

Desain Antena Microstrip MIMO 2x2 dengan *Defected Ground Structure* (DGS) untuk Implementasi Teknologi 5G pada Frekuensi 26 GHz

Design of Microstrip Antenna MIMO 2x2 with Defected Ground Structure (DGS) for 5G Technology Implementation at 26 GHz Frequency

Erisa Fresti Fadlillah¹, Alfin Hikmaturokhman², Petrus Kerowe Goran³

^{1,2,3} Telkom University, Departemen Teknik Elektro

Jl. DI Panjaitan N0. 128, Purwokerto Selatan, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah 53147, (0281) 641629

Informasi Makalah

Dikirim, 15 Januari 2024
Diterima, 5 Desember 2024
Diterbitkan, 20 Desember 2024

Kata Kunci:

Antena patch square, Multi Input-Multi Output (MIMO), Defected Ground Structure (DGS), U-Slot

Keyword:

Antena patch square, Multi Input-Multi Output (MIMO), Defected Ground Structure (DGS), U-Slot

INTISARI

Saat ini, teknologi komunikasi nirkabel telah mencapai generasi kelima, yang dikenal sebagai teknologi telekomunikasi 5G. Teknologi 5G telah mulai diterapkan di Indonesia, meskipun belum sepenuhnya menjangkau seluruh wilayah. Salah satu keunggulan teknologi 5G adalah kemampuannya untuk menyediakan kapasitas besar bagi pengguna, namun kelemahannya terletak pada cakupan area yang terbatas. Penelitian ini berfokus pada perancangan antena untuk implementasi teknologi 5G dengan frekuensi kerja 26 GHz, bertujuan untuk meningkatkan jangkauan sinyal dan memperluas cakupan dibandingkan antena 5G konvensional. Antena yang dirancang adalah antena microstrip dengan bentuk patch persegi (*patch square*), disusun dalam konfigurasi *array Multi Input-Multi Output (MIMO) 2x2* menggunakan metode *Defected Ground Structure (DGS)*. Desain ini juga mencakup penambahan metode U-Slot dan *inset feed* pada *patch antena*, menghasilkan dimensi akhir sebesar 33,77 mm x 7,63 mm. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada frekuensi kerja 26 GHz, antena ini memiliki nilai *return loss* (S11) sebesar -11,079 dB, VSWR 1,775, *bandwidth* 125 MHz, dan gain 5,725 dBi. Selain itu, desain antena ini menghasilkan koefisien korelasi sebesar 0,070377, nilai *mutual coupling* -50,477 dB, dan pola radiasi *unidirectional*.

ABSTRACT

At present, wireless communication technology has reached the fifth generation, known as 5G telecommunication technology. 5G technology has been implemented in Indonesia, although it has not yet fully covered all regions. One of the advantages of 5G technology is its ability to provide large capacity for users; however, its limitation lies in the small coverage area. This research focuses on designing an antenna for the implementation of 5G technology operating at a frequency of 26 GHz, aiming to extend the signal range and broaden the coverage compared to conventional 5G antennas. The designed antenna is a microstrip antenna with a square patch shape, configured in a 2x2 Multi Input-Multi Output (MIMO) array using the Defected Ground Structure (DGS) method. The design also incorporates the U-Slot method and inset feed on the patch antenna, resulting in a final dimension of 33.77 mm x 7.63 mm. Simulation results show that at the operational frequency of 26 GHz, the antenna achieves a return loss (S11) of -11.079 dB, a VSWR of 1.775, a bandwidth of 125 MHz, and a gain of 5.725 dBi. Additionally, the antenna design yields a correlation coefficient of 0.070377, a mutual coupling value of -50.477 dB, and a unidirectional radiation pattern.

Korespondensi Penulis:

Alfin Hikmaturokhman

Telkom University

Jl. DI Panjaitan N0. 128, Purwokerto Selatan, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah 53147, (0281) 641629

Email : alfinh@telkomuniversity.ac.id

1. PENDAHULUAN

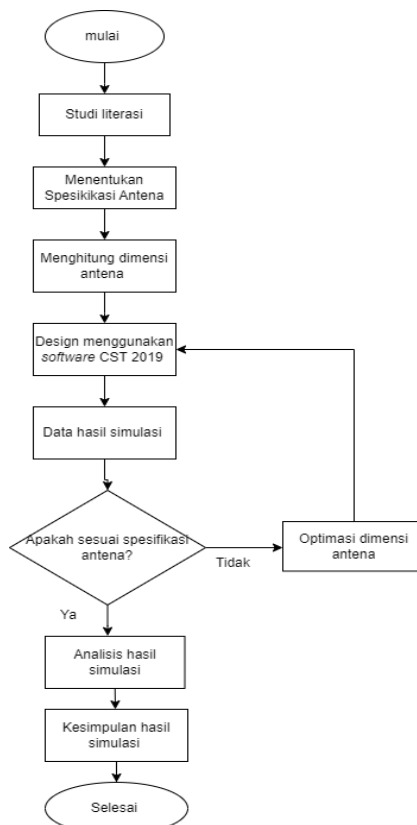
Perkembangan teknologi semakin meningkat dari masa ke masa. Dengan meningkatnya teknologi maka trafik pelanggan pun meningkat[1]. Dengan ini maka diperlukan komunikasi yang handal untuk mempercepat akses data yang dibutuhkan oleh pelanggan. Teknologi 5G memberikan layanan peningkatan kecepatan data 10 hingga 100 kali lebih cepat [2], [3]. Untuk memenuhi kebutuhan *data rate*, diharapkan akan digunakan teknologi baru yaitu *Multiple Input* dan *Multiple Output* (MIMO) [4]. Teknologi ini memiliki sistem multi antenna [5]. Antena merupakan alat yang bersifat pasif dalam dunia telekomunikasi dan digunakan untuk mengirim serta menerima sinyal elektromagnetik. Pada penelitian ini antena yang dibuat untuk aplikasi teknologi 5G menggunakan frekuensi tinggi [6] [7], [8], [9]. Salah satu jenis antena yang sesuai untuk teknologi 5G adalah antena mikrostrip. Antena mikrostrip merupakan antena yang berukuran kecil, dan mudah di buat, tetapi antena mikrostrip memiliki kekurangan yaitu dengan *bandwith* yang sempit[10].

