

PERANCANGAN ANTENA MIKROSTRIP ARRAY *MULTIPLE INPUT MULTIPLE OUTPUT (MIMO)* 4 ELEMEN DENGAN *SLITS* DAN *SLOTS*

DESIGN MICROSTRIP ANTENNA ARRAY MULTIPLE INPUT MULTIPLE OUTPUT (MIMO) 4 ELEMENT WITH SLITS AND SLOTS

Fahrul Solehudin*¹, Yuli Kurnia Ningsih², Syah Alam³

*Email: fahrul062001904029@std.trisakti.ac.id

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti, Jakarta

Abstrak— Penelitian ini mengusulkan perancangan dan simulasi antenna mikrostrip dengan metode *array Multiple Input Multiple Output (MIMO)* dengan 4 elemen dengan penambahan *slits* dan *slots* pada frekuensi kerja 3,5 GHz. Bahan substrat yang digunakan pada perancangan adalah RT-Duroid R5880, Duroid R5880 memiliki *permitivitas*, (ϵ_r) sebesar 2,2, *loss tangent* 0,0009 dan ketebalan (h) 1,57 mm. Dengan penambahan metode *slits* dan *slots* berhasil mereduksi nilai *return loss* sebesar 61 % dibandingkan dengan antenna *single element*. Pada perancangan antenna *array* 2x1 elemen didapatkan nilai *return loss* sebesar -36 dB, *bandwidth* sebesar 220 MHz, *gain* sebesar 7,9 dB. Hasil desain yang paling optimal pada perancangan antenna mikrostrip dengan metode *Multiple Input Multiple Output (MIMO)* 4 elemen didapatkan nilai *return loss* sebesar -27 dB, *bandwidth* sebesar 220 MHz, *gain* sebesar 10,5 dB, *mutual coupling* sebesar -70 dB dan pola radiasi *directional*. Penerapan metode *array MIMO* 4 elemen berhasil meningkatkan performansi antenna yaitu *gain* 53%, *bandwidth* 31,8%, dan memiliki pola radiasi yang lebih terarah dibandingkan dengan antenna *single element* dan dapat direkomendasikan sebagai antenna penerima pada sistem komunikasi 5G.

Kata kunci — Antena mikrostrip, Slits dan Slots, array, MIMO, gain.

Abstract— This research proposed design and simulation of micro strip antenna Multiple Input Multiple Output array (MIMO) with 4 elements with the addition of slits and slots that work at a frequency of 3.5 GHz. The antenna design uses Duroid R5880, Duroid R5880 have *permitivitas*, (ϵ_r) of 2.2, a *loss tangent* of 0.0009 and a thickness (h) of 1.57 mm. With the addition of the slit and slot methods, the value was reduced return loss by 61% compared to a single element antenna. In the design of antenna array, 2x1 element the return value is loss-36 dB, the bandwidth is 220 MHz, the gain is 7.9 dB. The most optimal design results in the design of a microstrip antenna with the 4-element Multiple Input Multiple Output (MIMO) method obtained a return loss value of -27 dB, a bandwidth of 220 MHz, a gain of 10.5 dB, mutual coupling of -70 dB and Polaradiation directional. The application of the method array 4-element MIMO has succeeded in increasing antenna performance, namely gain 53%, 31.8% bandwidth, and has a more directional radiation pattern compared to single element antennas and can be recommended for receiver antenna in 5G communication system.

Keywords — Microstrip antenna, Slits and Slots, array, MIMO, gain.

I. PENDAHULUAN

Pengembangan sistem komunikasi nirkabel menjadi sebuah tantangan besar untuk dapat merespon permintaan layanan data yang berkecepatan tinggi (*high data rate*) dan data yang besar pada sistem komunikasi 5G [1]. Perangkat antenna berperan penting sebagai pengirim dan penerima sinyal dalam sebuah sistem komunikasi

nirkabel. Sinyal dari antenna yang sudah dirubah menjadi gelombang elektromagnetik dapat dimanfaatkan untuk pengiriman data dan suara [2]. Antena mikrostrip sangat menarik untuk dikembangkan karena desain yang kompak, ukuran kecil, biaya murah, dan mudah dalam pengaplikasian [3]. Desain antenna mikrostrip yang *compact* menjadi salah satu kelebihan dibandingkan dengan antenna jenis lain, sehingga antenna mikrostrip cocok

digunakan sebagai antena pengirim dan penerima pada sistem komunikasi nirkabel. Akan tetapi untuk dapat melayani pelanggan secara optimal diperlukan antena yang bekerja dengan kapasitas saluran dan jalur propagasi yang lebih banyak. sistem MIMO sesuai dengan karakteristik sistem komunikasi 5G yang memerlukan kecepatan tinggi, karena pada sistem MIMO memiliki lebih dari satu antena (*multiantenna*) sehingga kualitas dan kapasitas layanan menjadi lebih baik.

