

Perancangan Antena Mikrostrip Persegi Panjang Array Dua Elemen dengan Tambahan Elemen Parasitik untuk Teknologi 5G

Dicky Maulana¹, Ernita Dewi Meutia^{2*}, Syahrial Syahrial³

^{1,2,3}Departemen Teknik Elektro dan Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No.7 Darussalam, Banda Aceh 23111, Indonesia

¹dicky.maulana@gmail.com

^{2*}ernita.dmeutia@usk.ac.id

³syahrial@usk.ac.id

Abstrak— Teknologi 5G *Milimeter Wave* (mmWave) merupakan teknologi generasi terbaru dari sistem komunikasi yang memiliki kelebihan seperti kecepatan transfer data yang tinggi, *bandwidth* yang lebih lebar dan *gain* yang tinggi. Kehadiran teknologi 5G mmWave ini menjadi jawaban dari permasalahan yang ada pada teknologi sebelumnya, dimana antena dengan *bandwidth* yang setidaknya melebihi 1 GHz dan *gain* yang lebih besar dari 10 dBi. Artikel ini membahas desain dan analisis kinerja antena mikrostrip persegi panjang array dua elemen dengan tambahan elemen parasitik untuk sistem komunikasi 5G. Antena ini dirancang menggunakan bahan substrat RT Duroid 5880 dengan ketebalan (*h*) 0.5 mm dan konstanta dielektrik (ϵ_r) 2.2 untuk beroperasi pada frekuensi 28 GHz dan dianalisis menggunakan simulator ADS. Hasil simulasi kinerja diperoleh *gain* antena sebesar 10.107 dBi, *directivity* 11.175 dBi, *return loss* -20.291 dB, VSWR 1.214, dan *bandwidth* 1.53 GHz. Berdasarkan nilai kinerja tersebut, antena yang dirancang memberikan kinerja yang sangat baik. Sehingga jenis antena yang telah dirancang memiliki potensial untuk diterapkan sistem komunikasi 5G.

Kata Kunci— 5G mmWave, antena mikrostrip, *gain*, *bandwidth*, elemen parasitik

I. PENDAHULUAN

Seiring berkembangnya peradaban, kebutuhan akan teknologi komunikasi dengan keandalan, kecepatan yang tinggi, serta latensi yang rendah juga semakin besar. Tuntutan ini yang menjadi alasan terjadinya peralihan teknologi komunikasi generasi ke empat (4G) yang ada pada saat ini, menuju ke generasi kelima (5G). Peralihan ini terjadi karena keterbatasan dari teknologi 4G dalam memenuhi tuntutan perkembangan teknologi, baik dalam hal kapasitas, keandalan maupun kecepatan. Untuk mengimbangi hal ini, teknologi 5G muncul sebagai solusi yang diluncurkan pada kongres *Mobile World Congress* (MWC) 2015 di Barcelona. Kongres ini dihadiri oleh berbagai badan regulasi dan vendor perusahaan telekomunikasi dunia [1].

International Telecommunication Union (ITU) mengungkapkan visi utama penelitian 5G untuk tahun 2020 yang dituliskan dalam program *International Mobile Telecommunication* tahun 2020 (IMT-2020) yaitu IMT

mendukung setiap skenario pengaplikasian 5G yang dirangkum menjadi 3 skenario penggunaan 5G di tahun 2020. Skenario pertama adalah peningkatan kemampuan *mobile broadband*, kedua keandalan yang sangat tinggi dan latensi yang rendah, dan skenario ketiga adalah komunikasi antar mesin yang masif [2]. Teknologi 5G memiliki *data rate* yang jauh lebih besar dari generasi sebelumnya, yaitu mencapai 10 Gbps. Laju data yang tinggi ini bertujuan untuk mewujudkan visi dari penelitian *Mobile and Wireless Communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society* (METIS), yaitu meletakkan dasar pada sistem komunikasi bergerak dan nirkabel, dengan visi berkomunikasi dimana saja, kapan saja, kepada apa saja, dan dimana saja [3].