Permasalahan yang muncul adalah bagaimana mendesain suatu antena dapat mendukung teknologi 5G. Harapannya adalah dengan menggunakan antena desain ini, maka memudahkan pengguna mengakses jaringan teknologi 5G, sekalipun pengguna tidak berada dalam jangkauan jaringan 5G. Sehingga, aplikasi desain antena ini memudahkan pengguna. Pada penelitian ini menggunakan antena mikrostrip yang diimplementasikan pada teknologi 5G dengan menggunakan frekuensi 26 GHz [11]. Jenis antena yang dipakai yaitu antena mikrostrip *patch square* dengan penambahan metode *defected ground structure* (DGS) serta U – Slot, dan menggunakan teknik *array* MIMO 2x2. Penelitian ini menggunakan bahan material berupa RT Duroid 5880 dengan ketebalan bahan 0,035 mm serta permitivitas bahan 2,2. Perancangan antena ini menggunakan *software* simulasi CST 2019.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dalam beberapa tahap yaitu tahap studi literasi atau mengkaji jurnal-jurnal terkait untuk dijadikan referensi, kemudian setelah itu merumuskan masalah serta melakukan pengumpulan data-data yang kemudian melakukan perancangan dimulai dengan menghitung dimensi antena untuk kemudian akan di desain. Setelah melakukan desain maka tahap selanjutnya yaitu tahap pengujian hasil, yang kemudian akan di analisa, setelah itu hasil analisa akan ditarik kesimpulan dari hasil simulasi yang sudah dibuat.

Pada Gambar 1 dapat dilihat mengenai alur penelitian setelah melakukan literasi penelitian ini, maka menentukan spesifikasi dari alat yang dibuat dan hasil akhir seperti apa yang diinginkan. Lalu melakukan perhitungan terkait dimensi antena. Jika sudah sesuai dengan hasil parameter yang diinginkan maka membuat kesimpulan hasil simulasi.



Gambar 1. Alur Penelitian

2.1. Perhitungan Dimensi Antena

Pada perhitungan ini merupakan perhitungan dari dimensi antena yang digunakan untuk mengetahui nilai dari ukuran antena yang akan didesain pada *software* simulasi CST *Studio Suite* 2019. Perhitungan dimensi ini meliputi perhitungan dimensi *patch*, dimensi *substrate*, saluran pencatu dan *groundplane*. Berikut merupakan perhitungan dimensi antena.

2.1.1. Menentukan Frekuensi Tengah

Pada perancangan antena ini, menentukan antena mikrostrip yang dapat bekerja pada frekuensi 26 GHz, dengan demikian frekuensi tengah yang dimiliki pada rentang yang telah ditetapkan dapat ditentukan dengan persamaan 1 yaitu sebagai berikut

$$\text{Frekuensi kerja} = 25 \text{ GHz} - 27 \text{ GHz}$$

Maka

$$\begin{aligned} f_c &= \frac{f_2 + f_1}{2} \quad [12] \\ &= \frac{27000 + 25000}{2} \\ &= 26000 \text{ MHz} / 26 \text{ GHz} \end{aligned} \quad (1)$$

2.1.2. Dimensi Patch Persegi

Untuk menghitung lebar elemen *patch* antena dengan menggunakan frekuensi kerja 26 GHz dan konstanta dielektrik (ϵ_r) sebesar 2,2 dengan menggunakan persamaan 2

a. Lebar *Patch*

$$\begin{aligned} W &= \frac{c}{2f} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad [13] \\ &= \frac{3 \times 10^8}{2 \times 26 \times 10^9} \sqrt{\frac{2}{2,2+1}} \\ &= 4,560 \text{ mm} \end{aligned} \quad (2)$$

b. Panjang *Patch*

$$\begin{aligned} L &= L_{eff} - 2\Delta L \quad [13] \\ &= 3,913 - 2(0,01876) \\ &= 3,875 \text{ mm} \end{aligned} \quad (3)$$

2.1.3. Dimensi Saluran Pencatu

Untuk mendapatkan karakteristik impedansi saluran pencatu yang diinginkan dengan impedansi saluran catu (Z_0) 50 Ω sedangkan untuk mendapatkan nilai lebar saluran pencatu (W_f) [14]

$$\text{Impedansi input} = 50 \Omega$$

$$B = \frac{60 \pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{60 \pi^2}{50 \sqrt{2,2}} \\ &= 7,984 \end{aligned}$$

$$W_f = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2 \epsilon_r} \left[\ln(B - 1) 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{2 \times 0,035}{\pi} \left\{ 7,984 - 1 - \ln(2 \times 7,984 - 1) + \frac{2,2-1}{2 \times 2,2} \left[\ln(7,984 - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{2,2} \right] \right\} \\ &= 0,1096 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kemudian $\frac{W_f}{h} = \frac{0,1096}{0,035} = 3,131$ atau (> 1) maka dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \epsilon_{eff} &= \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{W_f} \right)^{-0,5} \\ &= \frac{2,2+1}{2} + \frac{2,2-1}{2} \left(1 + \frac{12 \times 0,035}{3,131} \right)^{-0,5} \\ &= 2,163 \text{ mm} \end{aligned} \quad (6)$$

Nilai frekuensi = 26 GHz maka untuk mencari panjang gelombang pada udara bebas dapat menggunakan persamaan 2.23, sedangkan untuk mencari panjang gelombang pada bahan dielektrik dapat menggunakan persamaan 2.22 yaitu sebagai berikut :

$$\lambda_o = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{26 \times 10^9} = 0,01153 = 11,53 \text{ mm} \quad (7)$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} = \frac{11,53}{\sqrt{2,163}} = 7,839 \text{ mm}$$

Dan untuk mencari panjang saluran pencatu dapat menggunakan persamaan 2.21 yaitu sebagai berikut :

$$L_f = \frac{1}{4} \lambda_g = \frac{1}{4} \times 7,839 = 1,959 \text{ mm} \quad (8)$$

2.1.4. Menghitung Lebar Substrate / Groundplane

Untuk menentukan lebar *substrate* atau *groundplane* dapat menggunakan persamaan 2.2 yaitu sebagai berikut [13]:

$$\begin{aligned} W_g &= W + 6h \\ &= 4,560 + 6 (0,035) \\ &= 4,77 \text{ mm} \end{aligned} \quad (9)$$

2.1.5. Panjang Substrate / groundplane

Kemudian untuk mencari panjang *substrate* atau *groundplane* dapat menggunakan persamaan yaitu sebagai berikut [13] :

$$\begin{aligned} L_g &= L + 6h \\ &= 3,875 + 6 (0,035) \\ &= 4,085 \text{ mm} \end{aligned} \quad (10)$$

2.1.6. Jarak Antar Patch

Dan pada jarak antar *patch* dapat dihitung menggunakan persamaan 11 [4], [15].

