

Antena *Multiple Input – Multiple Output* (Mimo) Empat Elemen untuk Teknologi 5G

Four Element Multiple Input – Multiple Output (Mimo) Antenna for 5G Technology

Zhanni Maharani*, Firdaus Nursal, Uzma Septima

Politeknik Negeri Padang, Jl. Kampus, Limau Manis, Kec. Pauh, Kota Padang, Sumatera Barat 25164

Email : zhannimaharani84@gmail.com*

Abstrak - Antena *Multiple Input – Multiple Output* (MIMO) merupakan teknologi dalam komunikasi nirkabel yang menggunakan beberapa antena transmisi dan penerima untuk meningkatkan kinerja dan kecepatan komunikasi. MIMO dengan empat elemen ini memiliki koefisien korelasi rendah serta isolasi elemen yang tinggi, dengan tujuan untuk meningkatkan kualitas kinerja komunikasi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang antena *Multiple Input - Multiple Output* (MIMO) pada rentang frekuensi 2.7 GHz - 4.94 GHz dengan tujuan meningkatkan kecepatan transfer data dari antena sebelumnya. Pada parameter yang dilakukan dapat menganalisis hasil parameter yang telah didapatkan. Karena pada referensi jurnal, parameter yang diuji belum banyak dianalisa, sehingga membuat penulis tertarik melakukan uji parameter yang bisa diuji. Metode penelitian ini dirancang suatu antena MIMO menggunakan perangkat lunak CST Studio 2019 dengan substrat FR-4 Epoxy 40 x 40 mm dengan ketebalan 1,6 mm dan konstanta dielektrik 4,4. Hasil penelitian dan pengukuran menunjukkan bahwa desain antena sudah memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan, termasuk nilai return loss yang rendah dari -10 dB, memiliki bandwidth yang lebar sekitar 1700 MHz untuk simulasi dan 1100 MHz untuk pengukuran, nilai mutual coupling untuk hasil simulasi yaitu <-15 dB dan mutual coupling hasil pengukuran adalah <-20 dB, dengan nilai koefisien korelasi < 0,1 untuk hasil simulasi dan <0,25 untuk hasil pengukuran. Dengan demikian dapat disimpulkan antena ini memiliki kemampuan untuk mendukung aplikasi komunikasi 5G dengan kualitas performa yang baik memerlukan penyempurnaan untuk pengembangan lebih lanjut menjadi solusi yang efektif dalam meningkatkan efisiensi komunikasi generasi berikutnya.

Kata kunci : Antena, *Multiple Input – Multiple Output* (MIMO), CST Studio 2019

Abstract - *Multiple Input – Multiple Output* (MIMO) Antenna is a technology in wireless communications that uses several transmitting and receiving antennas to increase communication performance and speed. MIMO with four elements has a low correlation coefficient and high element isolation, with the aim of improving the quality of communication performance. This research aims to design a *Multiple Input - Multiple Output* (MIMO) antenna in the frequency range 2.7 GHz - 4.94 GHz with the aim of increasing the data transfer speed of the previous antenna. On the parameters that are carried out, you can analyze the results of the parameters that have been obtained. Because in journal reviews, the parameters tested have not been analyzed much, so the author is interested in testing parameters that can be tested. This research method designed a MIMO antenna using CST Studio 2019 software with FR-4 Epoxy substrate 40 x 40 mm with a thickness of 1.6 mm and a dielectric constant of 4.4. The research and measurement results show that the antenna design meets the specified specifications, including a low return loss value of -10 dB, has a wide bandwidth of around 1700 MHz for simulation and 1100 MHz for measurement, the mutual coupling value for simulation results is < -15 dB and mutual coupling measurement results are <-20 dB, with a correlation coefficient value of <0.1 for simulation results and <0.25 for measurement results. Thus, it can be concluded that this antenna has the ability to support 5G communication applications with good performance quality, requiring improvements for further development to become an effective solution in increasing the efficiency of next generation communications.

Keywords : Antena, *Multiple Input – Multiple Output* (MIMO), CST Studio 2019

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi komunikasi nirkabel yang dipicu oleh kebutuhan data yang semakin besar telah mengakibatkan perubahan besar dalam penetapan standar baru untuk sistem komunikasi nirkabel [1]. Dalam rangka memenuhi persyaratan data yang tinggi, evolusi jangka panjang seperti teknologi LTE, layanan berkecepatan tinggi berbasis LTE, dan layanan komersial 4G telah diadopsi sebagai standar nirkabel modern [2]. Namun setelah komersialisasi LTE, fokus bergeser ke komunikasi nirkabel generasi berikutnya, terutama dalam konteks jaringan nirkabel 5G di masa depan [3]. Standar 5G diharapkan mampu beroperasi dengan kemampuan pengiriman dan penerimaan data yang intensif dan throughput sistem yang tinggi dengan memerlukan bandwidth yang lebih luas untuk mengatasi permintaan data yang semakin besar [4].

Sistem Multiple Input – Multiple output (MIMO) meningkatkan kecepatan transmisi dengan memanfaatkan beberapa antena transmisi dan penerima pada waktu yang sama. Sistem MIMO bertujuan untuk mengoptimalkan penggunaan spektrum frekuensi yang tersedia, meningkatkan throughput, serta mengurangi dampak fading dan interferensi dalam komunikasi nirkabel [1].

Untuk mengatasi permasalahan tersebut dirancang sebuah antena *Multiple Input – Multiple Output (MIMO)* yang bekerja pada frekuensi 2,70 GHz – 4,94 GHz dengan empat elemen di mana antena L-monopole terbalik (ILA) disusun secara simetris dengan elemen yang terhubung satu sama lain, sehingga menghasilkan peningkatan bandwidth, koefisien korelasi yang rendah, dan isolasi antar elemen yang tinggi [5]. Dengan demikian antena MIMO yang diusulkan mampu berfungsi pada frekuensi LTE, WiMAX (3.3-3.8 GHz), serta untuk teknologi 5G [6].

