi *return loss* dari iterasi panjang *ground plane*

ukuran panjang *ground plane* (L_g), dan lebar *ground plane* (W_g) dengan ukuran *patch* desain antena mikrostrip awal yaitu panjang *patch* (L) 3,9 mm, dan lebar *patch* (W) 5,9 mm. Proses Iterasi *ground plane* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 menunjukkan proses iterasi dengan mengatur ukuran *ground plane* yaitu panjang (L_g), dan lebar (W_g) dari desain antena mikrostrip awal yang ditampilkan pada gambar 1. Hasil simulasi dari proses iterasi *ground plane* ditujukan grafik pada Gambar 4.

Gambar 4 menunjukkan bahwa iterasi yang dilakukan menyebabkan terjadinya pergeseran frekuensi resonansi, penurunan *return loss*, dan penyempitan *bandwidth*. Parameter yang dihasilkan dari proses iterasi 1 ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 menunjukkan bahwa *bandwidth* dan koefisien yang didapatkan dari proses iterasi 1 mengalami penurunan sebesar 121 MHz, dan -4,5 dB, selanjutnya dilakukan proses iterasi dengan mengatur ukuran *patch* desain antena awal. Proses iterasi *patch* antena ditunjukkan pada Tabel 4.



Gambar 5. Hasil simulasi *return loss* dari iterasi panjang (L) *patch*

Tabel 5. Hasil iterasi panjang (L) *patch* antenna

Iterasi ke-	Parameter		
	Frekuensi (GHz)	Return loss (dB)	Bandwidth (MHz)
1	14,9 GHz	-16,57 dB	428 MHz
2	14,9 GHz	-15,74 dB	424 MHz
3	15 GHz	-13,82 dB	395 MHz

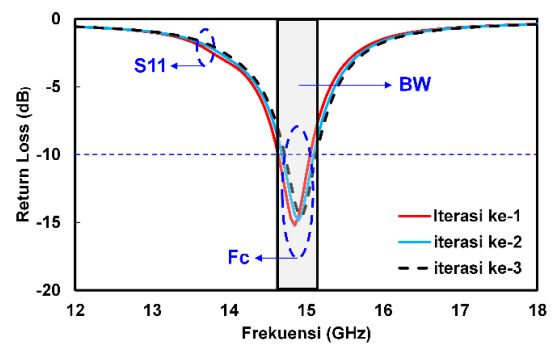
Tabel 6. Iterasi panjang *slot M*

Iterasi ke-	Ukuran <i>Slot</i> (mm)		
	Panjang (L_s)	Panjang (L_{s1})	Lebar (W_s)
1	2,2	1,2	0,2
2	2,0	1,1	0,2
3	1,8	1,0	0,2

Tabel 4 menunjukkan proses iterasi dengan mengatur ukuran panjang (L) *patch* antenna mikrostrip. Proses iterasi dibagi menjadi 3 bagian yaitu para iterasi ke-1 dengan nilai $L = 5,7$ mm, iterasi ke-2 $L = 5,3$ mm, dan iterasi ke-3 $L = 4,5$ mm. Selanjutnya, ukuran lebar (W) tidak mengalami perubahan ukuran yaitu $W = 3,9$ mm. Hasil dari proses iterasi *patch* antenna mikrostrip ditunjukkan pada Gambar 5.

Gambar 5 menunjukan bahwa nilai terbaik dari proses terasi didapatkan pada saat iterasi ke-3 dengan frekuensi resonansi 15 GHz. Pada iterasi ke-3 ini, antenna yang diusulkan sudah sesuai dengan frekuensi kerja antenna mikrostrip yang ditargetkan. Namun, *return loss* dan *bandwidth* yang dihasilkan penurunan. Hasil optimasi keseluruhan dari proses iterasi ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5 menunjukan bahwa frekuensi resonansi yang dihasilkan pada iterasi ke-3 sudah sesuai dengan frekuensi kerja yang ditargetkan yaitu 15 GHz. Namun, terjadi penurunan performansi pada parameter *return loss* yaitu -13,82 dB dan *bandwidth* 395 MHz. Selanjutnya, antenna dioptimasi dengan penambahan *slot M* yang bertujuan untuk meningkatkan *return loss* dan *bandwidth*. Proses iterasi penambahan *slot M* ditunjukkan pada Tabel 6.