$$d = \frac{\lambda}{2} = \frac{11,53}{2} = 5,765 \text{ mm} \quad (11)$$

2.1.7. Inset Feed Microstrip

Untuk mencari dimensi lebar *inset – feed* (X_0) dapat menggunakan persamaan berikut[16]

$$\begin{aligned} X_0 &= \frac{c}{\sqrt{2 \times \epsilon_{reff}}} \frac{4,65 \times 10^{-12}}{f} \\ X_0 &= \frac{3 \times 10^{11} \text{ m/s}}{\sqrt{2 \times 2,173}} \frac{4,65 \times 10^{-12}}{26 \text{ GHz}} \\ &= \frac{3 \times 10^{11}}{\sqrt{3,436}} \frac{4,65 \times 10^{-12}}{26} \\ &= \frac{13,95 \cdot 10^{-1}}{54,2} \\ &= 0,025738 \end{aligned} \quad (12)$$

Kemudian untuk mencari dimensi panjang dari *inset – feed* dapat dicari dengan menggunakan persamaan

$$y_0 = \frac{L}{\pi} \cos^{-1} \left(\sqrt{\frac{Z_{in}}{R_{in}}} \right) \quad (13)$$

$$Z_{in} = 90 \frac{\epsilon_r^2}{\epsilon_r - 1} \left(\frac{L}{w} \right)^2 \quad (14)$$

$$R_{in} = \frac{1}{2G_1} \quad (15)$$

$$G_1 = \frac{1}{90} \left(\frac{W}{\lambda_0} \right)^2 \quad W < \lambda_0 \quad (16)$$

$$G_1 = \frac{1}{120} \left(\frac{W}{\lambda_0} \right)^2 \quad W > \lambda_0 \quad (17)$$

Diketahui $W = 4,560 \text{ mm}$

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} = 11,53 \text{ mm}$$

$$G_1 = \frac{1}{90} \left(\frac{W}{\lambda_0} \right)^2 \quad W < \lambda_0$$

$$\begin{aligned} G_1 &= \frac{1}{90} \left(\frac{4,560}{11,53} \right)^2 \\ &= 0,00173791512 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{in} &= \frac{1}{2G_1} = \frac{1}{2 (0,00173791512)} \\ &= \frac{1}{0,00347583024} \\ &= 287,701 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_{in} &= 90 \frac{\varepsilon_r^2}{\varepsilon_{r-1}} \left(\frac{L}{W} \right)^2 \\
 L &= 3,875 \text{ mm} \\
 &= 90 \frac{(2,2)^2}{(2,2-1)} \left(\frac{3,875}{4,560} \right)^2 \\
 &= 90 \frac{(4,84)}{1,2} (0,7221) \\
 &= 262,1223 \\
 y_0 &= \frac{L}{\pi} \cos^{-1} \left(\sqrt{\frac{Z_{in}}{R_{in}}} \right) \\
 &= \frac{3,875}{\pi} \cos^{-1} \left(\sqrt{\frac{262,1223}{287,701}} \right) \\
 &= \frac{3,875}{\pi} \cos^{-1}(0,911) \\
 &= (1,23345) (0,4922154) \\
 &= 0,6
 \end{aligned}$$

Sehingga sesudah menghitung dimensi antenna yang akan dibuat, selanjutnya membuat dalam tabel seperti pada Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Nilai Perhitungan Dimensi Antena

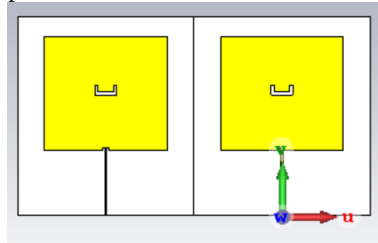
Komponen	Simbol	Nilai Dimensi (mm)
Lebar <i>patch</i>	W	4,560
Panjang <i>patch</i>	L	3,875
Tebal <i>patch</i>	Tp	0,035
Lebar <i>substrate</i>	Ws	4,77
Panjang <i>substrate</i>	Ls	4,085
Tebal <i>substrate</i>	h	0,035
Lebar <i>feeder</i>	Wf	0,1096
Panjang <i>feeder</i>	Lf	1,959
Jarak antar <i>patch</i>	d	5,765

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

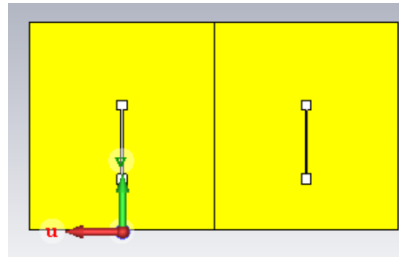
Metode yang dapat meningkatkan *bandwidth* pada antenna yaitu dengan penambahan metode *defected ground structure* (DGS) dan penambahan U – Slot pada *patch* antenna. Sedangkan untuk teknologi MIMO digunakan untuk meningkatkan kualitas transmisi data. Pada hasil dan pembahasan ini menyajikan hasil pengaruh penggunaan metode *defected ground structure* (DGS) menggunakan u – slot dan tanpa u – slot serta pengaruh antenna MIMO setelah ditambahkan metode DGS dan U – Slot. Di bawah ini merupakan hasil dan pembahasan dari penelitian tersebut.

3.1. Antena Mikrostrip dengan Penambahan MIMO 2x2

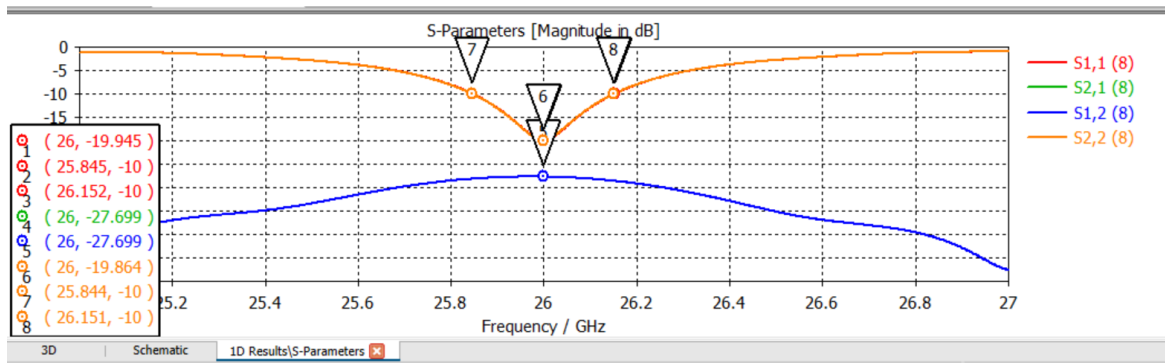
Desain dari MIMO 2x2 dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3 berikut



Gambar 2. Desain MIMO 2x2 Tampak Depan



Gambar 3. Desain MIMO 2x2 Tampak Belakang

Gambar 4. Nilai *Return Loss* MIMO 2x2

Pada Gambar 4 ditunjukkan nilai *return loss* dari MIMO 2x2. Dari perancangan antenna MIMO 2x2 didapatkan hasil nilai *return loss* (S_{11} , S_{22}) dari kedua *port* yaitu *port* 1 dan *port* 2. Dapat dilihat dari kurva nilai yang didapat antara kedua *port* tersebut pada *port* 1 atau pada S_{11} di frekuensi 26 GHz menghasilkan nilai *return loss* -19,945 dB, sedangkan pada *port* 2 pada S_{22} di frekuensi 26 GHz menghasilkan nilai *return loss* sebesar -19,864 dB.