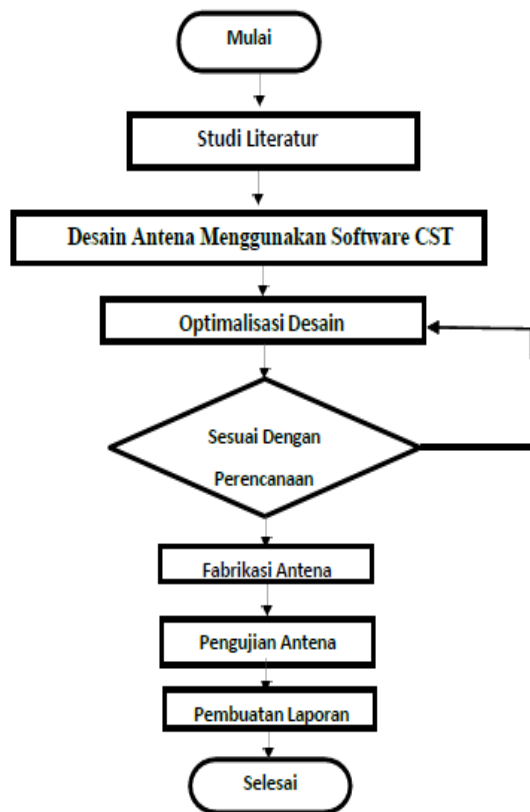
Penelitian mengenai MIMO untuk 4G telah dilakukan sebelumnya, bahwasanya kurangnya efektivitas dalam sinkronisasi sinyal 4G yang mengacu pada masalah saat mengkoordinasikan sinyal pada jaringan 4G yang dapat menyebabkan perubahan sinyal saat mencapai penerima akibat pantulan dan redaman [7]. Pada penelitian yang dilakukan diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa untuk meningkatkan isolasi yang tinggi pada antena MIMO dengan polarisasi yang sempit dan mendalam pada sudut pandang tertentu akan membantu mengurangi daya yang terkirim ke antena lain, dan dengan memastikan polarisasi antena yang berbeda pada setiap elemen antena dengan jarak dan arah yang optimal.

Antena berasal dari bahasa latin yaitu antena, yang berarti tiang kapal layar. Dalam pengertian sederhana kata latin, ini berarti juga penyentuh atau peraba. Sehingga kalau dihubungkan dengan teknik telekomunikasi, berarti antena mempunyai tugas menyelusuri jejak gelombang elektromagnetik yang mana jika hal ini antena berfungsi sebagai penerima [6]. Sedangkan jika antena berfungsi sebagai pemancar, maka tugas antena tersebut adalah menghasilkan sinyal gelombang elektromagnetik. Antena secara umum adalah alat untuk mengirim atau menerima gelombang elektromagnetik. Antena adalah alat pasif tanpa catu daya (power). Antena terhubung dengan saluran transmisi yang terdapat pada pemancar atau penerima gelombang. Setelah itu, sinyal elektromagnetik yang tertangkap dari udara kemudian diolah oleh antena menjadi sinyal listrik. Sinyal-sinyal listrik yang tertangkap oleh antena tersebut selanjutnya akan dialirkan melalui kabel. Sehingga sinyal tersebut nantinya akan difokuskan pada frekuensi tertentu [8].

Penelitian ini bertujuan untuk merancang antena Multiple Input - Multiple Output (MIMO) pada rentang frekuensi 2.7 GHz - 4.94 GHz dengan tujuan meningkatkan kecepatan transfer data dari antena sebelumnya. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengukur dan menganalisis parameter-parameter antena seperti return loss, VSWR, bandwidth, gain, polarisasi, dan isolasi. Selain itu, analisis juga dilakukan terhadap antena MIMO empat elemen untuk mendukung teknologi 5G. Pada parameter yang dilakukan dapat dianalisis hasil parameter yang telah didapatkan. Karena pada referensi jurnal, parameter yang diuji belum banyak dianalisa, sehingga membuat penulis tertarik melakukan uji parameter yang bisa diuji.

II. METODOLOGI

Alur perancangan tugas akhir ini terdiri atas beberapa tahap, dimulai dari *studi literatur*, lalu melakukan perancangan, setelah itu dilakukan optimasi untuk mendapatkan hasil yang optimal hingga dapat melakukan fabrikasi. Selanjutnya dilakukan proses pengukuran yang mana terdapat parameter – parameter antena yang akan dianalisis dan dilakukan perbandingan hasil dengan simulasi pada aplikasi CST Studio 2019. Adapun alur perancangan akan ditunjukkan pada **Gambar 1** berikut yang berbentuk diagram alir.



Gambar 1. Diagram Alur Perancangan

Penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur untuk memahami berbagai jenis antenna, karakteristiknya, dan aplikasi yang sesuai. Berdasarkan hasil studi literatur, dilakukan desain antenna menggunakan software CST dengan menentukan parameter seperti bentuk, ukuran, material, dan frekuensi operasi. Setelah desain awal dibuat, dilakukan simulasi dan optimasi untuk mencapai kinerja antenna yang optimal dengan mengubah dan menganalisis parameter antenna. Kemudian, dilakukan fabrikasi antenna menggunakan metode seperti pencetakan PCB, etsa, atau pengecoran. Antena yang telah difabrikasi diuji untuk memastikan kinerjanya sesuai dengan yang diharapkan, melalui pengukuran parameter seperti VSWR, gain, dan pola radiasi. Langkah terakhir adalah pembuatan laporan yang mendokumentasikan seluruh proses desain, fabrikasi, dan pengujian antenna, sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya.

A. Perancangan Antena Multiple Input – Multiple Output (MIMO) Empat Elemen Untuk 5G

Perancangan antenna pada tugas akhir ini menggunakan bahan substrate FR-4 dengan spesifikasi pada **Tabel I** merupakan spesifikasi

substrate dan **Tabel II** merupakan spesifikasi antenna.

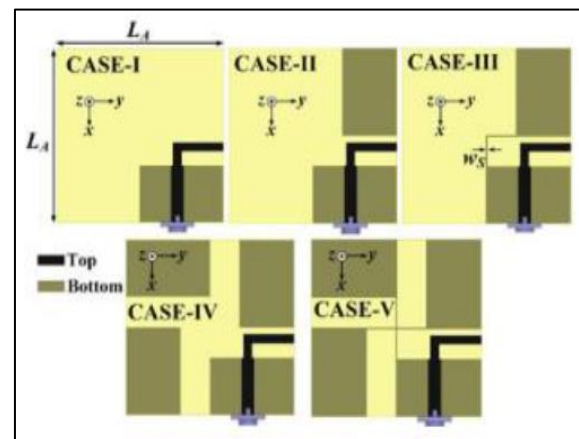
Tabel I. Spesifikasi Substrate

No	Spesifikasi Substrate	Nilai
1	<i>Dielectric constant (ϵ_r)</i>	4.4
2	Ketebalan Substrate	1.6

Tabel II. Spesifikasi Antena

No	Parameter Antena	Nilai
1	Frekuensi Kerja	2.70 – 4.94 GHz
2	<i>Return Loss (S11)</i>	≤ -10 dB
3	<i>Mutual Coupling (S21)</i>	≤ -15 dB
4	<i>Gain</i>	≥ 2 dB
5	ECC	< 0.3
6	Pola radiasi	<i>Omnidirectional</i>

Adapun desain antenna referensi dengan ukuran 40 x 40 mm seperti pada **Gambar 2** berikut :