Salah satu teknologi pendukung 5G yang sedang dikembangkan saat ini adalah 5G *milimeter wave* (mmWave), yaitu teknologi yang memiliki frekuensi kerja antara 30 GHz – 300 GHz. Rentang frekuensi ini termasuk dalam kategori *Extreme High Frequency* (EHF). Istilah mmWave ini sendiri merujuk pada pendeknya ukuran gelombang radio yang hanya memiliki panjang gelombang antara 1 mm hingga 10 mm. Dibidang industri, teknologi 5G sendiri menggunakan spektrum dengan panjang gelombang yang sedikit lebih panjang dari mmWave seperti 24 GHz dan 28 GHz. 5G mmWave memiliki kanal *bandwidth* yang besar, sehingga dapat menghasilkan kecepatan yang setingkat dengan penggunaan kabel fiber optik [1]. Dikarenakan *bandwidth* yang besar, teknologi 5G membutuhkan penguatan sinyal yang lebih tinggi dari 4G. Hal ini dikarenakan 5G mmWave memiliki rugi-rugi propagasi dan penetrasi yang tinggi, sehingga menyebabkan daya terima yang rendah. Untuk mengatasi hal ini, maka dibutuhkan antena dengan *bandwidth* yang besar dan memiliki penguatan sinyal yang tinggi.

Antena merupakan salah satu komponen penting dalam penelitian 5G, karena antena adalah pemancar sekaligus penerima gelombang elektromagnetik. Pemilihan antena juga didasari pada keperluan pemakaian, perancangan yang benar dan jenis antena yang tepat [4]. Antena *microstrip* adalah antena yang sangat cocok untuk komunikasi 5G karena bentuknya yang kecil, *substrate* dalam ukuran milimeter, dan harga yang lebih ekonomis dari antena lainnya. Dalam

beberapa tahun ini, penelitian 5G menggunakan antenna *microstrip* banyak dilakukan. Berbagai bentuk dan desain dirancang untuk mendapatkan hasil dan parameter yang baik, mulai dari yang berbentuk lingkaran, segitiga, dan hingga persegi. Antena *microstrip* berbentuk persegi memiliki beberapa kelebihan, di antaranya adalah mudah didesain serta mudah difabrikasi. Untuk meningkatkan *gain* antena *microstrip*, digunakan teknik *array* [5]. Sementara pada penelitian [6], diketahui bahwa salah satu teknik untuk memperbesar ukuran *bandwidth* adalah dengan cara menambahkan elemen parasitik pada antena.

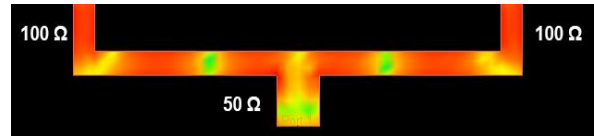
Penggunaan antena *microstrip* untuk 5G pada penelitian [7], telah mendapatkan *bandwidth* sebesar 1.046 GHz, dan penelitian [8] mencapai *bandwidth* 1 GHz dengan *gain* > 9 dBi. Oleh karena itu, pada penelitian ini target parameter yang ingin dicapai adalah *bandwidth* > 1 GHz, *gain* > 10 dBi, dan *return loss* < -10 dB. Hal ini karena nilai *return loss* dengan *insertion loss* yang rendah adalah < -10 dB, dan VSWR yang dihasilkan harus di antara 1 dan 2 [9]. Pada penelitian [10], ketebalan terbaik untuk *substrate* RT Duroid 5880 adalah 0,5 mm, dengan nilai ketebalan tersebut didapatkan frekuensi kerja yang lebih mendekati 28 GHz dan memiliki nilai puncak *gain* tertinggi dari beberapa ketebalan *substrate* lainnya.

Berbeda dengan penelitian sebelumnya [10] yang menggunakan *patch* segi empat, pada penelitian ini dirancang antena *microstrip array* 2 elemen berbentuk persegi panjang menggunakan konfigurasi *parallel feed network*. Setiap elemen *patch* pada antena ditambahkan elemen parasitik yang berfungsi untuk memperbesar *bandwidth*. *Substrate* yang digunakan adalah RT Duroid 5880 dengan nilai konstanta dielektrik 2.2 dan ketebalan *substrate* sebesar 0.5 mm. *Substrate* ini dipilih karena harga yang terjangkau dan memiliki rugi-rugi listrik kecil, sehingga cocok diaplikasikan pada frekuensi tinggi.