Pada Gambar 4 dapat diketahui juga nilai *mutual coupling*. *Mutual coupling* merupakan nilai dimana antara *port* satu dengan *port* yang lainnya yang saling berhubungan yang dipengaruhi oleh nilai d atau nilai jarak antar *patch* antenna, dimana jarak antar *patch* tersebut dapat mempengaruhi kinerja dari antenna tersebut. Jika dilihat pada kurva tersebut nilai *mutual coupling* dapat dilihat dari parameter S_{21} dan S_{12} . Parameter S_{21} berarti nilai *mutual coupling* terjadi pada *port* 2 terhadap *port* 1, begitu juga sebaliknya dengan parameter S_{12} yang berarti nilai *mutual coupling* terjadi pada *port* 1 terhadap *port* 2. Dari kedua parameter tersebut yaitu S_{21} dan S_{12} memiliki nilai *mutual coupling* sebesar -27,699 dB.

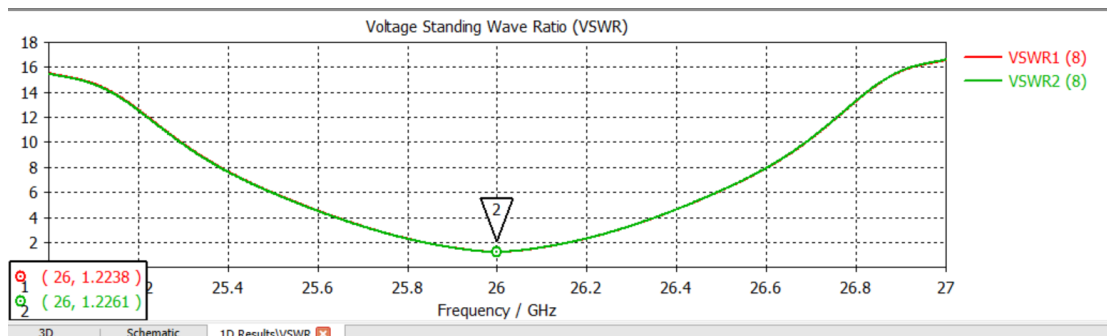
Dari kurva tersebut juga dapat dicari nilai *bandwith* pada *port* 1 dan *port* 2. Pada *port* 1 memiliki nilai frekuensi tertinggi yaitu dengan nilai sebesar 26,152 GHz dan nilai frekuensi terendah yaitu 25,845 GHz. Maka dengan pengurangan kedua frekuensi tersebut dapat dihasilkan nilai *bandwith* pada *port* 1 yaitu sebesar 307 MHz atau 0,307 GHz. Sedangkan pada *port* 2 dapat dicari juga nilai *bandwith* nya yaitu dengan frekuensi tertinggi yaitu 26,151 GHz dan frekuensi terendah yaitu 25,844 GHz maka dengan ini dapat diketahui nilai *bandwith* nya yaitu sebesar 307 MHz atau 0,307 GHz.

Dari kurva S parameter yang ditunjukkan pada gambar di atas dapat juga didapatkan nilai koefisien korelasi (ρ). Nilai koefisien korelasi merupakan parameter yang dapat digunakan untuk mengukur interferensi sinyal antar saluran. Nilai koefisien korelasi dapat dicari menggunakan persamaan 18, pada persamaan tersebut diperlukan nilai *return loss* dan nilai *mutual coupling* antar *port*. Pada gambar 4. pada parameter S antara *port* 1 dan *port* 2 dimana pada *port* 1 yaitu S_{11} memiliki nilai *return loss* sebesar -19,945 dB sedangkan pada *port* 2 pada S_{22} GHz menghasilkan nilai *return loss* sebesar -19,864 dB. Lalu untuk nilai *mutual coupling* pada parameter S_{21} atau nilai *mutual coupling* *port* 2 terhadap *port* 1 sebesar -27,699 dB, dan pada parameter S_{12} atau nilai *mutual coupling* *port* 1 terhadap *port* 2 juga sama yaitu sebesar -27,699 dB. Maka dari itu dari nilai yang telah di hasilkan dapat dicari nilai koefisien korelasinya dengan persamaan 18 sebagai berikut

$$\rho = \frac{|S_{11} * S_{12} + S_{21} * S_{22}|}{[1 - (|S_{11}|^2 + |S_{21}|^2)][1 - (|S_{22}|^2 + |S_{12}|^2)]}$$

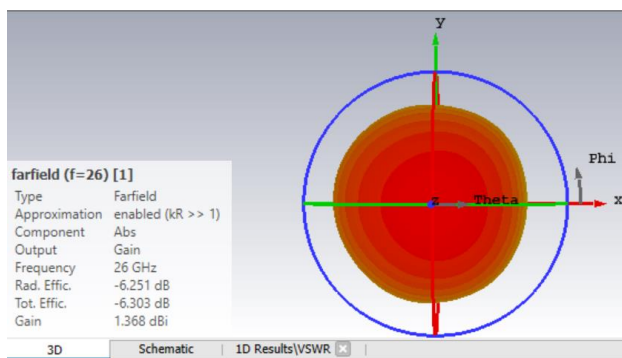
$$\rho = \frac{|(-19,945 * -27,699) + (-27,699 * -19,864)|}{[1 - (|-19,945|^2 + |-27,699|^2)][1 - (|-19,864|^2 + |-27,699|^2)]}$$

$$= 0,000814$$

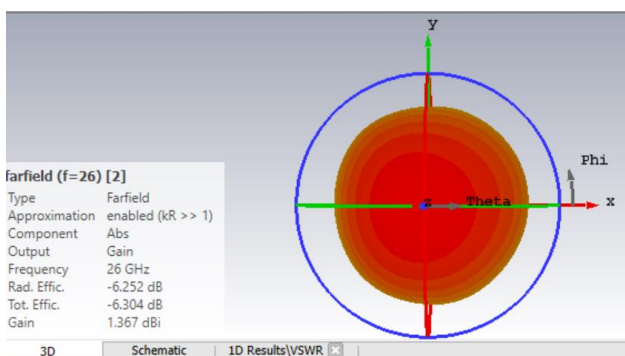


Gambar 5. Nilai VSWR MIMO 2x2

Pada kurva yang ditunjukkan oleh Gambar 5 dari perancangan MIMO 2x2 didapatkan nilai parameter VSWR dari *port* 1 dan *port* 2 secara berurutan yaitu sebesar 1,223 ; 1,226. Dari hasil VSWR yang diperoleh tersebut telah memenuhi spesifikasi parameter VSWR yaitu dibawah 2 dB pada frekuensi 26 GHz.