Gambar 2. Desain MIMO 4 Elemen

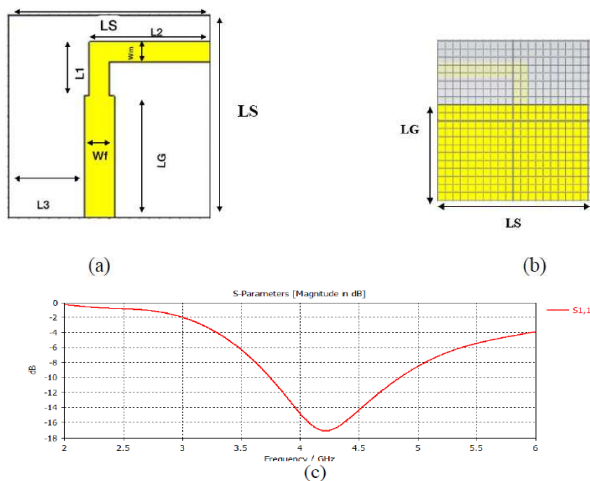
Tabel III. Parameter Desain Antena

Parameter	P	T	Ws	Wm	Wf
Nilai	0.035	1.6	0.3	2	3
Parameter	L1	L2	L3	LG	LA
Nilai	5.4	12	7.5	12	40

Langkah selanjutnya melakukan perancangan dan simulasi antenna setiap langkah dalam proses perancangan antenna dengan menggunakan aplikasi CST Studio 2019 sebagai berikut :

a) Langkah Pertama

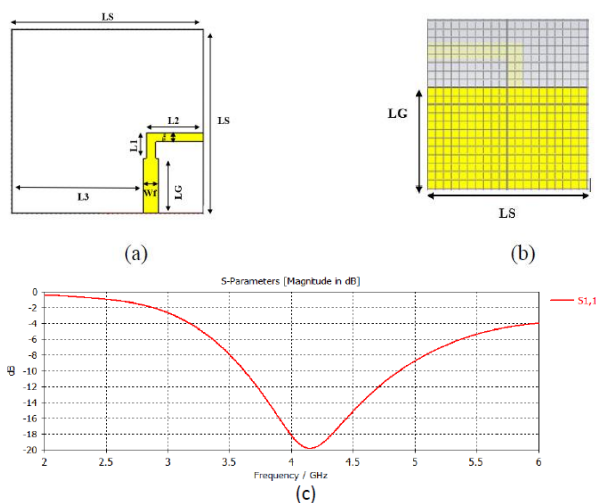
Pada langkah pertama adalah membuat ukuran substrate 20 x 20 mm. Selanjutnya membuat groundplane, dimana dalam langkah ini groundplane berbentuk setengah dari substrate dan membuat perancangan single patch dengan bentuk L terbalik. Untuk melihat desain antenna dan hasil simulasi S11 dapat dilihat pada **Gambar 3** berikut :



Gambar 3. Desain antenna dengan ukuran substrate 20 x 20 mm
a. *Single Patch*, b. *Groundplane*, c. Hasil simulasi S11

b) Langkah Kedua

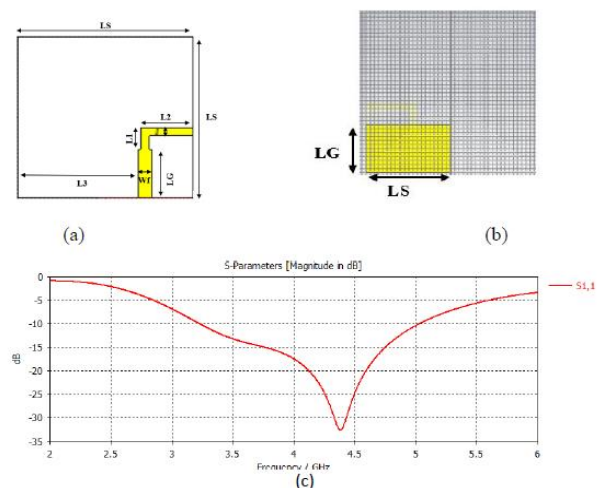
Selanjutnya melakukan perubahan ukuran pada substrate 40 x 40 mm, hal ini bertujuan untuk menghasilkan antenna MIMO dengan hasil simulasi yang lebih baik lagi. Terlihat pada hasil simulasi menunjukkan bandwidth yang melebar daripada sebelumnya. **Gambar 4** (a) menampilkan desain antenna *singlepatch*, pada gambar (b) menampilkan bentuk *groundplane*, dan gambar (c) hasil simulasi S11.



Gambar 4. Desain antenna dengan ukuran substrate 40 x 40 mm a. *Single patch*, b. *Groundplane*, c. Hasil simulasi S11

c) Langkah Ketiga

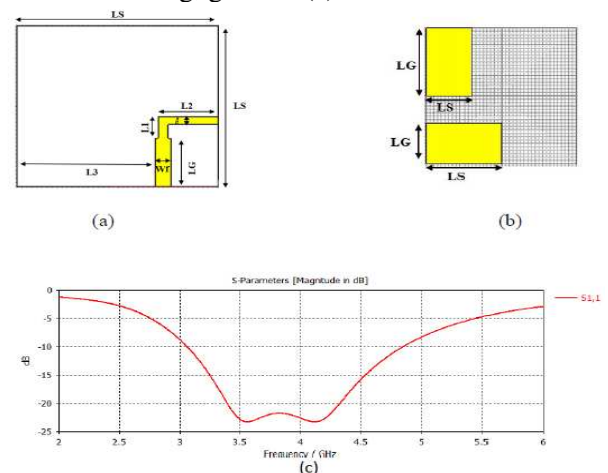
Pada langkah selanjutnya, melakukan penambahan *groundplane* yang berbentuk kotak vertikal dengan tujuan untuk melihat hasil bandwidth yang lebih melebar lagi. **Gambar 5** (a) menampilkan desain antenna *singlepatch*, pada gambar (b) bentuk *groundplane*, dan gambar (c) hasil simulasi S11.