II. METODE PENELITIAN

Tahapan awal dari penelitian ini dimulai dengan penentuan frekuensi kerja antena yang didesain yaitu pada frekuensi mmWave sebesar 28 GHz untuk sistem komunikasi 5G [11]. Model antena yang digunakan adalah *patch* persegi panjang dengan *array* 2x1 dengan konfigurasi *parallel feed network*. Teknik pencatu menggunakan *microstrip line* yang ditambahkan 2 elemen parasitik di tepian *patch*. *Substrate* yang digunakan RT Duroid 5880 dengan ketebalan bahan (*h*) 0,5 mm, konstanta dielektrik relatif (ϵ_r) 2.2 dan *loss tangent* 0.0009.

Pada antena *patch* tunggal dihitung dimensi dari *patch* yaitu lebar (*W*) dan panjang (*L*), setelah itu dihitung dimensi dari saluran transmisi yaitu lebar saluran (W_0) dan panjang saluran (L_0). Data-data hasil perhitungan serta data bahan *substrate* digunakan untuk melakukan simulasi, yang bertujuan untuk melihat apakah hasil perhitungan antena sudah dapat bekerja dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Jika dimensi antena hasil perhitungan belum memenuhi target frekuensi, maka dilakukan optimasi melalui simulasi. Langkah yang sama dilakukan pada antena *array* dua elemen.



Gambar 1. Penyepadanan impedansi saluran transmisi

Selanjutnya, dimensi antena *array* dua elemen diperhitungkan dengan mengasumsikan impedansi saluran transmisi sebesar $Z_0 = 100 \Omega$ dan $Z_1 = 50 \Omega$. Sehingga selanjutnya diperoleh beberapa parameter dimensi lain. Dimensi *patch* elemen parasitik sama dengan *patch* pada antena *array* dan diletakkan berdekatan dengan *patch array*. Hasil simulasi dianalisis untuk memastikan target spesifikasi rancangan telah tercapai.

III. PERANCANGAN ANTENA

A. Perhitungan Dimensi Antena

1) *Panjang Gelombang*: Sebelum menentukan dimensi *patch* dan saluran transmisi, terlebih dahulu harus diketahui panjang gelombang ruang bebas (λ_0). Panjang gelombang di ruang bebas dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini [12]:

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_c} \text{ (m)} \quad (1)$$

$$\lambda_0 = 10.71428 \text{ mm}$$

dimana *c* kecepatan rambat cahaya di udara (3×10^8 m/s) dan f_c adalah frekuensi kerja dalam hal ini sebesar 28 GHz. Setelah diperoleh panjang gelombang di ruang bebas, maka panjang gelombang pada saluran transmisi λ_d dapat dihitung dengan persamaan berikut [12]:

$$\lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \text{ (m)} \quad (2)$$

$$\lambda_d = 7.22356 \text{ mm.}$$

2) *Dimensi Patch*: Lebar (*W*) dari *patch* dihitung dengan persamaan berikut [12]:

$$W = \frac{c}{2 \times f_r \times \left(\sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} \right)} \text{ (m)} \quad (3)$$

$$W = 4.2352 \text{ mm.}$$

Setelah lebar *patch* (*W*) diketahui, maka selanjutnya konstanta dielektrik efektif dihitung dengan persamaan berikut [12]:

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

$$\epsilon_{reff} = 1.98595799$$

Setelah didapatkan konstanta dielektrik efektif makaselanjutnya dilakukan perhitungan panjang *patch* (*L*) dengan menggunakan persamaan berikut [12]:

$$\Delta L = 0.412 \times h \times \frac{\left(\frac{\epsilon_{reff} + 0.3}{\epsilon_{reff} - 0.258} \right) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{\left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (5)$$

$$\Delta L = 3.285 \text{ mm.}$$

3) *Penyepadanan Impedansi Saluran Transmisi*: Impedansi karakteristik saluran transmisi pada setiap elemen

yang direncanakan adalah $Z_0 = 100 \Omega$. Saluran tersambung dengan konektor SMA *male* dengan impedansi $Z_1 = 50 \Omega$ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Sehingga untuk menyepadankan saluran dengan konektor disisipkan transformer $\lambda_d/4$, berupa saluran transmisi dengan bahan *substrate* berkonstanta dielektrik $\epsilon_r = 2.2$, ketebalan $h = 0.5$ mm, dan panjang $\lambda_d/4$. Impedansi total dihitung dengan persamaan rangkaian listrik paralel: $R_{total} = 100/2 = 50 \Omega$.