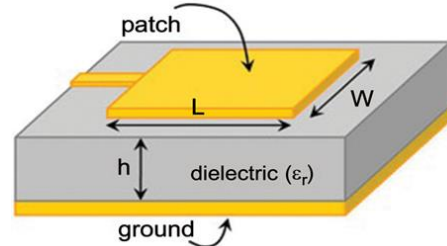
Perkembangan desain antena dengan metode MIMO telah dipaparkan oleh beberapa penelitian sebelumnya [4], Pada penelitian yang diusulkan oleh [5] telah berhasil merancang antena mikrostrip dengan desain mikrostrip *compact* MIMO pada frekuensi 3,5 GHz dengan nilai (S_{11}) sebesar -30 dB, mutual coupling (S_{12}) sebesar -20 dB dan *bandwidth* sebesar 200 MHz. Berikutnya pada penelitian yang diusulkan [6] merancang antena mikrostrip MIMO dengan 4 *port* bentuk L terbalik pada frekuensi 3,5 GHz dengan nilai *return loss* (S_{11}) \leq -10 dB, (S_{21}) \leq -10 dB, *gain* sebesar 5,1 dBi, dan *bandwidth* sebesar 200 MHz. Namun, pada kedua penelitian tersebut masih menghasilkan *gain* dan keterarahan yang rendah sehingga perlu dilakukan optimalisasi. Beberapa metode-metode optimasi untuk meningkatkan *gain* dan keterarahan telah dipaparkan pada penelitian sebelumnya [7] dengan antena metode *array* berhasil meningkatkan keterarahan lebih baik dan menghasilkan peningkatan *gain* sebesar 9,551 dB. Pada penelitian [8] dengan metode *array* juga berhasil meningkatkan *gain* sebesar 6,45 dB.

Penelitian ini mengusulkan desain antena mikrostrip MIMO dengan 4 elemen yang dioptimasi menggunakan teknik *slits* dan *slots*. Tujuan penambahan *slits* dan *slots* untuk mereduksi nilai *return loss*. Target dari perancangan antena ini adalah menghasilkan desain antena mikrostrip *array* MIMO dengan 4 elemen yang memiliki spesifikasi nilai *return loss* (S_{11}) \leq -10 dB, *mutual coupling* \leq -20 dB, *bandwidth* sebesar \geq 200 MHz, *gain* \geq 5 dB dan pola radiasi *directional*. Penggunaan antena mikrostrip *array* MIMO dengan *slits* dan *slots* diharapkan dapat meningkatkan kualitas sinyal pengiriman dan penerimaan, serta dapat meningkatkan kapasitas jumlah pelanggan yang dapat dilayani pada sistem komunikasi (5G).

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Antena Mikrostrip

Struktur dari antena mikrostrip terdiri dari beberapa bagian, yaitu: bagian *patch* antena, bagian saluran pencatu, dan bidang pertanahan (*ground plane*) yang dicetak pada sebuah *dielektrik substrat*. Seperti terlihat pada Gambar-1 dibawah ini [9].



Gambar-1. Struktur antena mikrostrip.

Elemen *patch* antena berfungsi untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik. Elemen ini juga biasa disebut *radiator patch*. Elemen *patch* dibentuk dari lapisan logam (*metal*), jenis logam yang digunakan biasanya adalah tembaga (*copper*) dengan konduktivitas $5,8 \times 10^7$ S/m. Ada beberapa jenis *patch* antena berdasarkan bentuknya, di antaranya *rectangular* (segi empat), segitiga, lingkaran, dan lain-lain. Substrat merupakan bagian dielektrik yang membatasi elemen peradiasi dengan elemen pertanahan. Semakin tebal substrat maka *bandwidth* akan semakin meningkat, tetapi berpengaruh terhadap timbulnya gelombang permukaan (*surface wave*) [9].

B. Antena Mikrostrip Patch Rectangular

Patch rectangular merupakan salah satu bentuk *patch* dari antena mikrostrip yang paling banyak digunakan, karena bentuk antena *rectangular* mudah dalam pemodelan dan menganalisa karakteristik dari antena [10]. Penentuan ukuran dimensi *patch rectangular* secara umum mengacu pada persamaan (1) sampai (4) [10]:

$$w = \frac{c}{2f \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (1)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{w}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$\Delta l = 0,412 h \frac{(\epsilon_{eff} + 0,3) \left(\frac{w}{h} + 0,264\right)}{(\epsilon_{eff} - 0,258) \left(\frac{w}{h} - 0,8\right)} \quad (3)$$

$$L = \frac{c}{2f \sqrt{\epsilon_r + 1}} - 2\Delta L \quad (4)$$

dimana,

W = lebar *patch* (m)

L = panjang *patch* (m)

C = kecepatan cahaya di ruang hampa (m/s)

f = frekuensi resonansi (Hz)

ϵ_r = permitivitas relatif bahan

Δl = pertambahan panjang yang diakibatkan oleh *fringing effect* (m)

E_{eff} = permitivitas efektif konstan

H = ketebalan bahan substrat (mm)

Perhitungan pada lebar (W_f) dan panjang (L_f) dari mikrostrip *feed line* mengacu pada (5) dan (6) [10]:

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

$$L_f = \frac{\lambda}{4 \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (6)$$

C. Multiple Input Multiple Output (MIMO)

Multiple Input Multiple Output (MIMO) adalah suatu sistem pada komunikasi nirkabel (*wireless*) yang memiliki dari lebih dari satu antena (*multiantenna*), baik pada sisi pengirim maupun pada penerima. Metode penggunaan antena lebih dari satu (*multiantenna*) ini secara efektif meningkatkan efisiensi spektrum frekuensi pada sistem komunikasi nirkabel sehingga kualitas komunikasi jauh lebih baik, serta dalam proses transmisi data menjadi lancar [11].

D. Array

Penggunaan antena mikrostrip yang membutuhkan tingkat penguatan (*gain*) yang tinggi dan pola radiasi yang terarah pada titik tertentu dapat menggunakan metode perancangan antena secara susun (*array*) [7]. Pada *patch* mikrostrip metode *array* dapat dirancang dengan beberapa element. Penggunaan teknik *power divider T-Junction* yang dapat mendistribusikan daya secara merata di masing-masing element.