Gambar 5. Desain antenna dengan penambahan *groundplane* yang berbentuk kotak vertikal (a). *Single patch*, (b). *Groundplane*, (c). Hasil simulasi S11

d) Langkah Keempat

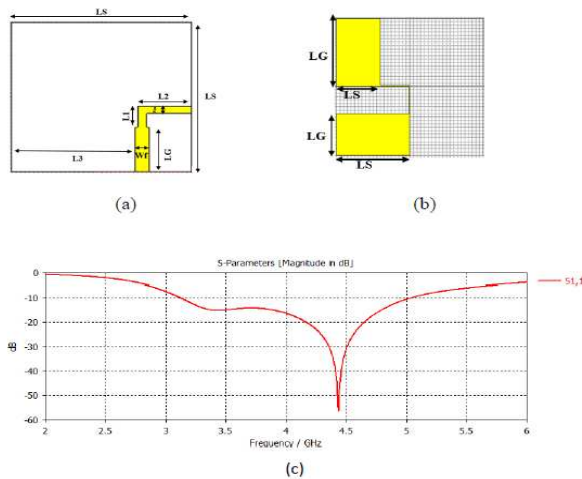
Langkah selanjutnya, melakukan penggabungan antara dua *groundplane* agar saling terhubung dan untuk melihat pelebaran *bandwidth* dari sebelumnya. Pada **Gambar 6** (a) menampilkan antenna *singlepatch*, pada gambar (b) *groundplane* sudah terhubung, gambar (c) hasil simulasi S11.



Gambar 6. Desain antenna dengan penggabungan antara dua *groundplane* (a). *Single Patch*, (b). *Groundplane*, (c). Hasil Simulasi S11

e) Langkah Kelima

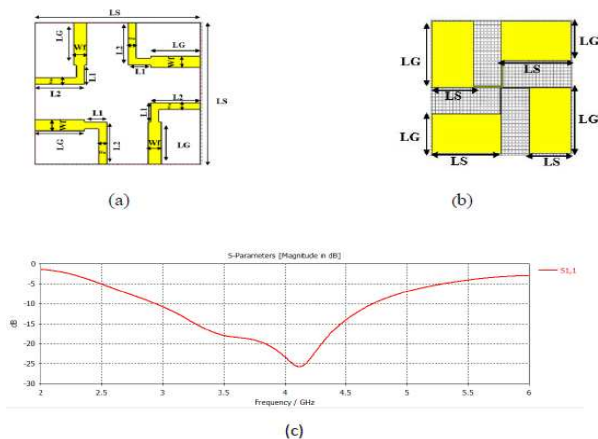
Pada langkah ini melakukan penambahan pada *groundplane* dengan 4 elemen sisi patch yang menghasilkan nilai yang lebih baik dari sebelumnya. Pada **Gambar 7** (a) menampilkan antenna *singlepatch*, pada gambar (b) bentuk *groundplane*, dan gambar (c) hasil simulasi S11.



Gambar 7. Desain antenna dengan penambahan pada *groundplane* dengan 4 elemen sisi patch (a). *Single patch*, (b). *Groundplane*, (c). Hasil simulasi S11

f) Langkah Keenam

Selanjutnya Pada langkah ini dengan menambahkan patch pada bagian masing-masing ground yang memiliki bentuk patch L terbalik, yaitu dengan empat patch dan empat bentuk *groundplane* L terbalik yang saling terhubung, sehingga sudah mendapatkan nilai terbaik. Pada **Gambar 8** (a) menampilkan antenna 4 elemen, pada gambar (b) *groundplane* yang terhubung, (c) dan hasil simulasi S11.



Gambar 8. Desain antenna dengan menambahkan patch pada bagian masing-masing ground yang memiliki bentuk patch L terbalik (a). Desain antenna dengan empat patch (empat elemen), (b). *Groundplane*, (c). Hasil simulasi S11

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Studi Parametrik

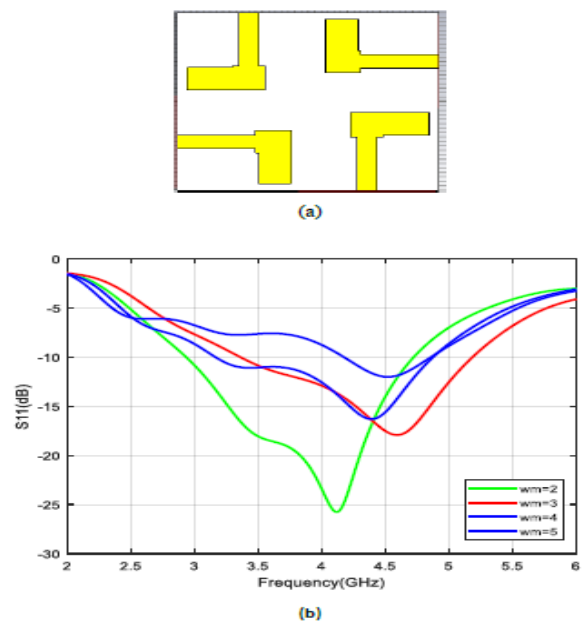
Studi parametrik didefinisikan sebagai suatu proses yang dilakukan untuk mendapatkan parameter antenna yang sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan. Studi parametrik ini dilakukan dengan menambahkan atau mengurangi nilai pada parameter antenna dengan tetap mempertahankan

parameter antenna lainnya, bagian antenna yang akan diamati adalah *patch*, *substrate*, *groundplane*, dan *slot* [9].

B. Perbandingan Nilai Return Loss

Nilai return loss merupakan hal penting yang harus diperhatikan dalam perancangan antenna. Dimana nilai *return loss* yang disimulasikan adalah ≤ -10 dB yang berarti 90% dari sinyal terserap dan 10% dari sinyal yang dipantulkan kembali sehingga dengan keadaan ini antenna dapat dikatakan matching atau dapat diartikan nilai gelombang yang direfleksikan kecil dibandingkan dengan nilai gelombang yang dipancarkan.

a) Ukuran Patch (W_m)

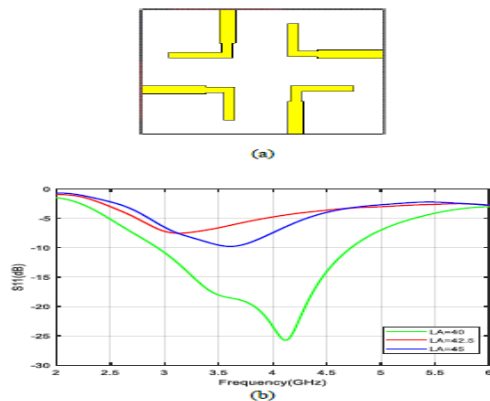


Gambar 9. Perbandingan Nilai Return Loss (a). Desain Patch (W_m) setelah di optimasi, (b). Hasil simulasi patch (W_m)

Terlihat bahwasanya pada parameter W_m dimana nilai parameter W_m sebelum di optimasi adalah 2, dan setelah dilakukan studi parametrik pada nilai $W_m = 3, 4$, dan 5 maka hasil nilai return loss tidak memiliki kedalaman dari sebelum yang di optimasi semakin besar nilai W_m maka akan semakin buruk pula nilai return loss yang didapatkan, akan tetapi antenna MIMO memerlukan nilai bandwidth yang lebar. Jika W_m bernilai < 2 maka didapatkan nilai bandwidth yang sempit, tetapi jika nilai $W_m > 2$ maka didapatkan nilai bandwidth yang lebih lebar tetapi menghasilkan nilai isolasi yang buruk, sehingga nilai W_m tidak berpengaruh untuk memperbaiki nilai yang didapatkan pada awal simulasi.