Gambar 6. Hasil simulasi *return loss* dari iterasi panjang slot (L_s) dan (L_{s1})

Tabel 7. Hasil iterasi panjang *slot M*

Iterasi ke-	Parameter		
	Frekuensi (GHz)	Return loss (dB)	Bandwidth (MHz)
1	14,85 GHz	-15,22 dB	415 MHz
2	14,9 GHz	-14,86 dB	414 MHz
3	14,95 GHz	-14,53 dB	412 MHz

Tabel 8. Iterasi panjang (L_i) *inset*

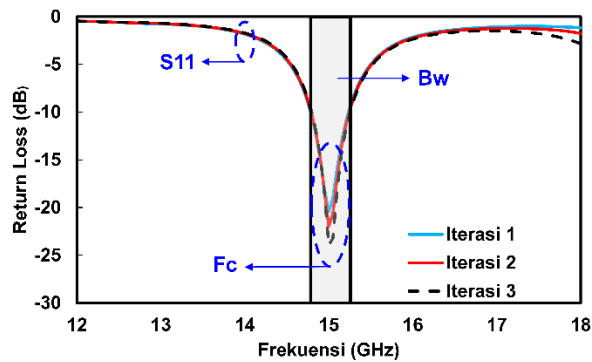
Iterasi ke-	Ukuran <i>inset</i> (mm)	
	Panjang (L_i)	Lebar (W_i)
1	1,4	0,2
2	1,5	0,2
3	1,6	0,2

Tabel 6 menunjukkan proses iterasi dengan mengatur ukuran panjang *slot M* (L_s), dan (L_{s1}), sedangkan ukuran lebar *slot* (W_s) tidak mengalami perubahan yaitu $W_s = 0,2$ mm. Hasil simulasi dari proses iterasi *slot M* ditunjukkan pada Gambar 6.

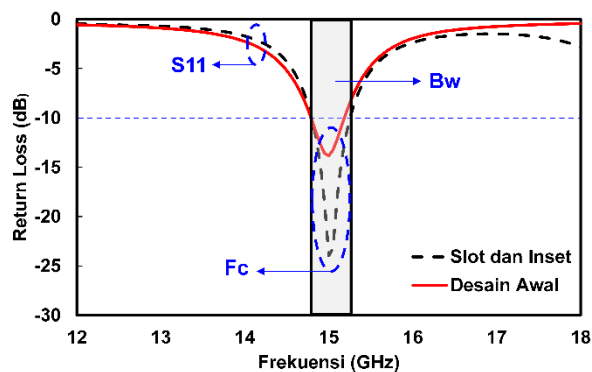
Gambar 6 menunjukkan bahwa efek penambahan *slot M* menyebabkan pergeseran frekuensi resonansi dari antenna yang diusulkan sehingga tidak bekerja tepat pada frekuensi 15 GHz, namun terjadi penurunan *return loss* dan *bandwidth*. Hasil simulasi dari proses iterasi *slot M* ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7 menunjukan bahwa terjadi pergeseran frekuensi resonansi dari antenna pada iterasi ke-1 sampai iterasi ke-3. Hasil iterasi terbaik didapatkan dari iterasi ke-1 dengan nilai *return loss* sebesar -15,22 dB, dan *bandwidth* sebesar 415 MHz. Selanjutnya, dilakukan proses iterasi dengan penambahan *inset* yang bertujuan untuk peningkatan *bandwidth*, *return loss*, dan frekuensi yang diharapkan 15 GHz. Proses iterasi *inset* ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8 menunjukkan proses iterasi dengan mengatur penambahan ukuran panjang *inset* (L_i), sedangkan ukuran lebar *inset* (W_i) tidak mengalami perubahan ukuran yaitu $W_i = 0,2$ mm. Hasil simulasi dari proses optimasi L_i ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil simulasi *return loss* dari iterasi panjang *inset* (L_1)



Gambar 8. Hasil perbandingan desain awal dengan penambahan *slot M* dan *inset*

Tabel 9. Hasil iterasi panjang *inset*

Iterasi ke-	Parameter		
	Frekuensi (GHz)	Return loss (dB)	Bandwidth (MHz)
1	15 GHz	20,42 dB	450 MHz
2	15 GHz	21,96 dB	452 MHz
3	15 GHz	23,95 dB	455 MHz

