

Original Article

e-ISSN: 2581-0545 - <https://journal.itera.ac.id/index.php/jsat/>

Received 11th April 2020
Accepted 15th February 2021
Published 22nd July 2021

Open Access

DOI: 10.35472/jsat.v5i2.336

Perancangan dan Simulasi Antena Mikrostrip MIMO 4×4 Rectangular Patch dengan Double U-Slot dan DGS pada Frekuensi 26 GHz untuk Aplikasi 5G

Mohammad Anthoni^a, Rheyuniarto Sahlendar Asthan^a, Anita Pascawati^b, Dick Maryopi^c, Muhammad Reza Kahar Aziz^a

^aProgram Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Sumatera, Jalan Terusan Ryacudu, Desa Way Hui, Kecamatan Jati Agung, Lampung Selatan, 35365 Indonesia

^bPusat Teknologi Roket, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), Jl. Raya Lapan Rumpin No.2 Mekarsari, Rumpin, Kab.Bogor, Jawa Barat 16350

^cTelkom University, Jalan Telekomunikasi Terusan Buah Batu No.1, Kecamatan Dayeuhkolot, Bandung, Jawa Barat 40257

* Corresponding E-mail: mohammad.13117046@student.itera.ac.id

Abstract: This paper proposes a microstrip antenna for fifth Generation (5G) technology with a carrier frequency of 26 GHz. Furthermore, the antenna is designed with double U-slots added to a rectangular patch using Defected Ground Structure (DGS) to increase the bandwidth and reduce mutual coupling. It is expected that the antenna has a directional radiation pattern and a linear polarization. For the feeding of the patch, the proximity coupled feed line method is used. The proximity coupled feed line is placed on a different substrate layer with the radiating element. The advantage of this feeding method is that it can increase the impedance bandwidth. The substrate material used is RT Duroid 5880, which is chosen because it can produce more oversized dimensions, work at high frequencies, and have a small material permittivity. The simulation results show that the highest impedance bandwidth value is 1.6564 GHz, the mutual coupling value are below -20 dB, and the gain value is 7.1151 dB.

Keywords: *MilimeterWave, MIMO, double U-Slot, Defected Ground Structure, 5G*

Abstrak: Artikel ini mengusulkan antena mikrostrip untuk teknologi generasi ke-5 (5G) dengan frekuensi *carrier* 26 GHz. Antena dirancang dengan tambahan *double U-slot* pada bagian *patch*-nya serta menggunakan metode *Defected Ground Structure* (DGS) untuk meningkatkan *bandwidth* dan mengurangi efek *mutual coupling*. Antena yang dirancang memiliki pola radiasi *directional* dan terpolarisasi secara linier. Untuk catuan ke *patch*, digunakan metode *proximity coupled*. Pencatu *proximity* di tempatkan pada lapisan substrat yang berbeda dengan elemen peradiasi. Kelebihan dari metode pencatuan ini adalah dapat meningkatkan *bandwidth* impedansi. Bahan substrat yang digunakan adalah RT Duroid 5880, bahan ini dipilih karena mampu digunakan untuk menghasilkan bentuk dimensi yang lebih besar dan dapat bekerja di frekuensi tinggi serta memiliki permitivitas bahan yang kecil. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai *bandwidth* impedansi tertinggi sebesar 1,6564 GHz, nilai *mutual coupling* memiliki batas di bawah -20 dB, dan nilai *gain* sebesar 7,1151 dB.

Kata Kunci: *milimeterWave, MIMO, double U-Slot, Defected Ground Structure, 5G*



Pendahuluan

Saat ini, teknologi sistem telekomunikasi sudah berkembang sampai generasi ke-5 (5G) yang diharapkan dapat mengatasi efisiensi dan kapasitas jaringan serta meningkatkan kecepatan data dengan konsumsi daya yang rendah. Menurut *International Telecommunication Union* (ITU), jaringan 5G akan bekerja pada kecepatan sebesar 20 Gbps pada arah *downlink* dan 10 Gbps pada arah *uplink*. Waktu untuk mengirimkan data dari sebuah perangkat ke perangkat lain (*latency*) dari 5G akan mencapai 1 milidetik (ms) [1]. Sebagian besar kanal frekuensi yang digunakan dalam pengembangan 5G menggunakan kanal frekuensi di atas 6 GHz, karena kanal frekuensi di bawah 6 GHz telah dialokasikan untuk berbagai fungsi lainnya. Selain itu frekuensi di atas 6 GHz, terutama frekuensi 30 – 300 GHz dengan panjang gelombang orde milimeter (mmWave) memiliki *bandwidth* yang besar sehingga memiliki kemampuan dalam mentransmisi data dalam jumlah besar [2].

Antena merupakan salah satu perangkat telekomunikasi, dimana penggunaan frekuensi tinggi pada teknologi 5G mengakibatkan dimensi suatu antena mengecil. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu antena yang mudah untuk diintegrasikan pada sistem. Salah satu jenis antena yang cocok untuk menjadi kandidat teknologi 5G yaitu antena mikrostrip karena memiliki dimensi yang lebih kecil, biaya pembuatan yang lebih murah, dan fabrikasi yang mudah. Namun antena mikrostrip memiliki kelemahan seperti *bandwidth* yang sempit sehingga dibutuhkan metode khusus untuk dapat meningkatkan *bandwidth* antena mikrostrip.