b) Ukuran *Substrate* (L_s)

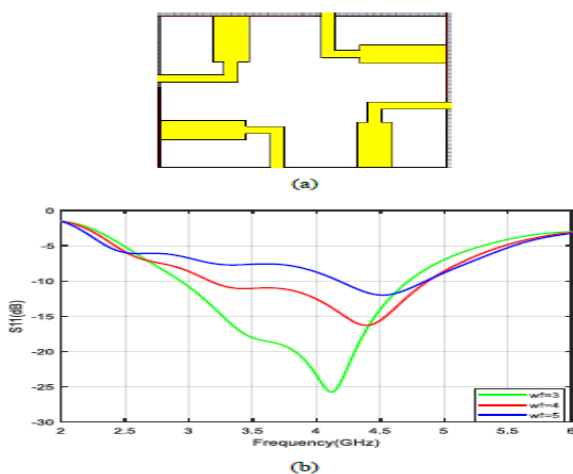
Dari **Gambar 10** terlihat bahwasanya perubahan ukuran substrate tidak berpengaruh pada hasil yang diinginkan, terlihat pada hasil simulasi pada percobaan 1 ukuran substrate 42,5 x 42,5 mm dan percobaan 2 ukuran substrate 45 x 45 mm. Pada **Gambar 10** ditampilkan hasil ukuran substrate terbaik S11 sesuai dengan referensi yaitu 40 x 40 mm, sehingga ukuran substrate tidak mempengaruhi bandwidth yang dihasilkan.



Gambar 10. Ukuran Substrate (L_s) (a). Desain (L_s) setelah dioptimasi, (b). Hasil simulasi (L_s)

c) Ukuran *Feedline* (W_f)

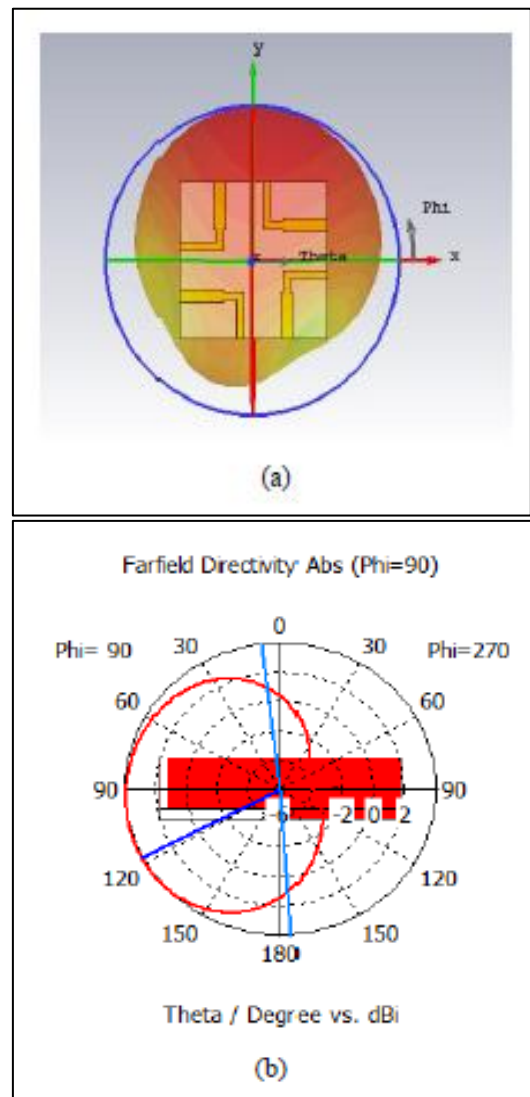
Pada **Gambar 11** menampilkan grafik terhadap W_f bernilai 3 mm maka hasil bandwidth yang dihasilkan lebar, pada saat W_f bernilai 4 mm maka bandwidth yang dihasilkan sempit, dan pada W_f bernilai 5 mm maka bandwidth yang dihasilkan lebih sempit lagi, sehingga semakin besar nilai ukuran W_f maka semakin sempit bandwidth yang didapatkan, maka W_f bernilai 3 sesuai dengan referensi mendapatkan bandwidth yang melebar lagi dengan frekuensi 2,70 GHz - 4,94 GHz.



Gambar 11. Ukuran *Feedline* (W_f) (a). Desain W_f setelah dioptimasi, (b). Hasil simulasi *Feedline* (W_f)

d) Pola radiasi

Pola radiasi menunjukkan arah pancaran dan penerima pada suatu antenna, pola radiasi juga menjelaskan bagaimana antenna meradiasikan energi ke ruang bebas, Dapat dilihat pada **Gambar 12** bahwa pola radiasi yang dihasilkan yaitu pola radiasi *omnidirectional*, yang mana pada bentuk pola radiasi ini dapat memancarkan sinyal ke segala arah.

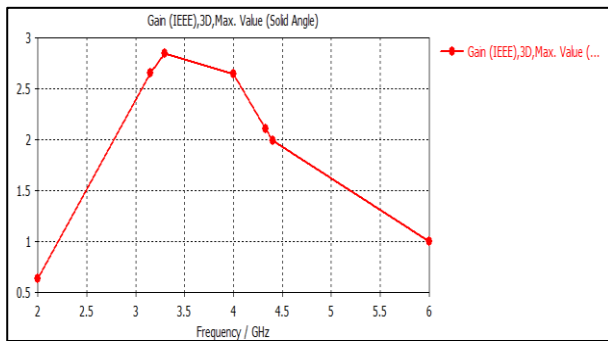


Gambar 12. Pola radiasi (a). Pola radiasi 3D, (b). Pola radiasi polar

e) Gain

Pada **Gambar 13** menampilkan gain pada antenna referensi yang menghasilkan gain dengan nilai 2,602 dBi pada frekuensi 2,70 GHz - 4,94 GHz. Dapat ditarik kesimpulan bahwasanya nilai gain yang baik yaitu besar dari 2,5 dBi, sehingga antenna dapat mengarahkan radiasi sinyal atau penerimaan sinyal dari arah tertentu. Dan semakin besar nilai suatu gain maka semakin besar

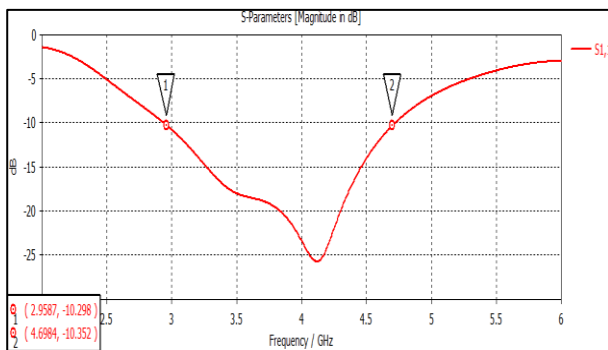
penguatannya. Antena yang memiliki gain yang tinggi diperlukan untuk memenuhi permintaan yang tinggi terhadap layanan komunikasi wireles, sehingga *coverage* layanan semakin luas.