B. Perancangan Antena Mikrostrip Satu Elemen

Setelah diperoleh ukuran *patch* dan model penyepadan impedansi, dilakukan perhitungan rancangan elemen pertama yaitu dengan satu elemen. Sebelum menghitung lebar saluran transmisi, perlu dihitung terlebih dahulu variabel B dengan persamaan [12]:

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \quad (6)$$

$$B = 7.9849$$

Lebar saluran transmisi W_0 dapat dihitung dengan persamaan berikut [12]:

$$W_0 = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (7)$$

$$W_0 = 1.16631923 \text{ mm.}$$

Selanjutnya panjang saluran transmisi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [12]:

$$L_0 = \frac{1}{4}\lambda_d \quad (8)$$

$$L_0 = 1.81 \text{ mm}$$

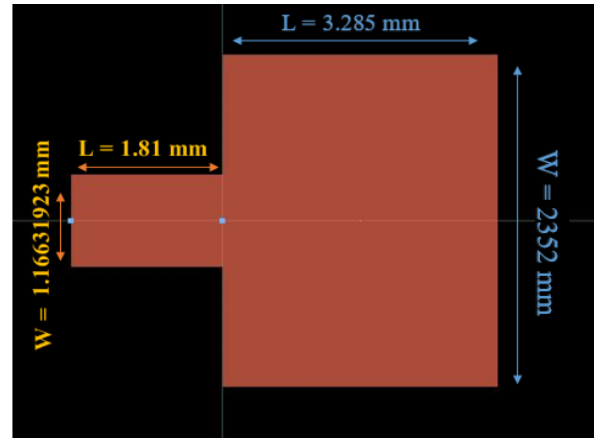
Berikutnya dilakukan simulasi pada *software* ADS, dengan menggunakan parameter hasil perhitungan di atas. Hasil simulasi pada Tabel 1 menunjukkan bahwa hasil perhitungan antena dengan satu elemen belum menghasilkan frekuensi kerja 28 GHz, namun nilai *gain* hanya mencapai 5.93 dBi. Dimensi antena *microstrip* satu elemen ditunjukkan pada Gambar 2. Dimensi ini digunakan untuk merancang saluran transmisi pada tahap berikutnya.

TABEL I
HASIL PERHITUNGAN DIMENSI DAN OPTIMASI ANTENA SATU ELEMEN

No	Parameter	Hasil Perhitungan
1	W (mm)	4.235
2	L (mm)	3.288
3	W_0 (mm)	1.166
4	L_0 (mm)	1.810
5	VSWR	1.762
6	<i>Gain</i> (dBi)	5.884
7	<i>Return Loss</i> (dB)	-11.185
8	Frekuensi (GHz)	29.350
9	<i>Bandwidth</i> (GHz)	1.100

C. Perancangan Antena Mikrostrip Array Dua Elemen

Antena *microstrip array* dua elemen merupakan pengembangan dari antena satu elemen. Pada tahap ini dilakukan perancangan dan perhitungan saluran transmisi dengan metode *parallel feed network*. Dimensi *patch* yang digunakan adalah hasil perhitungan sebelumnya.



Gambar 2. Dimensi antena mikrostrip satu elemen

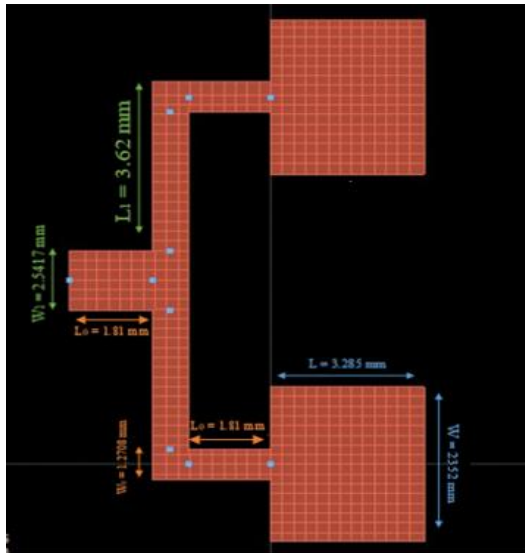
Untuk memperoleh impedansi saluran yang direncanakan sebesar 100Ω , maka dimensi saluran dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$W_T = \frac{120\pi}{Z_T} \times \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}} \text{ (mm)} \quad (9)$$