E. Slits dan Slots

Antena mikrostrip polos memiliki kekurangan pada parameter-parameter antena. Hal ini akan mempengaruhi kualitas dan kinerja antena, ada beberapa teknik untuk optimasi yaitu dengan menggunakan *slits* pada *patch* untuk mereduksi nilai *return loss* antena. Teknik *slits* pada antena yaitu memberikan celah pada bagian tepi *patch* antena hal tersebut membuat *patch* antena jadi memiliki panjang gelombang $\frac{1}{4} \lambda$, sehingga dimensi fisik antena juga berubah, begitu juga dengan frekuensi

resonansi antena. Jalur propagasi gelombangpun akan berubah dengan ditambahkannya *slits* [12].

Metode lain untuk meningkatkan karakteristik antena mikrostrip, dapat diberikan *slots* pada *patch*. Metode *slots* ini melakukan pemberian celah pada bagian tengah antena yang bertujuan supaya antena beresonansi secara optimal. *Slots* antena dapat memiliki bentuk beragam, seperti bentuk *U-slots*, ataupun bentuk *slots* persegi panjang melingkar [12]

III. METODE PENELITIAN

Pada proses perancangan antena mikrostrips *array* MIMO 4 element dilakukan beberapa tahapan, dimulai dari menentukan frekuensi kerja yang diinginkan. Kemudian menentukan substrat yang akan digunakan. Setelah beberapa tahapan diatas telah dilakukan. Proses selanjutnya melakukan perhitungan ukuran *patch* antena, dan menghitung dimensi dari saluran pencatu. Setelah melakukan perhitungan secara manual, selanjutnya melakukan simulasi antena yang telah dirancang pada perangkat *EM simulation*.

Pada perancangan awal antena, antena didesain *single element* yang dapat beresonansi pada frekuensi 3,5 GHz, setelah diperoleh antena yang bekerja pada frekuensi 3,5 GHz, selanjutnya dilakukan optimasi dengan metode *array* 2x1 element. Setelah diperoleh perancangan antena *array* berikutnya melakukan perancangan antena dengan metode MIMO 4 element dengan iterasi jarak (*D*) untuk mengontrol nilai *mutual coupling* pada antena metode MIMO.

Adapun spesifikasi parameter antena yang ditargetkan ditunjukkan pada Tabel-1.

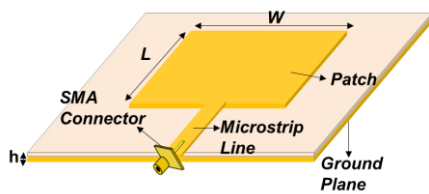
Tabel-1. Spesifikasi antena

Parameter	Spesifikasi
Frekuensi resonansi	3,5 GHz
<i>Return loss</i>	≤ -10 dB
<i>Bandwidth</i>	≥ 200 MHz
<i>Mutual coupling</i>	≤ -20 dB
Pola radiasi	Directional
<i>Gain</i>	≥ 5 dB

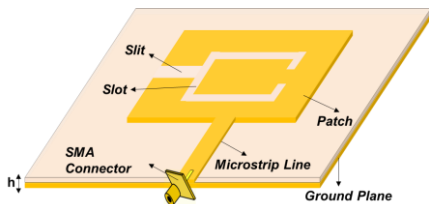
Substrat yang digunakan pada perancangan antena adalah Rogers RT/duroid 5880. Duroid R5880 memiliki *permitivitas* (ϵ_r) sebesar 2,2 dan memiliki ketebalan, 1,575 mm. Penggunaan substrat ini dipilih karena memiliki kelebihan permitivitas dielektrik yang kecil serta mampu bekerja pada perangkat yang berfrekuensi tinggi.

Tahapan akhir pada penelitian ini adalah antenna dianalisa pengaruh penambahan metode *array* MIMO 4 elemen dibandingkan dengan antenna *single element*. Dengan penambahan metode *array* MIMO 4 elemen pada antenna diharapkan dapat meningkatkan nilai *gain* dan keterarahan pola radiasi. Pengontrolan jarak antar antenna (*D*) diharapkan mampu mereduksi nilai *mutual coupling*. Nilai *mutual coupling* (S_{12}) merupakan indikator dari *independensi* dari masing-masing antenna MIMO.

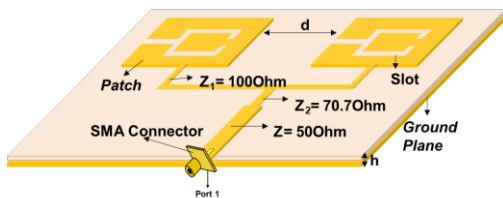
Tahapan pengembangan antenna mikrostrip ditunjukkan pada Gambar-2 sampai Gambar-5.



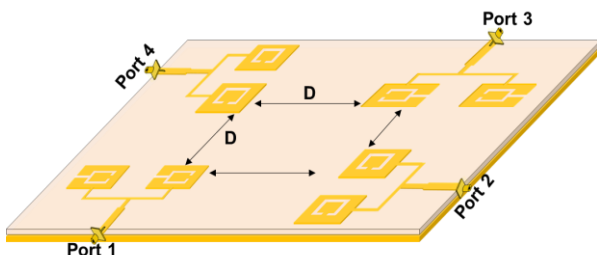
Gambar-2. Desain antenna *single element*.



Gambar-3. Desain antenna *single element* dengan *slits* dan *slots*.



Gambar-4. Desain antenna dengan metode *array* 2x1 elemen.



Gambar-5. Desain antenna dengan metode *array* MIMO 4 elemen.