Gambar 13. Gain pada antenna referensi

f) Bandwidth

Bandwidth antenna dapat didefinisikan sebagai range frekuensi kerja dari antenna yang menunjukkan batas atas dan batas bawah dari frekuensi yang digunakan oleh antenna dalam pemancarnya [10]. Pemakaian sebuah antenna dalam sistem pemancar atau penerima selalu dibatasi oleh daerah frekuensi kerjanya. Daerah frekuensi kerja dimana antenna dapat bekerja dengan baik. Pada **Gambar 14**, *bandwidth* dapat dilihat dari hasil simulasi yang mana rentangan bandwidth yang melebar.



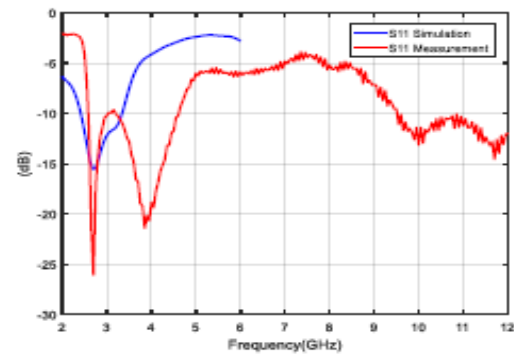
Gambar 14. Hasil return loss pada S11

2. Analisis Perbandingan Hasil Simulasi Sesuai Referensi Dengan Hasil Pengukuran

a. Perbandingan Return Loss

Pada **Gambar 15** hasil simulasi dan pengukuran dapat dilihat bahwa hasil *return loss* dibawah -10 dB, bahwasannya nilai dari simulasi yaitu -25,75 dB dengan *bandwith* yang lebih melebar pada frekuensi 4,1 GHz. Sedangkan pada pengukuran didapatkan nilai -21,39 dB pada frekuensi 3,7 GHz, oleh karena itu bandwidth pada hasil simulasi lebih baik dibandingkan dengan hasil pengukuran. Perbandingan antenna yang diuji dengan antenna hasil penelitian orang lain yaitu Antena yang diuji memiliki nilai Return Loss yang

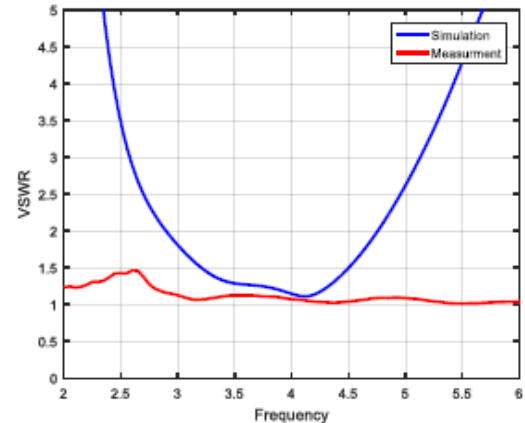
lebih tinggi (-20,12 dB) dibandingkan dengan antenna penelitian orang lain (-19 dB). Ini menunjukkan bahwa antenna yang diuji memiliki kemampuan yang sedikit lebih baik untuk meredam sinyal yang dipantulkan kembali.



Gambar 15. Perbandingan Return Loss

b. Perbandingan VSWR

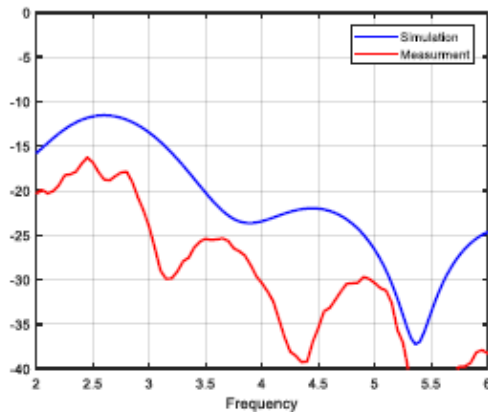
Pada hasil VSWR dapat dilihat bahwa hasil dari pengukuran lebih konstan dibandingkan dengan simulasi, adapun perbandingan VSWR simulasi dengan pengukuran dapat dilihat pada **Gambar 16** pada pengukuran nilai VSWR terbaik bernilai 1 pada rentang frekuensi 2 GHz-12 GHz, sedangkan pada hasil simulasi didapatkan nilai terbaik 1,25 pada rentang frekuensi 2 GHz – 6 GHz.



Gambar 16. Perbandingan VSWR

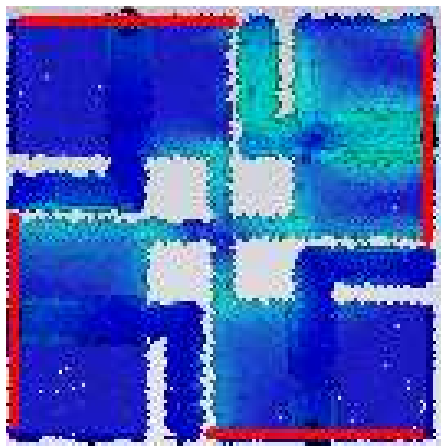
c. Perbandingan Isolasi

Terlihat pada **Gambar 17** bahwasanya grafik hasil isolasi simulasi dan pengukuran hampir sama. Pada hasil simulasi didapatkan nilai *mutual coupling* -15 dB sedangkan pada hasil pengukuran didapatkan nilai *mutual coupling* -20 dB, maka nilai *mutual coupling* yang dihasilkan pada pengukuran dengan rentang frekuensi 2,7 GHz – 4,94 GHz dengan bandwidth 2200 MHz, lebih baik dibandingkan hasil simulasi dengan rentang frekuensi 3,1 GHz – 4,94 GHz dengan bandwidth 1800 MHz.



Gambar 17. Perbandingan Isolasi antara simulasi dan modifikasi

Parameter lain yang dapat melihat isolasi untuk mengurangi *mutual coupling* adalah distribusi arus, **Gambar 18** berikut menampilkan distribusi arus pada antenna modifikasi, terlihat bahwasanya arus konsentrasi pada suatu antenna tanpa adanya pemancaran arus pada antenna lainnya.