Dengan merujuk pada penyepadan impedansi pada Gambar 1, lebar kedua bagian saluran transmisi. Untuk saluran dengan $Z_0 = 100 \Omega$ diperoleh lebar *feed* sebesar $W_0 = 1.271$ mm. Sedangkan untuk saluran menuju konektor $Z_1 = 50 \Omega$ diperoleh lebar saluran $W_1 = 2.542$ mm. Untuk mempermudah dalam mendapatkan jarak antar elemen maka dapat ditentukan L_1 yang merupakan dua kali dari panjang saluran L_0 , yaitu $L_1 = L_0 \times 2$ sehingga didapatkan $1.81 \times 2 = 3.62$ mm. Dengan demikian syarat jarak antar *patch* minimal $\lambda/4$ dapat terpenuhi. Dimensi antena *array* dua elemen dapat ditabulasikan pada Tabel 2, dan gambar hasil rancangan ditunjukkan pada Gambar 3. Berdasarkan simulasi untuk antena *array* dua elemen menunjukkan bahwa frekuensi dan *bandwidth* yang dihasilkan belum mencapai target desain.

TABEL III
HASIL PERHITUNGAN DIMENSI DAN OPTIMASI ANTENA ARRAY DUA ELEMEN

No	Parameter	Hasil Perhitungan
1	W (mm)	4.235
2	L (mm)	3.288
3	W_0 (mm)	1.271
4	L_0 (mm)	1.81
5	W_1 (mm)	2.542
6	L_1 (mm)	3.62
7	VSWR	1.74
8	<i>Gain</i> (dBi)	11.263
9	<i>Return Loss</i> (dB)	-11.296
10	Frekuensi (GHz)	29.660
11	<i>Bandwidth</i> (GHz)	0.720



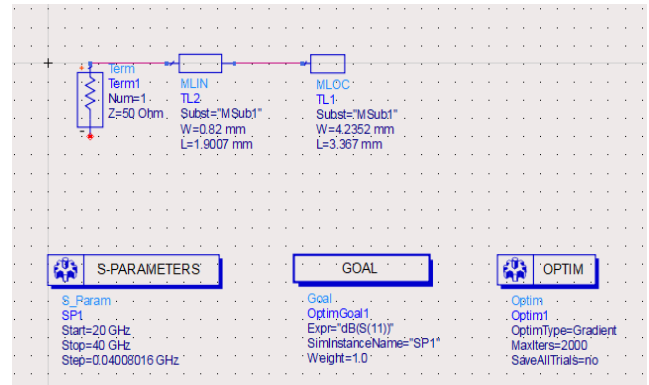
Gambar 3. Dimensi antenna mikrostrip array dua elemen

D. Penambahan Elemen Parasistik

Elemen parasistik pada dasarnya adalah *patch* yang tidak memiliki *feed line*. Bentuk elemen parasistik sendiri bisa berbentuk seperti *patch* utama atau bentuk lain yang dibutuhkan untuk desain. Pada penelitian ini digunakan bentuk dan ukuran yang sama dengan *patch* utama. Setelah seluruh dimensi antenna diperoleh, hasil desain disimulasikan untuk mendapatkan nilai parameter kinerja antenna. Hasil simulasi yang ditabulasikan pada Tabel 3 menunjukkan bahwa frekuensi kerja dengan dimensi antenna hasil perhitungan belum mencapai target rancangan frekuensi 28 GHz dan *bandwidth* > 1 GHz, sehingga perlu dilakukan optimasi. Proses optimasi dilakukan pada simulator menggunakan komponen OPTIM pada fitur schematic dengan mengatur target frekuensi (GOAL) seperti ditunjukkan pada Gambar 4.

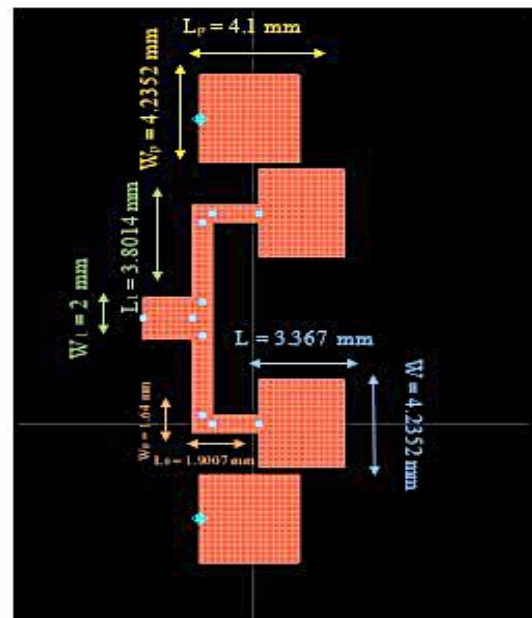
TABEL III
PERBANDINGAN HASIL PERHITUNGAN DAN OPTIMASI ANTENA MICROSTRIP
ARRAY DUA ELEMEN DENGAN ELEMEN PARASITIK