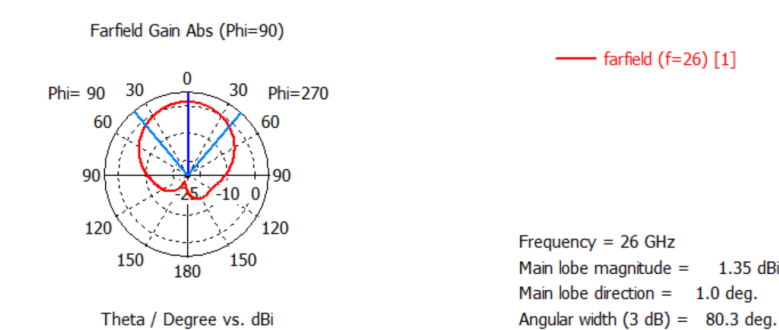


Gambar 6. Nilai Gain MIMO 2x2 port 1

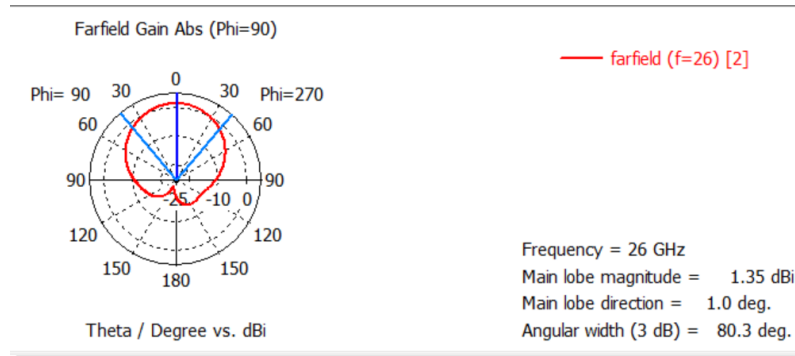


Gambar 7. Nilai Gain MIMO 2x2 port 2

Pada Gambar 6 dan Gambar 7 merupakan hasil parameter *gain* yang dihasilkan pada *port* 1 dan pada *port* 2. Pada nilai *gain* *port* 1 dihasilkan nilai *gain* pada MIMO 2x2 yaitu sebesar 1,368 dBi, sedangkan pada *port* 2 dihasilkan nilai *gain* sebesar 1,367 dBi.



Gambar 8. Pola Radiasi MIMO 2x2 port 1

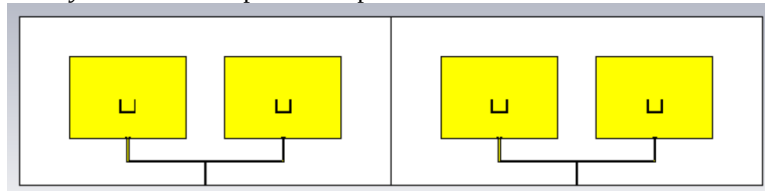


Gambar 9. Pola Radiasi MIMO 2x2 port 1

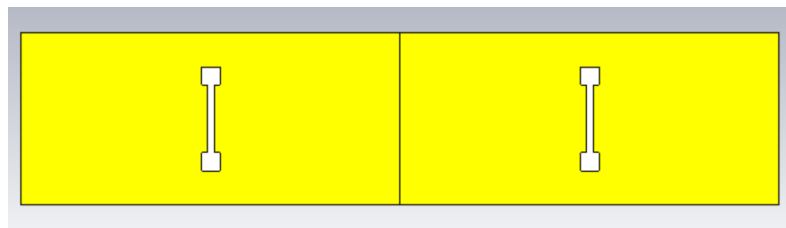
Pada Gambar 9 merupakan pola radiasi yang dihasilkan oleh antenna MIMO 2x2 yaitu *unidirectional*, yang mana pada pola radiasi *unidirectional* pola pancar antenna mengarah pada arah tertentu, dari kedua *port* tersebut atau *port* 1 dan *port* 2 memiliki bentuk pola radiasi yang sama.

3.2. Antena Array MIMO 2x2

Desain dari Antena Array MIMO 2x2 dapat dilihat pada Gambar 10 dan Gambar 11 berikut



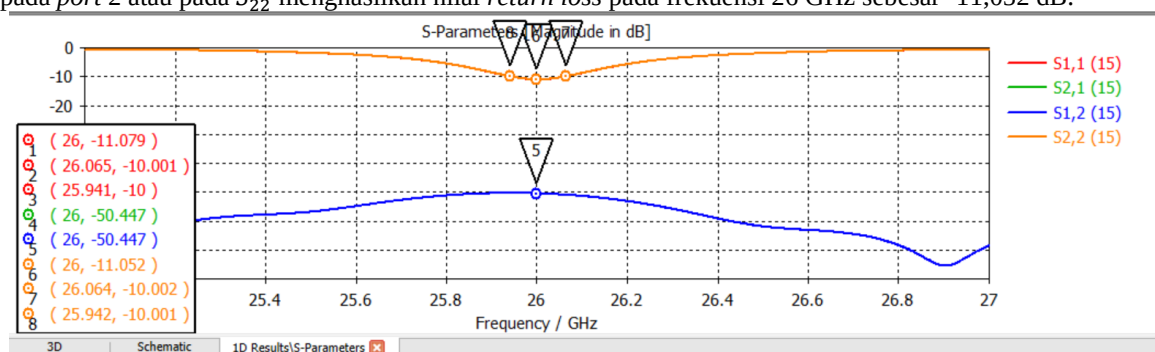
Gambar 10. Desain Antena Array MIMO 2x2 Tampak Depan



Gambar 11. Desain Antena Array MIMO 2x2 Tampak Belakang

3.2.1. Return Loss

Pada Gambar 12 yang ditunjukkan oleh gambar diatas merupakan kurva nilai *return loss* yang dihasilkan oleh antenna array MIMO 2x2. Pada gambar diatas dapat ditunjukkan nilai *return loss* yaitu pada *port* 1 atau pada S_{11} menghasilkan nilai *return loss* pada frekuensi 26 GHz yaitu sebesar -11,079 dB. Sedangkan pada *port* 2 atau pada S_{22} menghasilkan nilai *return loss* pada frekuensi 26 GHz sebesar -11,052 dB.