Gambar 18. Distribusi Arus

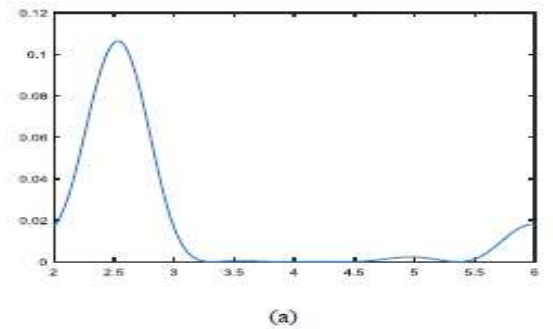
Perbandingan antenna yang diuji dengan antenna hasil penelitian orang lain yaitu Antena yang diuji memiliki VSWR sebesar 1,25, yang menunjukkan kecocokan impedansi yang baik. Namun, informasi tentang VSWR dari antenna penelitian orang lain tidak disediakan.

Antena yang diuji memiliki VSWR sebesar 1,25, yang menunjukkan kecocokan impedansi yang baik. Namun, informasi tentang VSWR dari antenna penelitian orang lain tidak disediakan.

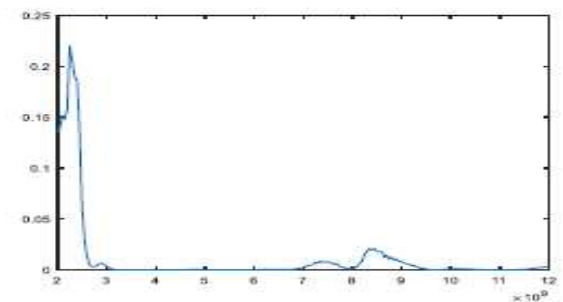
d. Perbandingan Koefisien Korelasi

Parameter dari antenna MIMO salah satunya adalah koefisien korelasi atau *Enveloper Correlation Coefficient* (ECC) yang mana ECC

ini akan menyatakan tingkat kesamaan sinyal yang diterima masing – masing antenna.



(a)



(b)

Gambar 19. Perbandingan koefisien korelasi hasil simulasi dan hasil pengukuran (a) antenna hasil simulasi dan (b) antenna hasil pengukuran

Merupakan perbandingan ECC (a) antenna hasil simulasi dan (b) antenna hasil pengukuran, pada hasil simulasi didapatkan nilai ECC < 0,1 dan pada antenna hasil pengukuran didapatkan nilai ECC < 0,25 sehingga hal ini mendapatkan nilai ECC yang baik, karena nilai ECC yang baik memiliki rentang 0 - 1, semakin mendekati 0 maka antar antenna tidak saling berkorelasi.

Tabel IV. Perbandingan Simulasi dan Pengukuran

No	Parameter	Hasil Simulasi	Pengukuran
1	<i>Return Loss</i>	-25,67	-20,12
2	VSWR	1	1,25
3	Isolasi (dB)	< -15 2 GHz – 6 GHz	<-20 2 GHz – 12 GHz
4	<i>Bandwidth</i> (MHz)	1700	1100

Tabel diatas menampilkan perbandingan antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran, sehingga didapatkan hasil simulasi lebih baik dibandingkan dengan hasil pengukuran.

3. Spesifikasi Antena MIMO 4 Elemen

Secara teknis antenna MIMO bisa digunakan karena secara spesifikasi antenna

sudah memenuhi standar, apabila telah memenuhi parameter yang sesuai untuk penggunaan teknologi 5G. Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel V. Hasil Pegukuran Antena

No	Parameter Antena	Hasil Pengukuran Antena Fabrikasi	Hasil Pengukuran Antena Referensi
1	Frekuensi Kerja	2,7 GHz – 4,94 GHz	5 GHz
2	<i>Return Loss</i>	-20,12 dB	-30 dB
3	VSWR	1,25	1
4	Isolasi (dB)	<-20 dB	-
5	<i>Bandwidth</i> (MHz)	1100 MHz	100 MHz
6	ECC	0,25	0,05
7	Polaradiasi	<i>Omdirectional</i>	<i>Omdirectional</i>

Pada hasil pengukuran, kinerja antena *multiple input – multiple output* (MIMO) 4 elemen yang memiliki bentuk L terbalik diatur secara simetris dengan koneksi antar bidang yang saling terhubung. Bentuk ini mendukung peningkatan lebar pita, yang bekerja pada frekuensi 2,70 GHz – 4,94 GHz, memberikan hasil yang maksimal untuk masing – masing parameter, dengan lebar pita sebesar 1100 MHz, VSWR sebesar 1,25, isolasi sebesar <- 20 dB, *return loss* sebesar -20,12 dB, ECC sebesar 0,25 dan pola radiasi *omnidirectional*. Dengan memenuhi parameter teknis dan kriteria yang baik, antena MIMO dapat secara efektif digunakan untuk teknologi 5G.

4. Perbandingan Hasil Pengukuran

Perbandingan hasil pengukuran antena MIMO 4 elemen pada frekuensi 2,7 GHz – 4,9 GHz dengan antena mimo 4 elemen pada frekuensi 5 GHz.

Antena yang diuji memiliki bandwidth sebesar 1100 MHz, sementara antena penelitian orang lain memiliki bandwidth yang lebih luas, yaitu 4,1 GHz. Ini menunjukkan bahwa antena penelitian orang lain dapat digunakan dalam spektrum frekuensi yang lebih besar.

Dalam perbandingan ini, tentang kinerja antena tergantung pada prioritas dan kebutuhan spesifik aplikasi. Jika lebar bandwidth adalah faktor kritis, antena penelitian orang lain mungkin lebih cocok. Namun, jika fokus pada isolasi dan Return Loss, antena yang diuji

mungkin memberikan kinerja yang lebih baik dalam konteks tersebut

Jika fokus utama adalah pada isolasi, Return Loss, dan VSWR, antena yang diuji dapat memberikan peningkatan kinerja dibandingkan dengan antena sebelumnya (penelitian orang lain). Jika lebar bandwidth menjadi faktor kritis untuk meningkatkan kecepatan transfer data, maka mungkin perlu mempertimbangkan opsi antena dengan bandwidth yang lebih besar, seperti yang ditemukan dalam penelitian orang lain.