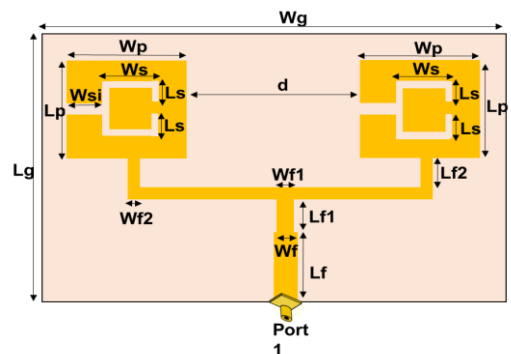
Teknik *slits* dan *slots* digunakan untuk optimasi pada antenna mikrostrip *single element*. Hal ini bertujuan untuk mereduksi nilai *return loss*. Selanjutnya, antenna dikembangkan menggunakan *array* 2x1 elemen dengan memisahkan antar *patch* antenna sejauh jarak (*d*).

Pada Gambar-4 ditunjukkan bahwa dalam pengembangan antenna menggunakan teknik *array* 2x1 elemen menggunakan tiga jenis impedansi yaitu $Z_1 = 100 \text{ Ohm}$, $Z_2 = 70.07 \text{ Ohm}$ dan $Z_0 = 50 \text{ Ohm}$. Tujuan penggunaan impedansi yang berbeda adalah untuk mengontrol nilai impedansi keluaran antenna agar menghasilkan kondisi *matching* dengan konektor yaitu 50 Ohm. Suatu keadaan *matching* apabila gelombang yang ditransmisikan dari saluran transmisi ke antenna dapat diteruskan seluruhnya dan tidak ada gelombang yang dipantulkan kembali.

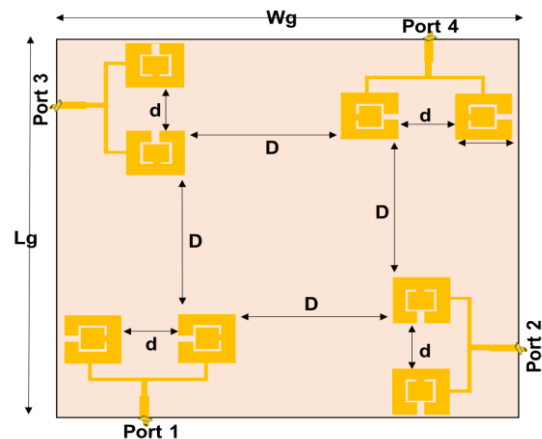
Nilai impedansi $Z_2 = 70.07 \text{ Ohm}$ digunakan sebagai penyesuai impedansi (*stub*) antara $Z_1 = 100 \text{ Ohm}$ yaitu impedansi antenna dan $Z_0 = 50 \text{ Ohm}$ yaitu sebagai impedansi saluran transmisi. Untuk mendapatkan nilai impedansi Z_{stub} dari antenna rancangan dapat menggunakan persamaan (7) [13]

$$Z_{\text{Stub}} = \sqrt{Z_0 * Z_1} \quad (7)$$

Desain dari antenna yang dikembangkan dan diusulkan ditunjukkan pada Gambar-6 dan Gambar-7 sedangkan Tabel-2 menunjukkan dimensi dari antenna.



Gambar-6. Desain antenna *array* 2x1 elemen yang dikembangkan.



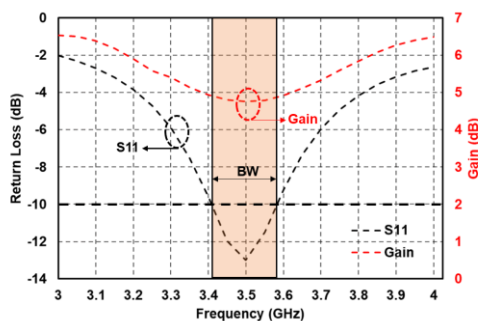
Gambar-7. Desain antenna *array* MIMO 4 elemen yang dikembangkan.

Tabel-2. Dimensi antenna

Parameter	Keterangan	Dimensi (mm)
W_G	Lebar <i>ground plane</i>	230
L_G	Panjang <i>ground plane</i>	86
W_p	Lebar <i>patch antenna</i>	35
L_p	Panjang <i>patch antenna</i>	29
W_s	Lebar <i>slot</i>	16
L_s	Panjang <i>slot</i> bagian atas	8
S	<i>Slot</i>	1
W_{si}	Panjang <i>slit</i>	3
W_f	Lebar saluran pencatu (50 Ohm)	5
L_f	Panjang saluran pencatu (50 Ohm)	20
W_{f1}	Lebar saluran pencatu (70,07 Ohm)	3
L_{f1}	Panjang saluran pencatu (70,07 Ohm)	15
W_{f2}	Lebar saluran pencatu (100 Ohm)	2
L_{f2}	Panjang saluran pencatu (100 Ohm)	14
W_f	Lebar saluran pencatu (50 Ohm)	5
d	Jarak antar element	34
D	Jarak antar antenna	43

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

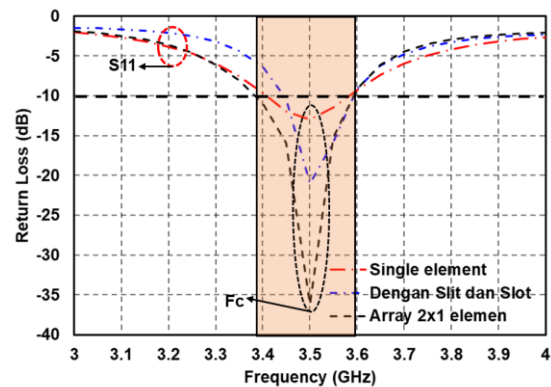
Pada bagian ini dilakukan analisis terhadap hasil simulasi dari metode-metode pengembangan *patch antenna*. Parameter antenna yang digunakan untuk dianalisis antara lain nilai *return loss*, *bandwidth*, *mutual coupling* antar elemen, nilai *gain* dan pola radiasi. Proses awal perancangan antenna adalah melakukan perhitungan manual dengan menggunakan persamaan (1), (2), (3), (4), (5) dan (6). Dari hasil perhitungan diperoleh nilai $W_P = 35$ mm dan $L_P = 29$ mm. sedangkan ukuran saluran pencatu diperoleh $W_F = 4,6$ mm. dari hasil perhitungan kemudian disimulasi pada perangkat *EM Simulation*.