Parameter	Hasil Perhitungan	Hasil Optimasi
W (mm)	4.2352	4.2352
L (mm)	3.2879	3.367
W_0 (mm)	1.16631	1.64
L_0 (mm)	1.81	1.9007
W_1 (mm)	2.5417	2
L_1 (mm)	3.62	3.8014
W_p (mm)	4.2352	4.2352
L_p (mm)	3.2879	4.1
VSWR	1.41	1.214
Gain (dBi)	9.4872	10.107
Return Loss (dB)	-15.271	-20.292
Frekuensi (GHz)	35.35	28.00
Bandwidth (GHz)	0.840	1.53



Gambar 4. Proses optimasi dimensi patch antenna.

Tabel 3 menunjukkan hasil simulasi dari nilai perhitungan dan optimasi antenna array dua elemen yang telah dilengkapi dengan elemen parasitik. Penambahan elemen ini berhasil menaikkan bandwidth menjadi dari 0.84 menjadi 1.53 MHz, tanpa memperburuk parameter kinerja lainnya. Dimensi akhir hasil rancangan yang telah dioptimasi ditunjukkan pada Gambar 5.

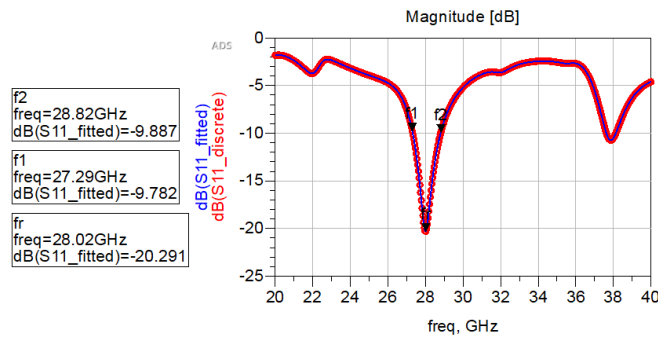


Gambar 5. Dimensi antenna mikrostrip array dua elemen dengan elemen parasitik optimasi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Return Loss

Return loss merupakan parameter yang menyatakan rugi-rugi transmisi akibat ketidak seimbangan impedansi karakteristik dan beban. Dari simulasi diperoleh nilai *return loss* (S_{11}) pada frekuensi 28 GHz sebesar -20.291 dB, seperti terlihat pada Gambar 6. Nilai *return loss* tersebut telah memenuhi spesifikasi yang diharapkan yaitu < -10 dB, sesuai standar nilai S_{11} untuk yang antenna yang baik.



Gambar 6. Grafik parameter *return loss* antenna mikrostrip persegi panjang array dua elemen dengan tambahan elemen parasitik.

B. VSWR

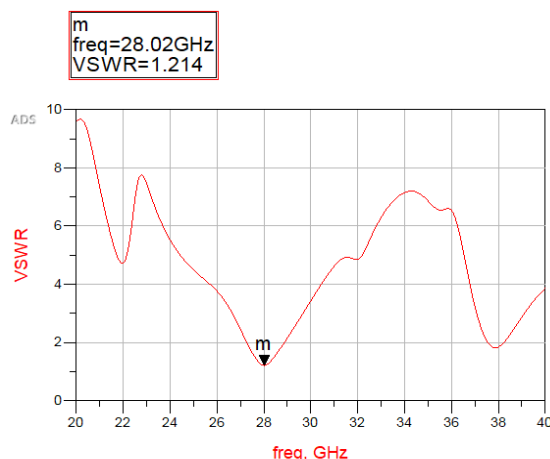
Voltage standing wave ratio (VSWR) merupakan ukuran ketidaksepadanan antara beban dengan saluran transmisi. Kondisi antenna dalam keadaan terbaik adalah ketika nilai $VSWR = 1$, artinya antenna dalam keadaan sepadan sempurna sehingga tidak ada tegangan refleksi. Dalam praktiknya nilai ini sulit didapatkan, maka biasanya ditetapkan nilai VSWR yang baik adalah antara 1 dan 2. Dari simulasi diperoleh nilai VSWR antenna yang dirancang adalah 1.2144, seperti terlihat pada *marker* yang ditunjukkan pada Gambar 7. VSWR tersebut telah memenuhi spesifikasi nilai VSWR yang baik untuk sebuah antenna, yaitu antara 1-2.