Gambar 12. S – Parameter Antena Array MIMO 2x2

Dari Pada Gambar 12 dapat diketahui juga nilai *mutual coupling* antenna array MIMO 2x2 yang dihasilkan pada frekuensi 26 GHz. Nilai *mutual coupling* dihasilkan karena kedua *port* pada antenna array MIMO 2x2 saling berhubungan antara *port* yang satu dengan *port* yang lainnya yang dipengaruhi nilai dari d atau jarak antar *patch* pada antenna, yang dimana jarak antar *patch* tersebut dapat mempengaruhi nilai kinerja dari antenna. Jika dilihat dari Gambar 12 kurva tersebut nilai *mutual coupling* yang dihasilkan pada s – parameter

S_{12} dan S_{21} yaitu sebesar -50,447 dB. Parameter S_{12} merupakan nilai *mutual coupling* yang dihasilkan dari port 1 terhadap port 2, sedangkan S_{21} merupakan nilai *mutual coupling* yang dihasilkan dari port 2 terhadap port 1. Jika dilihat dari nilai *mutual coupling* yang dihasilkan pada frekuensi 26 GHz sudah memenuhi kondisi yang diharapkan yaitu kurang dari -20 dB.

Dari nilai *mutual coupling* dan nilai *return loss* pada Gambar 12 dapat dihasilkan nilai koefisien korelasi (ρ). Koefisien korelasi merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur interferensi sinyal antar saluran dengan nilai kurang dari 0,3. Nilai koefisien korelasi dapat dihasilkan menggunakan persamaan 2.8. Untuk mencari nilai koefisien korelasi dibutuhkan nilai *return loss* dan nilai *mutual coupling* antar port yang saling berkaitan. Dapat diketahui sebelumnya bahwa nilai *return loss* yang dihasilkan pada port 1 atau pada S_{11} sebesar -11,079 dB, sedangkan pada port 2 atau pada S_{22} menghasilkan nilai *return loss* sebesar -11,052 dB. Diketahui juga sebelumnya nilai *mutual coupling* yang dihasilkan oleh port 1 terhadap port 2 atau pada S_{12} yaitu sebesar -50,477 dB dan pada *mutual coupling* yang dihasilkan pada port 2 terhadap port 1 atau pada S_{21} yaitu sebesar -50,477 dB. Dari nilai – nilai tersebut dapat dicari nilai dari koefisien korelasi yang dihasilkan oleh antenna array MIMO 2x2 pada frekuensi 26 GHz menggunakan persamaan 18.

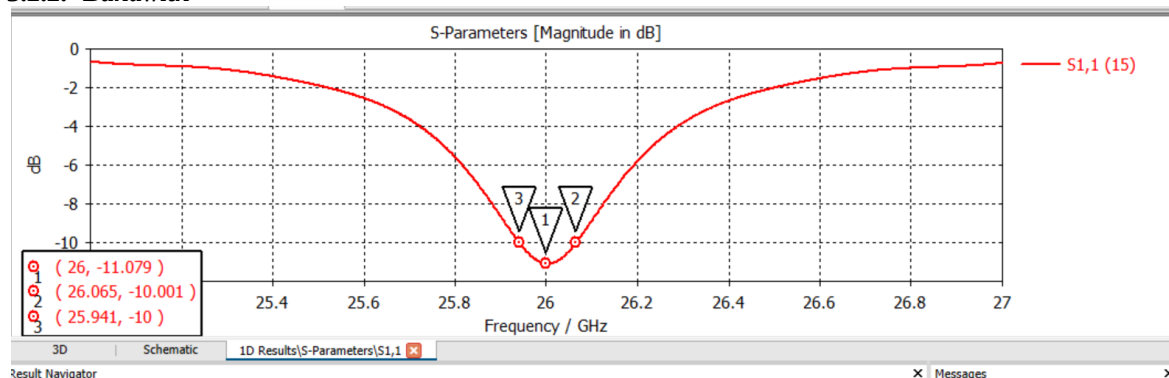
$$\rho = \frac{|S_{11} \cdot S_{12} + S_{21} \cdot S_{22}|}{[1 - (|S_{11}|^2 + |S_{21}|^2)][1 - (|S_{22}|^2 + |S_{12}|^2)]} \quad (18)$$

$$\rho = \frac{|(-11,079) \cdot (-50,477) + (-50,477) \cdot (-11,052)|}{[1 - (|-11,079|^2 + |-50,477|^2)][1 - (|-11,052|^2 + |-50,477|^2)]}$$

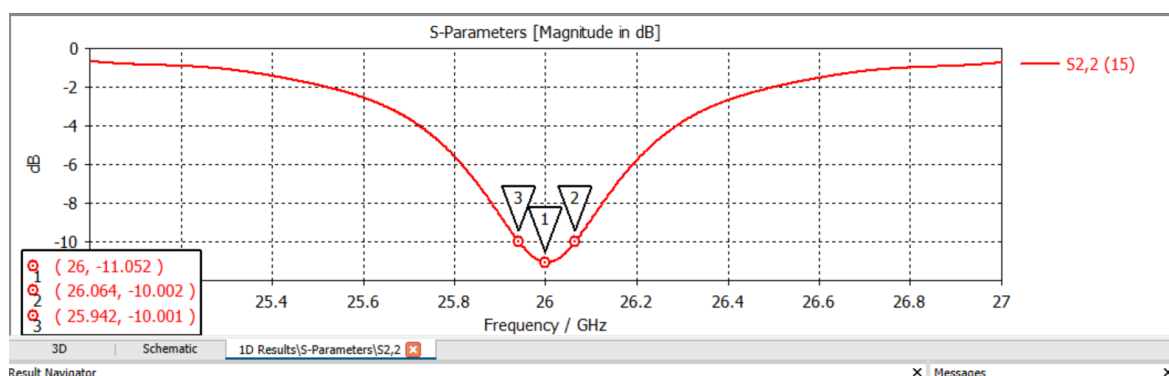
$$= 0,070377$$

Jadi nilai koefisien korelasi yang dihasilkan oleh antenna array MIMO 2x2 pada frekuensi 26 GHz yaitu 0,070377.