Gambar-8. Perbandingan hasil simulasi parameter S_{11} dan *gain* dari antenna *single element*.

Dari hasil simulasi *return loss* dan *gain* yang ditunjukkan oleh Gambar-8, menunjukkan hasil simulasi dari antenna *single element* yang ditunjukkan dalam satu gambar. *Return loss* yang dihasilkan dari antenna *single element* sejajar dengan *gain* rentangan frekuensi berada pada 3.4 – 3.6 GHz. Pada frekuensi tepat 3,5 GHz didapatkan nilai *return loss* -13 dB dan *gain* sebesar 4,7 dB.

Perbandingan *return loss* dan *bandwidth* dari antenna awal yaitu *single element* dengan antenna yang telah dioptimasi dengan penambahan *slits* dan *slots*, dan metode *array 2x1* elemen ditunjukkan pada Gambar-9. Penambahan dengan metode *slits* dan *slot* telah berhasil mereduksi nilai *return loss* yang awalnya -13 dB pada antenna *single element*, menjadi -21 dB pada frekuensi kerja 3,5 GHz. Peningkatan parameter *return loss* dengan penambahan metode *slits* dan *slots* adalah sebesar 61% dibandingkan dengan antenna *single element* tanpa *slits* dan *slots*. Sedangkan penggunaan metode *array* berdampak terhadap nilai *return loss* menjadi -36 dB, selain berpengaruh terhadap parameter *return loss*, penambahan metode *array* juga berdampak pada peningkatan *bandwidth* yang semakin optimal. Pada antenna *single element* besar *bandwidth* yaitu 180 MHz dengan metode *array 2x1* elemen *bandwidth* yang didapatkan menjadi 220 MHz atau meningkat sebesar 22%.



Gambar-9. Perbandingan nilai *return loss* dan *bandwidth*.

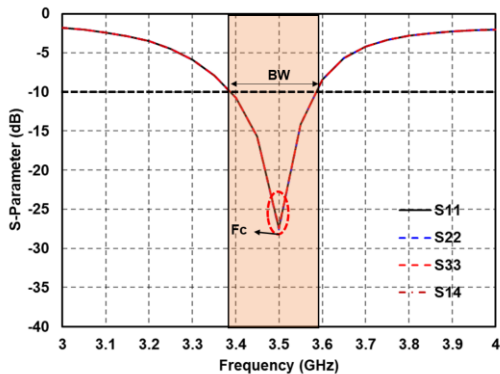
Berdasarkan hasil simulasi menandakan bahwa antenna bekerja pada frekuensi resonansi yang diinginkan yaitu pada frekuensi resonansi 3,5 GHz. Selain itu, karakteristik dari antenna sudah lebih optimal.

Setelah didapatkan desain antenna *array 2x1* elemen yang optimal. Tahapan selanjutnya melakukan perancangan antenna mikrostrip dengan metode *Multiple Input Multiple Output (MIMO)* dengan 4 elemen. Struktur dari antenna MIMO terdiri dari 4 antenna yang menggunakan *port-1*, *port-2*,

port-3 dan port-4 yang terhubung dengan konektor jenis SMA – Female. Antena MIMO 4 elemen dirancang dengan memisahkan antar antenna dengan sejauh jarak (D). untuk jarak antar antenna diperoleh dengan menggunakan persamaan (8):

$$D = \frac{1}{2} \lambda \quad (8)$$

Pada proses perancangan antenna MIMO ini dilakukan beberapa iterasi untuk mendapatkan parameter antenna yang ditargetkan. Parameter antenna yang diamati pada perancangan dengan metode MIMO yaitu parameter *mutual coupling* ditunjukkan dengan nilai ≤ -20 dB pada frekuensi kerja yang digunakan. Nilai *mutual coupling* ini menunjukkan bahwa antenna tidak saling interferensi antara antenna yang satu dengan antenna yang lain. Pengaruh yang terjadi akibat adanya *interferensi* akan berdampak pada nilai (S₁₂), (S₁₃), (S₁₄), (S₂₃), (S₂₄) dan (S₃₄), serta akan mereduksi *gain* dari antenna yang diusulkan.

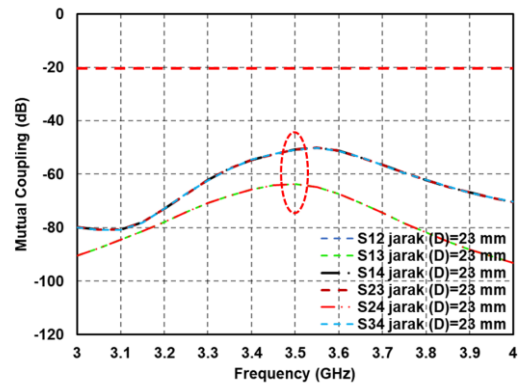


Gambar-10. Hasil simulasi dari S-Parameter pada antenna MIMO 4 elemen

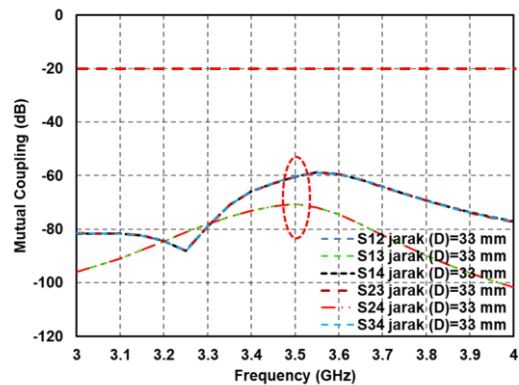
Gambar-10 menunjukkan parameter (S₁₁), (S₂₂), (S₃₃) dan (S₄₄) dari antenna MIMO 4 elemen. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai *return loss* dari tiap antenna memiliki nilai yang sama yaitu -27 dB. Hal ini menunjukkan tidak pengaruh pada *return loss* dari adanya penambahan antenna.