C. Gain Antena

Gain adalah *directivity* maksimum yang dihasilkan dari daya antenna yang dirancang memiliki intensitas radiasi maksimum dari antenna referensi. Pada Gambar 8 dapat dilihat *gain* antenna yang dirancang adalah 10.107 dBi. *Gain* tersebut sudah memenuhi spesifikasi yang diharapkan yaitu *gain* > 10 dBi.

D. Bandwidth

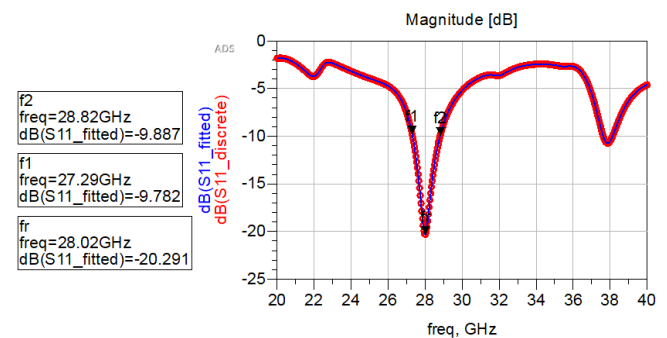
Bandwidth merupakan selisih dari frekuensi maksimum dengan frekuensi minimum yang diambil pada nilai *return loss* dibawah -10 dB. Dari grafik hasil simulasi pada Gambar 9 diperoleh *bandwidth* sebesar 1.53 GHz.



Gambar 7. Grafik parameter VSWR antenna mikrostrip persegi panjang array dua elemen dengan tambahan elemen parasitik.



Gambar 8. Grafik parameter *gain* antenna mikrostrip persegi panjang array dua elemen dengan tambahan elemen parasitik.



Gambar 9. Grafik parameter *bandwidth* antenna mikrostrip persegi panjang array dua elemen dengan tambahan elemen parasitik.

E. Directivity

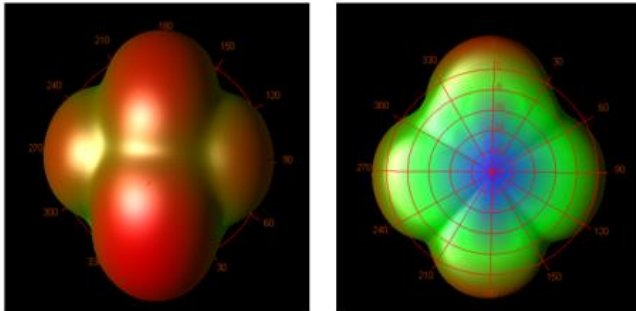
Directivity merupakan perbandingan antara intensitas daya maksimum dengan intensitas radiasi pada sumber isotropik. Pada Gambar 10 dapat dilihat nilai *directivity* dari hasil simulasi adalah 11.175 dBi.



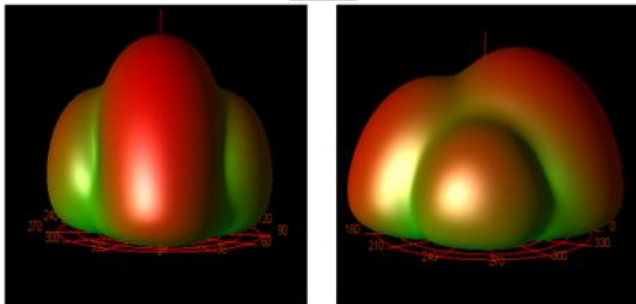
Gambar 10. Grafik parameter *directivity* antenna mikrostrip persegi panjang array dua elemen dengan tambahan elemen parasitik.

F. Pola Radiasi

Pola radiasi tampak atas dan bawah yang diperlihatkan pada Gambar 11, dan tampak depan dan samping pada Gambar 12 merupakan pola radiasi *directional*. Hal ini dapat dilihat pada *main lobe* Gambar 12, yang sepenuhnya mengarah ke atas. Perbedaan warna pada pola radiasi tersebut merupakan perbedaan nilai *gain* antenna. Warna merah menunjukkan nilai *gain* tertinggi yang dapat dilihat pada pola radiasi tampak atas, sedangkan warna biru menunjukkan nilai *gain* terendah yang terlihat pada pola radiasi tampak bawah. Dengan demikian, hasil simulasi terhadap seluruh parameter kinerja antenna *array* dua elemen dengan elemen parasitik telah memenuhi target rancangan.