3.2.2. Bandwith



Gambar 13. Bandwith Pada Port 1

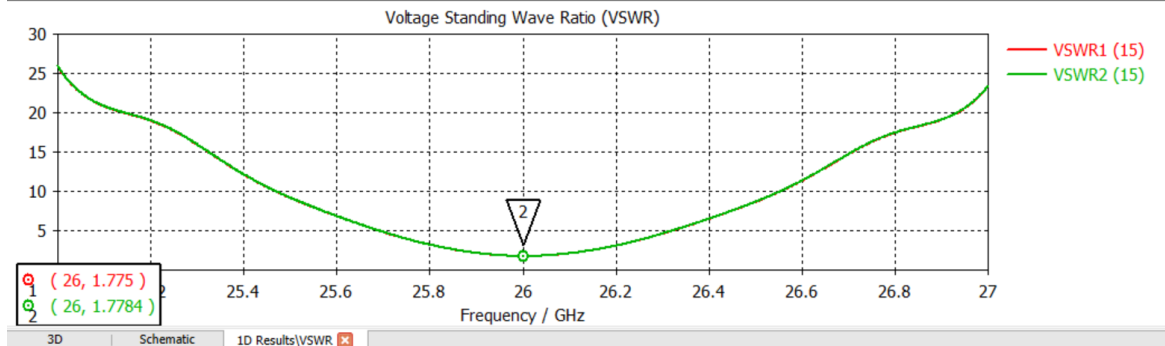


Gambar 14. Bandwith Pada Port 2

Pada Gambar 13 dan Gambar 14 diatas merupakan nilai dari *bandwith* yang dihasilkan oleh antenna array MIMO 2x2. Pada Gambar 13 merupakan s – parameter yang dihasilkan pada port 1 atau pada antenna 1, dari gambar tersebut yang ditunjukkan oleh kurva dapat dicari nilai *bandwith* nya yaitu dengan cara mengurangi nilai frekuensi tertinggi dengan frekuensi terendah, dalam kurva ditunjukkan bahwa nilai tertinggi nya yaitu pada frekuensi 26,065 GHz, sedangkan frekuensi terendah nya yaitu 25,941 GHz. Maka dari frekuensi tersebut dapat ditemukan nilai *bandwith* nya sebesar 0,125 GHz

Kemudian pada Gambar 14 merupakan s – parameter yang dihasilkan oleh *port* 2 atau pada antenna 2, dari gambar dapat dicari nilai *bandwith* nya. Pada kurva tersebut ditunjukkan bahwa frekuensi tertinggi yaitu berada pada frekuensi 26,064 GHz, sedangkan pada frekuensi terendah berada pada frekuensi 25,942 GHz. Maka *bandwith* yang dihasilkan yaitu sebesar 0,122 GHz.

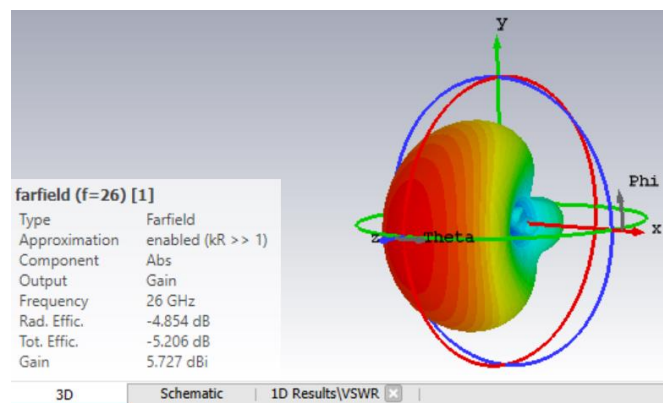
3.2.3. Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)



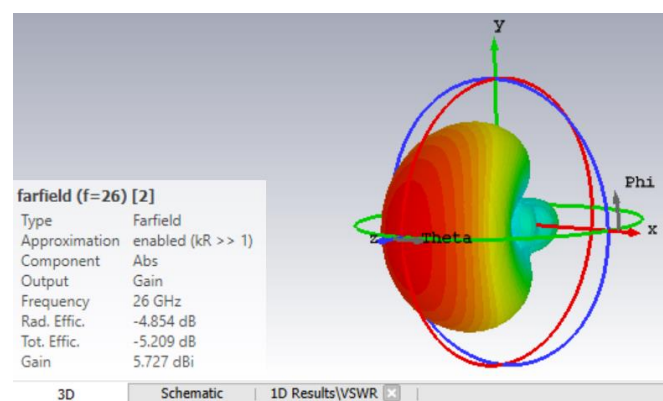
Gambar 15. Nilai VSWR Antena Array MIMO 2x2

Dari Gambar 15 menunjukkan hasil simulasi antenna *array* MIMO 2x2 pada frekuensi 26 GHz menghasilkan nilai VSWR pada *port* 1 yaitu sebesar 1,775 dB, sedangkan pada *port* 2 menghasilkan nilai VSWR sebesar 1,77 dB. Dilihat dari nilai VSWR tersebut dapat dikatakan sudah memenuhi nilai spesifikasi yang telah diharapkan yang mana ≤ 2 dB.