A. Mutual Coupling

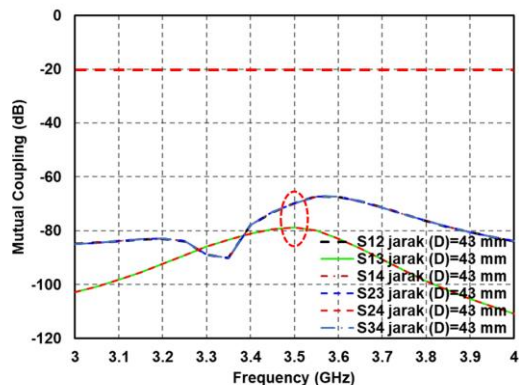
Pada perancangan metode MIMO parameter yang penting adalah nilai *mutual coupling*. Parameter ini menunjukkan adanya korelasi antara antenna 1 dengan antenna yang lainnya. Gambar-11 sampai Gambar-13 menggambarkan nilai *mutual coupling* pada masing-masing elemen antenna MIMO yang dipisahkan sejauh (D):



Gambar-11. Hasil simulasi parameter *mutual coupling* pada jarak (D) = 23 mm.



Gambar-12. Hasil simulasi parameter *mutual coupling* pada jarak (D) = 33 mm.

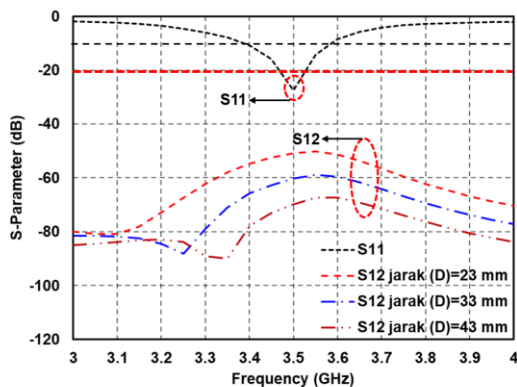


Gambar-13. Hasil simulasi parameter *mutual coupling* pada jarak (D) = 43 mm.

Dari hasil simulasi yang ditunjukkan oleh Gambar-11 didapatkan bahwa nilai *mutual coupling* (S₁₂), (S₁₄), (S₂₃), dan (S₃₄) pada jarak (D) = 23 mm hasilnya identik. Hal ini sebabkan karena letak dan jarak antar antenna sama, nilai yang diperoleh yaitu sebesar -50 dB. Nilai *mutual coupling* (S₁₃) sama dengan (S₂₄) hasil yang didapatkan sebesar -64 dB. Pada desain antenna MIMO 4 elemen dengan jarak

antar antenna yang dipisahkan sejauh (D) = 33 mm hasil simulasi *mutual coupling* yang diperoleh (S_{14}), (S_{23}), dan (S_{34}) sebesar -60 dB dan untuk nilai (S_{13}), (S_{24}) diperoleh nilai *mutual coupling* sebesar -70 dB. Pada Gambar-13 hasil simulasi *mutual coupling* dari antenna yang dipisahkan sejauh jarak (D) = 43 mm. Dari hasil simulasi diperoleh untuk nilai (S_{12}), (S_{14}), (S_{23}), dan (S_{34}) yaitu sebesar -70 dB, sedangkan nilai (S_{13}) dan (S_{24}) didapatkan sebesar 79 dB.

Terdapat perbedaan nilai *mutual coupling* antar (S_{12}) (S_{14}) (S_{23}) (S_{34}) dengan (S_{13}) (S_{24}), terlihat dari hasil simulasi nilai *mutual coupling* (S_{13}) dan (S_{24}) lebih rendah dibandingkan dengan (S_{12}) (S_{14}) (S_{23}) (S_{34}). Hal ini dipengaruhi oleh letak dari antenna, pada antenna 1 letak posisinya bersebelahan dengan antenna 2 dan antenna 4, begitupun dengan antenna 2 dan antenna 3. Sedangkan untuk antenna 1 dengan 3 letak posisi berseberangan.

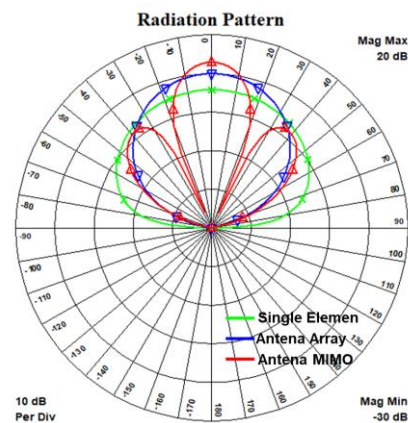


Gambar-14. Hasil simulasi (S_{11}) dan (S_{12})

Gambar-14 menampilkan nilai (S_{11}) dan (S_{12}) dari antenna yang dirancang, hal ini untuk menunjukkan pengaruh dari jarak (D) terhadap nilai *mutual coupling*. Berdasarkan hasil simulasi semakin jauh antenna dipisahkan, semakin optimal juga nilai *mutual coupling* yang didapatkan. Nilai optimal didapatkan pada jarak (D) = 43 mm dengan *mutual coupling* -70 dB pada frekuensi resonansi 3.5 GHz. perancangan antenna dengan metode MIMO 4 elemen memiliki karakteristik yang independensi yang baik antara *port-1*, *port-2*, *port-3* dan *port-4*. Independensi masing-masing antenna menunjukkan bahwa kinerja antenna MIMO tidak ada yang saling menginterferensi antara antenna yang satu dengan antenna yang lain, sehingga antenna dapat beresonansi dengan baik dan menghasilkan penguatan (*gain*) yang optimal.