Gambar 11. Pola radiasi antenna tampak atas (kiri) dan tampak bawah (kanan).



Gambar 12. Pola radiasi antenna tampak depan (kiri) dan tampak samping (kanan).

V. KESIMPULAN

Perancangan dan analisis kinerja sebuah antenna mikrostrip *array* dua elemen persegi panjang dengan tambahan elemen parasitik pada frekuensi 28 GHz telah dilakukan untuk

aplikasi 5G. Hasil simulasi yang didapatkan menunjukkan bahwa nilai parameter kinerja yang optimal, seperti *return loss*, *directivity*, VSWR, *gain*, dan *bandwidth* masing-masing sebesar -20.291 dB, 11.175 dBi, 1.214, 10.107 dBi, dan 1.53 GHz. Dibandingkan dengan desain pada penelitian sebelumnya, desain pada penelitian ini memperlihatkan kinerja yang jauh lebih baik. Hal ini dikarenakan adanya optimasi kombinasi *array* dan elemen parasitik. Oleh karena itu, antenna yang dirancang ini merupakan jenis antenna yang tepat sebagai salah satu kandidat untuk aplikasi teknologi 5G mmWave.

REFERENSI

- [1] A. F. S. Admaja, "Kajian awal 5G Indonesia (5G Indonesia early preview)," *Bul. Pos dan Telekomun.*, vol. 13, no. 2, pp. 97-144, Dec. 2015.
- [2] R. Hidayat, "Key potential analysis of 5G technology for optimal implementation: Case study in West Java," In *Proc. The 2018 International Conference on Signals and Systems (ICSigSys)*, 2017, pp. 125-130.
- [3] ICT-317669 METIS, "Scenarios, requirements and KPIs for 5G mobile and wireless system (Deliverable D1.1)," *Mob. Wirel. Commun. Enablers Twenty-twenty Inf. Soc. V1.0*, pp. 1-84, 2013.
- [4] M. Alaydrus, *Antena Prinsip dan Aplikasi*, 1st ed, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2011.
- [5] F. Ferry, S. Syahrial, H. Walidainy, and A. Ahmadiar, "Simulasi antenna mikrostrip rectangular patch array empat elemen untuk penerima FPV 5,8 GHz pada wahana UAV," *J. Komputer, Inf. Teknol. dan Elektro*, vol. 6, no. 2, pp. 15-20, Oct. 2021.
- [6] A. G. Persada *et al.*, "Perancangan rectangular microstrip antenna untuk komunikasi 5G dengan penambahan elemen parasitik," In *Proc. Conf. on Infor. Techno. And Elec. Eng.*, 2018, pp. 24-26.
- [7] M. T. Gameda, K. A. Fante, H. L. Goshu, and A. L. Goshu, "Design and analysis of a 28 GHz microstrip patch antenna for 5G communication systems," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, pp. 881-886, Feb. 2021.
- [8] N. L. Yusup, E. S. Nugraha, and P. K. Goran, "Perancangan antenna mikrostrip rectangular array untuk teknologi 5G pada frekuensi 28 GHz," *J. Telekomun. dan Komput.*, vol. 11, no. 2, pp. 100-117, Aug. 2021.
- [9] R. Jyosthna, R. A. Sunny, A. A. Jugale, and M. R. Ahmed, "Microstrip patch antenna design for space applications," In *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. Signal Process*, April 2021, pp. 406-410.
- [10] R. Swaminathan, D. Gopal, and N. S. Vanitha, "Performance analysis of microstrip patch antenna at 28GHz over Rogers RT / Duroid 5880 (tm) and Neltec NY9220 (IM)(tm) substrates with different thicknesses," *Inter. J. of Eng. Develop. and Research*, vol. 7, no. 3, pp. 352-356, 2019.
- [11] S. A. Ekawibowo, M. P. Pamungkas, and R. Hakimi, "Analysis of 5G band candidates for initial deployment in indonesia," in *Proc. 4th IEEE Int. Conf. Wirel. Telemat.*, 2018, pp. 1-6.
- [12] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, 4rd Ed, USA: John Wiley & Sons, 2016.