3.2.4. Gain



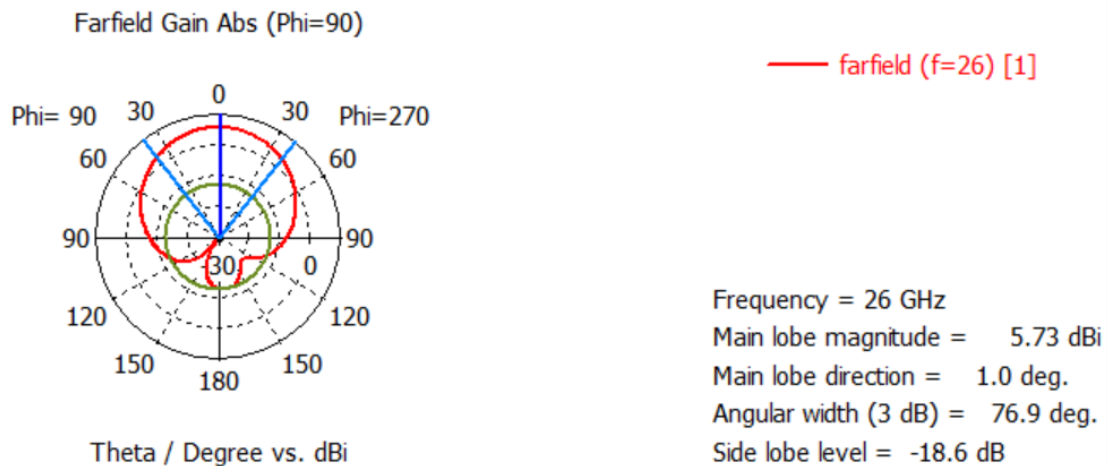
Gambar 16. Nilai Gain pada Port 1



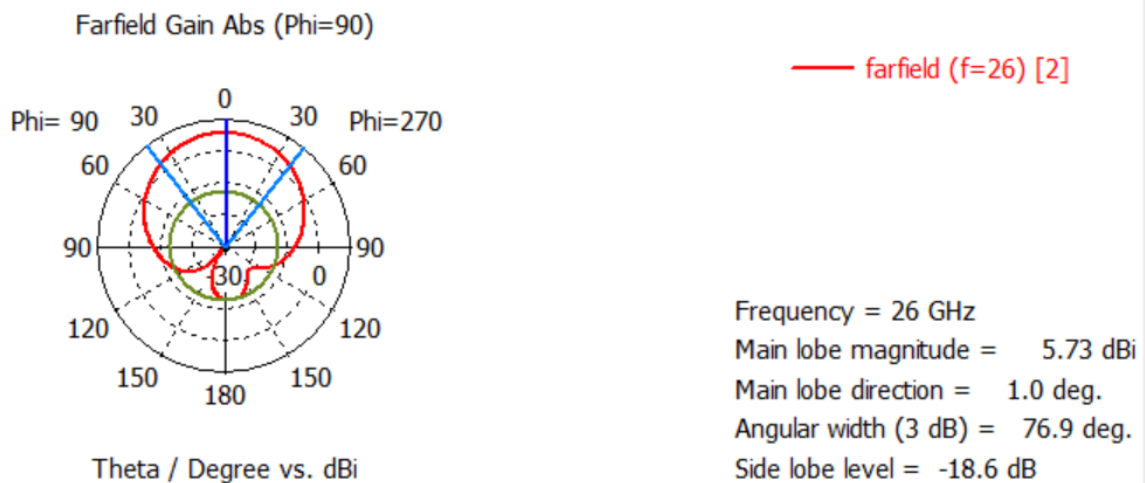
Gambar 17. Nilai Gain pada Port 2

Dari Gambar 16 dapat dilihat nilai *gain* yang dihasilkan pada antenna *array* MIMO 2x2 pada *port* 1 yaitu sebesar 5,727 dBi, sedangkan Gambar 17 menunjukkan nilai *gain* yang dihasilkan pada *port* 2 sebesar 5,727 dBi.

3.2.5. Pola Radiasi



Gambar 18. Pola Radiasi Port 1



Gambar 19. Pola Radiasi Port 2

Dari Gambar 18 dan Gambar 19 menunjukkan pola radiasi yang dihasilkan dari simulasi antenna array MIMO 2x2 pada frekuensi 26 GHz, pada port 1 dan port 2 menghasilkan pola radiasi *unidirectional*. Dimana pola radiasi *unidirectional* merupakan pola radiasi yang mengarah pada arah tertentu saja.

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini berhasil merancang desain antenna array MIMO 2x2 untuk komunikasi 5G dengan ukuran dimensi 33,77 mm x 7,63 mm, menggunakan beberapa metode yaitu dengan menggunakan metode U-Slot dan DGS sehingga memperoleh *bandwidth* sebesar 125 MHz, sedangkan *gain* nya mengalami kenaikan sebesar 5,725 dB. Koefisien korelasinya menghasilkan 0,070377, sedangkan *mutual coupling* pada S_{12} dan S_{21} sebesar -50,477 dB. Sehingga desain ini dapat difabrikasi dan dilakukan uji coba terhadap antenna ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Hadi and A. Aminah, "Jurnal Matematika dan Sains," *Jurnal Sains Dan Matematika*, vol. 20, no. 3, pp. 54–57, 2015.
- [2] D. Rianti, A. Hikmaturokhman, and D. Rachmawaty, "Techno-Economic 5G New Radio Planning Using 26 GHz Frequency at Pulogadung Industrial Area," in *International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI)*, Yogyakarta, Indonesia: IEEE, 2020, pp. 272–277.
- [3] F. K. Karo, A. Hikmaturokhman, and M. A. Amanaf, "5G New Radio (NR) Network Planning at Frequency of 2.6 GHz in Golden Triangle of Jakarta," in *2020 3rd International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems, ISRITI 2020*, 2020. doi: 10.1109/ISRITI51436.2020.9315504.
- [4] H. B. Riswanto, I. Erlangga, D. Putra Sati, M. Rizky, F. A. Rosyid, and A. Hikmaturokhman, "Dampak MU-MIMO dan SU-MIMO pada Perencanaan Jaringan Seluler 2300 MHz: Studi Komprehensif di Kota Cilacap," *Jurnal Riset Rekayasa Elektro*, vol. 6, no. 1, pp. 13–24, 2024, doi: <https://dx.doi.org/10.30595/jrre.v6i1.20921>.

- [5] Huawei, "New 5G , New Antenna," *Huawei*, 2019.
- [6] R. Ghifari, L. Sari, R. D. Mardian W, S. Alam, and I. Surjati, "Interference Analysis Between 5G System and Fixed Satellite Service in the 28 GHz Band," *ELKHA*, vol. 15, no. 2, pp. 91–97, 2023, doi: <https://dx.doi.org/10.26418/elkha.v15i2.51040>.
- [7] A. Hikmaturokhman, "Spectrum Considerations for 5G in Indonesia," in *ICT Rudev*, 2018, pp. 1–6.
- [8] A. Sukarno, A. Hikmaturokhman, and D. Rachmawaty, "Comparison of 5G NR Planning in Mid-Band and High-Band in Jababeka Industrial Estate," in *2020 IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite, Comnetsat 2020 - Proceedings*, 2020. doi: 10.1109/Comnetsat50391.2020.9329000.
- [9] A. Hikmaturokhman, M. Suryanegara, and K. Ramli, "A Comparative Analysis of 5G Channel Model with Varied Frequency: A Case Study in Jakarta," in *2019 7th International Conference on Smart Computing and Communications, ICSCC 2019*, 2019. doi: 10.1109/ICSCC.2019.8843632.
- [10] K. Jones A.S., L. Olivia N., and B. Syihabuddin, "Perancangan Antena MIMO 2×2 Array Rectangular Patch dengan U-Slot untuk Aplikasi 5G," *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI)*, vol. 6, no. 1, 2017, doi: 10.22146/jnteti.v6i1.299.
- [11] A. Wahyudin, A. Hikmaturokhman, and D. A. Harish, "Spectrum Fee License Analysis on 3.5, 26, and 28 GHz Frequency For 5G Implementation in Indonesia," in *2021 IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (Comnetsat)*, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2021.
- [12] M. R. Syahputra and M. Irhamsyah, "Perancangan Antena Microstrip Rectangular Patch Array 4 Elemen Untuk Aplikasi Lte," *Jurnal Karya Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 2, no. 4, pp. 52–58, 2017.
- [13] M. Yuniati, "DESIGN DAN REALISASI ANTENA MIKROSTRIP REKTANGULAR 2 ARRAY UNTUK APLIKASI WiFi," 2015.
- [14] A. Widiyanti, *Program studi s1 teknik telekomunikasi fakultas teknik telekomunikasi dan elektro institut teknologi telkom purwokerto 2022*. 2022.
- [15] M. Ihsan, A. Hikmaturokhman, S. Laras, and S. Alam, "Design of 5G MIMO 2x2 Broadband Antenna At 26 GHz Frequency Using Double U-Slot Method and Defected Ground Structure," *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)*, vol. 10, no. 2, pp. 247–257, Oct. 2023, doi: 10.33019/jurnalecotipe.v10i2.4409.
- [16] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design, 3rd Edition*. 2005.