B. Pola Radiasi

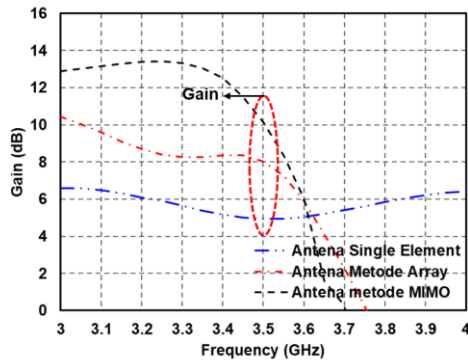
Pola radiasi antenna secara dua dimensi arah azimut dan elevasi ditunjukkan pada gambar 15. untuk antenna *single element* memiliki polaradiasi yang melebar (*broadside*) sehingga antenna *single element* memancarkan radiasi kesegala arah (*omnidirectional*). Pada desain antenna dengan metode *array 2x1* elemen menghasilkan pola radiasi yang memiliki sudut pancar lebih sempit dan lebih tajam dibandingkan dengan antenna *single element*. Hal ini disebabkan adanya faktor *array* yang menyebabkan antenna mengalami peningkatan nilai *gain*. Sedangkan pada desain antenna dengan teknik MIMO 4 elemen memiliki sudut berkas pancaran (ϕ) yang jauh lebih sempit dibanding dengan hasil iterasi lainnya. Hal ini menunjukkan semakin tinggi nilai *gain* maka sudut berkas pancaran semakin sempit, efek dari penyempitan dari sudut berkas pancaran adalah munculnya *side lobe* yang berada di samping *main lobe* yang memiliki titik radiasi maksimal. Penerapan metode *array* dan MIMO telah berhasil meningkatkan keterarahan dari pola radiasi antenna, hal ini ditunjukkan bahwa sudut berkas pancar dari antenna semakin mengecil sehingga fokus dari pancaran antenna semakin meningkat.



Gambar-15. Perbandingan hasil simulasi pola radiasi

C. Gain

Perbandingan hasil simulasi *gain* antara antenna *single element* dengan antenna MIMO 4 elemen ditunjukkan pada Gambar-16.



Gambar-16. Perbandingan hasil simulasi gain antenna.

Hasil simulasi gain antenna untuk desain antenna *single element* diperoleh gain maksimum sebesar 4,9 dB, sedangkan dengan menggunakan metode *array* 2x1 elemen diperoleh nilai gain sebesar 7,9 dB. Pada perancangan antenna dengan desain MIMO 4 elemen pada jarak (D) = 43 mm diperoleh gain maksimum sebesar 10,5 dB, Hal ini menggambarkan bahwa pengembangan antenna dengan metode *array* MIMO 4 elemen berhasil meningkatkan gain sebesar 53% dibandingkan dengan antenna *single element*.

Tabel-3. Perbandingan hasil simulasi kinerja antenna

Parameter	Desain Antena			
	Single Element	Dengan slit & slot	Array 2x1 elemen	MIMO 4 elemen
Return loss	-13 dB	-21 dB	-36 dB	-27 dB
Frekuensi cut-off	3410 -3490 MHz	3425 -3485 MHz	3378 -3598 MHz	3378 -3598 MHz
Bandwidth	180 MHz	160 MHz	220 MHz	220 MHz
Mutual coupling	-	-	-	-70 dB
Gain	4,9 dB	4,9 dB	7,9 dB	10,4 dB
Pola radiasi	Omni directional	Omni directional	Directional	Directional

Perbandingan keseluruhan hasil simulasi kinerja antenna dengan metode yang telah dilakukan, baik dengan metode penambahan *slits* dan *slots*, maupun penggunaan metode *array* 2x1 elemen, dan dengan metode MIMO 4 elemen ditunjukkan pada Tabel-3. Penambahan *slits* dan *slots* dapat mempengaruhi dari nilai *return loss*. Dari persepektif *bandwidth* dan *gain* antenna, metode *array* 2x1 elemen menunjukkan hasil yang lebih bagus dari *single element*, sedangkan untuk nilai *gain*, dan kapasitas saluran, metode MIMO 4 elemen menunjukkan hasil yang lebih bagus daripada antenna *array* 2x1 elemen. Selain itu, dengan metode MIMO 4 elemen menunjukkan jenis pola radiasi yang terarah

(*directional*) serta sudut berkas pancar dari antenna semakin mengecil sehingga fokus dari pancaran antenna semakin meningkat.