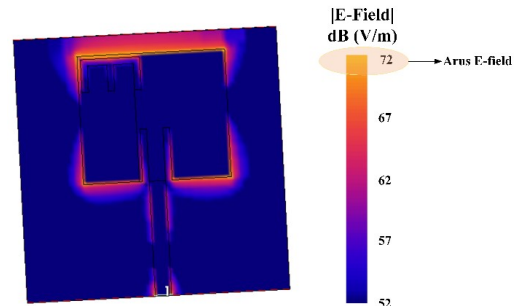
Gambar 7 menunjukkan bahwa frekuensi pada iterasi ke-1 sampai iterasi ke-3 sudah sesuai dengan frekuensi kerja 15 GHz yang ditargetkan. Proses iterasi panjang *inset* menyebabkan terjadinya peningkatan *return loss* dan *bandwidth*. Hasil simulasi dari proses iterasi panjang *inset* (L_1) ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9 menunjukan bahwa frekuensi yang dihasilkan telah sesuai dengan frekuensi kerja yang ditargetkan. Hasil terbaik didapatkan pada iterasi ke-3 dengan peningkatan parameter *return loss* sebesar -23,95 dB dan *bandwidth* sebesar 455 MHz. Tahapan selanjutnya adalah membandingkan desain awal dengan desain yang telah dikembangkan dengan penambahan *slot M* dan *inset* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.

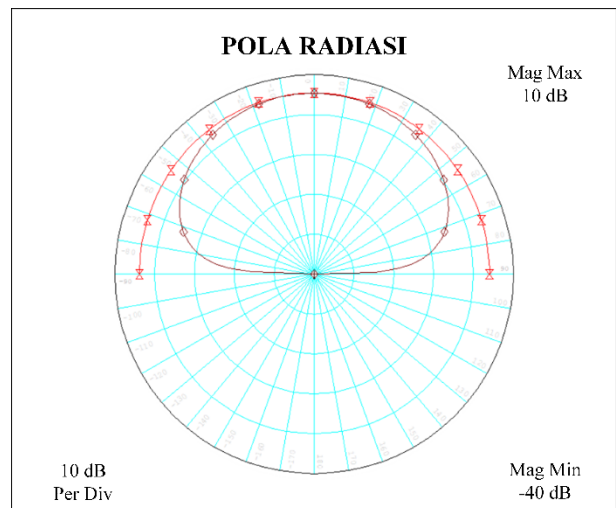
Gambar 8 menunjukkan bahwa hasil desain dengan penambahan *slot M* dan *inset* telah berhasil meningkatkan parameter *return loss* dan *bandwidth*.

Tabel 10. Hasil perbandingan desain awal dengan penambahan *slot M* dan *inset*

Kondisi	Return loss (dB)	Bandwidth (MHz)
Desain awal	-13,82 dB	395 MHz
Slot dan inset	-23,95 dB	455 MHz



Gambar 9. Arus E-field antenna mikrostrip dengan penambahan *slot M* dan *inset*



Gambar 10. Pola radiasi antenna mikrostrip dengan penambahan *slot M* dan *inset*

Perbandingan hasil simulasi dari antenna desain awal dan antenna *slot M* ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10 menunjukkan bahwa nilai *return loss* dari antenna desain awal adalah -13,82 dB. Selanjutnya setelah penambahan *slot M* dan *inset* *return loss* meningkat menjadi -23,95 dB atau 73,2% dibandingkan dengan antenna desain awal. Selain itu, *bandwidth* yang dihasilkan pada antenna desain awal adalah 395 MHz, sedangkan setelah penambah *slot M* meningkat menjadi 455 MHz atau meningkat 15,1%. Distribusi arus dari desain antenna mikrostrip dengan penambahan *slot M* dan *inset* adalah 72 dB(V/m) seperti yang ditunjukkan pada gambar 9. Pola radiasi bidang E dan bidang H dari antenna mikrostrip dengan penambahan *slot M* bersifat *broadside* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.

Tabel 11. Perbandingan dengan penelitian sebelumnya

Penelitian	Return loss (dB)	Bandwidth (MHz)
[8]	-24 dB	158,6 MHz
[12]	-14,77 dB	112 MHz
[15]	-21,75 dB	236 MHz
Yang diusulkan	-23,95 dB	455 MHz

Dari keseluruhan pengujian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan *slot* M dan *inset* dapat menghasilkan peningkatan *return loss* dan *bandwidth*. Untuk menunjukkan kebaruan dari penelitian ini dilakukan perbandingan hasil yang diperoleh dengan penelitian sebelumnya ditunjukkan pada Tabel 11.

Tabel 11 menunjukan bahwa *return loss* dan *bandwidth* dari antena yang diusulkan dalam penelitian ini memiliki nilai yang lebih baik dibandingkan dengan penelitian sebelumnya.