Multiple Input Multiple Output (MIMO) adalah salah satu teknik yang tetap dipertahankan dan bahkan ditingkatkan penggunaannya pada 5G untuk menunjang peningkatan laju data yang sangat tinggi. Pada penelitian ini dilakukan perancangan dan realisasi antena MIMO empat elemen untuk komunikasi 5G pada frekuensi 2,7 – 4.9 GHz. Frekuensi ini dipilih karena middle frequency dianggap lebih berpeluang untuk dijadikan frekuensi layanan 5G di Indonesia serta memiliki cakupan yang lebih besar sehingga menghemat biaya pengembangan jaringan. Untuk memenuhi kebutuhan bandwidth 5G yang besar, kemudian dilakukan miniaturisasi agar antena berdimensi lebih kecil. Hasilnya, pada hasil simulasi memperoleh nilai return loss sebesar -25,67 dB, nilai mutual coupling sebesar -15 dB, VSWR sebesar 1, nilai gain 2,6, pola radiasi *omnidirectional* dan lebar bandwidth 1700 MHz. Hasil pengukuran antena yang didapatkan pada fabrikasi memperoleh nilai return loss sebesar -20,12 dB, nilai mutual coupling sebesar -20 dB, VSWR sebesar 1,25, dan lebar bandwidth 1100 MHz. Dengan hasil parameter yang optimal dapat menghasilkan pita yang lebar sehingga bisa digunakan untuk teknologi 5G.

Tabel VI. Hasil parameter untuk teknologi 5G

No	Parameter	Pengukuran
1	Frekuensi Kerja	2,7 GHz – 4,94 GHz
2	<i>Return Loss</i>	-20,12 dB
3	VSWR	1,25
4	Isolasi (dB)	<-20 dB
5	<i>Bandwidth</i> (MHz)	1100 MHz
6	ECC	0,25
7	Polaradiasi	<i>Omdirectional</i>

Penelitian ini difokuskan pada pengembangan antena Multiple Input – Multiple Output (MIMO) dengan empat elemen

untuk mendukung teknologi 5G. Langkah pertama dalam penelitian ini adalah melakukan studi literatur untuk memahami konsep dasar MIMO dan karakteristik antena yang sesuai dengan kebutuhan 5G. Berdasarkan hasil studi literatur, dilakukan desain antena menggunakan perangkat lunak simulasi elektromagnetik seperti CST. Desain ini mencakup penentuan parameter seperti bentuk, ukuran, material, dan frekuensi operasi yang optimal untuk mencapai kinerja yang diinginkan.

Setelah desain awal dibuat, dilakukan simulasi dan optimasi untuk memastikan kinerja antena mencapai tingkat optimal. Proses simulasi ini melibatkan pengujian berbagai parameter antena dan penyesuaian desain untuk meningkatkan kinerja. Selanjutnya, antena difabrikasi menggunakan metode yang tepat, seperti pencetakan PCB atau etsa, dan kemudian diuji secara eksperimental. Pengujian antena meliputi pengukuran parameter seperti VSWR, gain, dan pola radiasi untuk memvalidasi kinerja sesuai dengan yang diharapkan.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang antena Multiple Input – Multiple Output (MIMO) dengan empat elemen menggunakan aplikasi CST Studio 2019. Antena ini memiliki ukuran 40 x 40 mm dengan PCB FR-4 Epoxy ketebalan 1,6 mm dan konstanta dielektrik 4,4. Frekuensi kerjanya adalah 2,70 GHz – 4,94 GHz, yang bertujuan untuk meningkatkan kecepatan transfer data dari antena sebelumnya dalam mendukung teknologi 5G. Dari hasil simulasi, antena ini menunjukkan performa yang baik dengan nilai return loss mencapai -25,67 dB, mutual coupling sebesar -15 dB, VSWR sebesar 1, gain 2,6, pola radiasi omnidirectional, dan lebar bandwidth mencapai 1700 MHz. Hal ini menunjukkan bahwa antena mampu memberikan kinerja yang optimal sesuai dengan yang diharapkan dalam simulasi. Pengukuran antena pada tahap fabrikasi menghasilkan nilai return loss sebesar -20,12 dB, mutual coupling sebesar -20 dB, VSWR sebesar 1,25, dan lebar bandwidth mencapai 1100 MHz. Meskipun terdapat perbedaan dengan hasil simulasi, parameter-parameter ini masih menunjukkan performa yang memadai untuk mendukung teknologi 5G dengan pita lebar. Dengan demikian, antena ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan infrastruktur komunikasi yang mendukung kebutuhan 5G di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Chen, "Performa 4 x 4 MIMO dari Dua Antena Wideband Ganda yang Disatukan Termasuk Efek Feedline untuk Smartphone 5G," hlm. 1–6, 2020.
- [2] Y. H. Chen, K. L. Wong, and W. Y. Li, "4 × 4 MIMO performance of two conjoined dual wideband antennas including the feedline effects for 5G smartphones," *Asia-Pacific Microw. Conf. APMC*, *J. Proc.*, vol. 5(3), hlm. 1488–1490, 2019.
- [3] D. Sarkar and K. V. Srivastava, "A Compact Four-Element MIMO / Diversity Antenna," *IEEE Antennas Wirel., Propag Lett.*, vol. 16, hlm. 2469–2472, 2017.
- [4] I. P. I. Uly, W. Nugraha, N. Gunantara, I. Diafari, and D. Hartawan, "ANALISIS PENGUKURAN KUALITAS LAYANAN PADA JARINGAN 4G," vol. 8 (1), hlm. 85–94, 2021.
- [5] F. Urimubenshi, D. B. O. Konditi, J. de D. Iyakaremye, P. Mpele, and A. Munyaneza, "A novel ahlmroach for low mutual coupling and ultra-compact Two Port MIMO antenna development for UWB wireless ahlmlication," *J. Heliyon*, vol. 8 (3), 2022.
- [6] H. Nguyen, F. Zheng, and T. Kaiser, "Antenna selection for time reversal MIMO UWB systems," *IEEE Veh.*, 2009, [Online]. Available: doi: 10.1109/VETECS.2009.5073403.
- [7] D. Rusdiyanto, D. W. Astuti, M. Muslim, S. Alam, and Y. G. Adhiyoga, "Design of 2x2 Wide Bandwidth MIMO Antenna For LTE And 5G Sub-6GHz," *J. Informatics Telecommun.*, vol. 5 (2), p. hlm.225–238, 2022, [Online]. Available: doi: 10.31289/jite.v5i2.5699.
- [8] Nurhayati, L. Anifah, and I. G. P. A. Buditjahjanto, "Optimasi Kinerja Antena Mikrostrip Dengan Modifikasi Patch Dan Ground Plane Untuk Aplikasi," *J. Tek. Elektro*, vol. 11 (1), hlm. 155–162, 2022.
- [9] W. A. Syafei, "Implementation of K-Best method for MIMO decoder in WLAN 802.11n," *ICITACEE*, hlm. 417–421, 2016, [Online]. Available: doi: 10.1109/ICITACEE.2015.7437841.
- [10] M. Z. Zulfikar, H. Ludyati, and D. Saefudin, "Antena Mikrostrip MIMO 4 × 4 Frekuensi 1800MHz dengan Dielektrik Artifisial," *Semin J.*, vol. 11 (1), hlm. 26–27, 2020.