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Studi analisis hasil simulasi kinerja antenna dari metode yang digunakan pada desain pengembangan antenna mikrostrip telah berhasil dirancang antenna *array* MIMO 4 elemen yang bekerja pada frekuensi 3,5 GHz. Antena yang dirancang dioptimasi menggunakan teknik *slits* dan *slots* untuk mereduksi nilai *return loss*, dari hasil penambahan *slits* dan *slots* *return loss* tereduksi sebesar 61%. Selanjutnya, untuk menghasilkan *bandwidth* dan *gain* yang lebih optimal digunakan metode *array* 2x1 elemen. Dari penambahan metode *array* berhasil meningkatkan *bandwidth* sebesar 18% dan *gain* sebesar 38% dibandingkan dengan antenna *single element*. Sementara, dengan metode MIMO 4 elemen yang dipisahkan sejauh jarak (D) = 43 mm telah berhasil meningkatkan *gain* dan keterarahan. Dengan metode MIMO 4 elemen telah berhasil meningkatkan *gain* sebesar 10,5 dB atau meningkat 53% dan pola radiasi yang lebih terarah (*directional*) dibandingkan dengan antenna *single element*. Dari hasil simulasi didapatkan nilai *mutual coupling* sebesar -70 dB pada jarak antar antenna (D) = 43 mm. Selain itu, penerapan metode *array* MIMO 4 elemen telah berhasil mendesain antenna lebih dari satu (*multi-antenna*) yang dapat berfungsi pada waktu yang bersamaan sehingga kualitas komunikasi jauh lebih baik, serta proses transmisi data menjadi lancar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan banyak terimakasih kepada dosen pembimbing yang telah memberi masukan untuk penulisan jurnal ini. Peneliti juga mengucapkan terimakasih kepada Lembaga Penelitian Universitas Trisakti yang telah memfasilitasi dan mendukung penelitian ini secara penuh melalui skema Hibah Penelitian Internal Tahun 2020/2021.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Nakamura, 'Research activities of the fifth generation mobile communication promotion forum radio access technologies towards the fifth

- generation mobile communications system', in *2015 21st Asia-Pacific Conference on Communications (APCC)*, Kyoto, Oct. 2015, pp. 169–173. doi: 10.1109/APCC.2015.7412504.
- [2] W. Dewantara, A. Wisnu Widhi N, and W. HP, 'Analisis Pengaruh Down Tilt Antena Untuk Mengurangi Kegagalan Handover Pada Jaringan Seluler Gsm Pt. Indosat, Tbk. Purwokerto', *Dinamika Rekayasa*, vol. 6, no. 2, Aug. 2010.
- [3] A. Hikmaturokhman, K. Ramli, and M. Suryanegara, 'Spectrum Considerations for 5G in Indonesia', in *2018 International Conference on ICT for Rural Development (IC-ICTRuDev)*, Badung Regency, Indonesia, Oct. 2018, pp. 23–28. doi: 10.1109/ICICTR.2018.8706874.
- [4] S. Duangsuwan and P. Jamjareegulgarn, 'Detection of data symbol in a Massive MIMO systems for 5G wireless communication', in *2017 International Electrical Engineering Congress (iEECON)*, Pattaya, Thailand, Mar. 2017, pp. 1–4. doi: 10.1109/IEECON.2017.8075832.
- [5] D. T. T. Tu, N. Van Hoc, H. Quan, and V. Van Yem, 'Compact MIMO antenna with low mutual coupling using defected ground structure', in *2016 IEEE Sixth International Conference on Communications and Electronics (ICCE)*, Ha-Long City, Quang Ninh Province, Vietnam, Jul. 2016, pp. 242–247. doi: 10.1109/CCE.2016.7562644.
- [6] M. Abdullah, Y.-L. Ban, K. Kang, M.-Y. Li, and M. Amin, 'Compact four-port MIMO antenna system at 3.5 GHz', in *2017 IEEE 2nd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC)*, Chongqing, China, Mar. 2017, pp. 656–660. doi: 10.1109/IAEAC.2017.8054098.
- [7] I. Surjati, S. Alam, Y. K. Ningsih, Marsun, L. Sari, and J. Tanuwijaya, 'Gain Enhancement of Circular Polarization Microstrip Antenna Based on Array 8x2 Element', in *2020 6th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT)*, Yogyakarta, Indonesia, Sep. 2020, pp. 1–4. doi: 10.1109/ICWT50448.2020.9243634.
- [8] Sulistyaningsih, P. Putranto, M. Wahab, and T. T. Estu, 'Microstrip patch array antenna with inset fed and perturbation for a 3 GHz S-band coastal radar', in *2017 International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics, and Telecommunications (ICRAMET)*, Jakarta, Oct. 2017, pp. 174–179. doi: 10.1109/ICRAMET.2017.8253170.
- [9] I. Surjati, *Perancangan antena mikrostrip*. Jakarta: Universitas Trisakti, 2018.
- [10] C. A. Balanis, *Antenna theory: analysis and design*, 3rd ed. Hoboken, NJ: John Wiley, 2005.
- [11] Md. A. Kaium Khan, M. I. Ullah, T. A. Shaem, R. Kabir, and M. A. Alim, 'Ultra High Efficient 2x1 Graphene Patch Antenna Arrays for Single and Dual Band Operation', in *2019 1st International Conference on Advances in Science, Engineering and Robotics Technology (ICASERT)*, Dhaka, Bangladesh, May 2019, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICASERT.2019.8934472.
- [12] L. Liu, C. Liu, Z. Li, X. Yin, and Z. N. Chen, 'Slit-Slot Line and Its Application to Low Cross-Polarization Slot Antenna and Mutual-Coupling Suppressed Tripolarized MIMO Antenna', *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 67, no. 1, pp. 4–15, Jan. 2019, doi: 10.1109/TAP.2018.2876166.
- [13] F. De Flaviis, L. Jofre, J. Romeu, and A. Grau, *Multiantenna Systems for MIMO Communications*. Arizona: Morgan & Claypool, 2008.