IV. KESIMPULAN

Desain antena mikrostrip dengan penambahan *slot* M dan *inset* menghasilkan *return loss* sebesar -23,95 dB dengan peningkatan sebesar 73,2% dari desain antena awal, kemudian *bandwidth* yang dihasilkan sebesar 455 MHz dengan peningkatan sebesar 15,1%. Antena yang diusulkan dapat direkomendasikan dan diusulkan sebagai antena penerima dalam sistem komunikasi 5G.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi, Universitas Trisakti atas dukungannya.

REFERENSI

[1] M. Höyhty, O. Apilo, and M. Lasanen, "Review of latest advances in 3GPP standardization: D2D communication in 5G systems and its energy consumption models," *Futur. Internet*, vol. 10, no. 1, 2018.

[2] A. Hikmaturokhman, K. Ramli, and M. Suryanegara, "Spectrum Considerations for 5G in Indonesia," *Proceeding - 2018 Int. Conf. ICT Rural Dev. Rural Dev. through ICT Concept, Des. Implic. IC-ICTRuDEv 2018*, pp. 23–28, 2018.

[3] S. Alam, I. G. N. Y. Wibisana, and I. Surjati, "Rancang Bangun Antena Mikrostrip Peripheral Slits Linear Array Untuk Aplikasi Wi-Fi," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 13, no. 1, p. 18, 2017.

[4] I. Surjati, "Antena Mikrostrip: Konsep dan Aplikasinya," *Univ. Trisakti, Jakarta*, 2010.

[5] M. Alaydrus, "Riset Antena – State of the Art," *J. Telekomun. dan Komput.*, vol. 6, no. 1, p. 1, 2017.

[6] R. C. Sianturi, "Rancang Bangun Antena Mikrostrip dengan penambahan Slot untuk Meningkatkan Bandwidth," *Skripsi Univ. Negeri Jakarta*, 2018.

[7] T. Firmansyah, S. Purnomo, F. Fatonah, and T. H. Fajar Nugroho, "Antena Mikrostrip Rectangular Patch 1575,42 MHz dengan Polarisasi Circular untuk Receiver GPS," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 4, no. 4, 2016.

[8] D. Leta, P. Islami, N. M. Rizka, A. Teknik, T. Sandhy, and P. Jakarta, "Optimasi Bandwidth Pada Antena Mikrostrip Rectangular Metode Slit & Slot Untuk Aplikasi Lte Frekuensi 1,8 Ghz," *eJournal Mahasiswa Akademi Telkom Jakarta (eMIT)*, vol. 2, no. 1, pp. 106-111, 2020.

[9] E. S. Syah Alam, "Miniaturisasi Antena Mikrostrip Dengan Desain Fraktal untuk Aplikasi Global Positioning System," *Jurnal Kajian Teknik Elektro*, vol. 2, no. 2, pp. 71-77, 2017.

[10] K. Jones, L. Olivia, and B. Syihabuddin, "Perancangan Antena MIMO 2×2 Array Rectangular Patch dengan U-Slot untuk Aplikasi 5G," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–8, 2017.

[11] B. G. Hakanoglu and M. Turkmen, "An inset fed square microstrip patch antenna to improve the return loss characteristics for 5G applications," *2017 32nd Gen. Assem. Sci. Symp. Int. Union Radio Sci. URSI GASS 2017*, vol. 2017-Janua, no. August 2017, pp. 1–4, 2017.

[12] D. Pasaribu, A. H. Rambe, and K. Kunci, "Rancang Bangun Antena Mikrostrip Patch Segiempat Pada Frekuensi 2,4 Ghz Dengan Metode Pencatutan Inset," *Singuda ENSIKOM*, vol. 7, no. 1, pp. 30–35, 2014.

[13] M. T. Nadya Sabrina, Dr. Ir. Heroe Wijanto, M.T, Zulfi, S.T., "PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENA MIKROSTRIP INSET-FED PADA FREKUENSI 2.4 GHZ UNTUK APLIKASI WIFI," *e-Proceeding Eng. Vol.3, No.3 December 2016*, vol. 3, no. 3, pp. 4702–4709, 2016.

[14] I. U. V. Simanjuntak and S. Sahlah, "RANCANG BANGUN ANTENA MIKROSTRIP RECTANGULAR ARRAY DENGAN U – SLOT PADA FREKUENSI 1,8 GHz," *JETri J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 16, no. 2, pp. 149, 2019.

[15] B. B. Rijadi, "Perancangan Antena Mikrostrip Circular Dengan U-Slot Untuk Aplikasi 5G Di Indonesia," vol. 21, pp. 19–22, 2020.

[16] K.-L. Wong, *Compact and Broadband Microstrip Antennas*, vol. 3. 2002.