Antena *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) merupakan sebuah teknologi antena dengan banyak elemen yang digunakan kedua sumber *transmitter* dan *receiver* untuk meningkatkan kapasitas kanal karena jumlah antena minimum berpengaruh secara linier terhadap kapasitas kanal. Sebelumnya telah dilakukan beberapa penelitian antena mikrostrip untuk aplikasi 5G. [3] telah merancang antena MIMO 2×2 berupa *rectangular patch array* menggunakan *U-slot* dengan hasil berupa *bandwidth* 1,15 GHz, frekuensi kerja 15 GHz, *return loss* sebesar -20,9094 dB, *gain* sebesar 9,936 dB, pola radiasi *unidirectional*, dan polarisasi linier [3]. Penelitian lainnya yaitu [4] telah merancang antena mikrostrip *rectangular patch array* 1×2 menggunakan *U-slot* bekerja pada frekuensi 28 GHz dengan hasil berupa *bandwidth* 1,62 GHz, *return loss* sebesar -29,38 dB, *gain* sebesar 7,52 dB, pola radiasi *unidirectional*, dan polarisasi linier [4]. Selanjutnya [5] telah merancang antena MIMO 37 GHz dengan hasil berupa *bandwidth*

2,12 GHz, *return loss* sebesar -28,483 dB, dan *gain* sebesar 11,8 dBi. Kemudian, [6] telah merancang antena mikrostrip berbentuk lingkaran menggunakan metode *Defected Ground Structure* (DGS) dengan hasil berupa *bandwidth* 2,18 GHz, *return loss* -41,23 dB, VSWR 1,017 [6].

Dari beberapa penelitian tersebut, penulis mencoba mengombinasikan dan mengembangkan berbagai metode pada penelitian sebelumnya pada frekuensi kerja 26 GHz karena frekuensi tersebut belum banyak diteliti dan dikarakterisasi dengan baik untuk sistem 5G [7]. Penulis mencoba meningkatkan metode *U-slot* pada penelitian sebelumnya menjadi *double U-slot* dan meningkatkan jumlah antena MIMO menjadi MIMO 4×4, lalu melakukan percobaan DGS dengan bentuk *double U-slot* serta menggunakan metode pencatutan *proximity coupled feed line*. Antena yang dirancang memiliki *bandwidth* impedansi tertinggi sebesar 1,6564 GHz, hal ini lebih baik jika dibandingkan pada penelitian sebelumnya [3] dengan *U-Slot* pada antena MIMO 2×2 *rectangular patch array*. Antena yang dirancang juga memiliki nilai *mutual coupling* yang memenuhi kondisi batas yang ditentukan dan nilai *gain* sebesar 7,1151 dB.

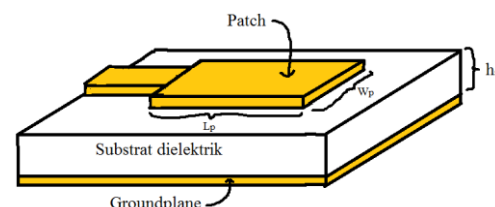
Model Sistem

Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip terdiri dari elemen peradiasi (*patch*), substrat *dielectric*, saluran transmisi, dan *ground plane*. Bagian-bagian dasar dari antena mikrostrip dapat dilihat pada **Gambar 1**. Ukuran lebar dari *patch* (W_p) dan panjang *patch* (L_p) dapat dihitung menggunakan (1), (2) [8],

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

$$L_p = \frac{c}{2f\sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2\Delta L, \quad (2)$$



Gambar 1. Bagian – bagian antena mikrostrip.

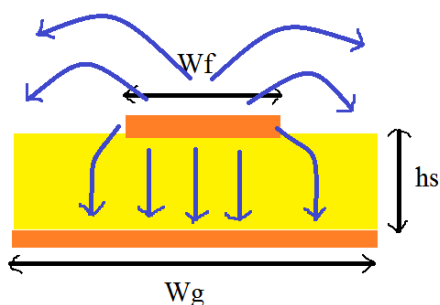
dimana c adalah kecepatan cahaya di ruang hampa (3×10^8 m/s), f adalah frekuensi kerja antenna yang diinginkan (Hz), dan ϵ_r adalah permitivitas relatif suatu bahan substrat, ϵ_{eff} adalah permitivitas efektif atau konstanta dielektrik efektif, dan ΔL adalah pertambahan panjang *patch* akibat efek *fringing* (mm). Perlu diketahui bahwa efek *fringing* adalah elemen peradiasi seolah-olah menjadi lebih lebar dibandingkan dengan aslinya. Efek *fringing* dapat terjadi karena konduktor pada saluran mikrostrip tidak bersifat *perfectly magnetic conducting* sehingga medan elektromagnetik yang timbul sepenuhnya tidak tegak lurus terhadap *patch* maupun *groundplane* seperti pada **Gambar 2** [9]. Kemudian nilai ΔL dapat dihitung dengan (3),

$$\Delta L = 0,412h_s \frac{(\epsilon_{eff} + 0,3) \left(\frac{W_p}{h_s} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0,258) \left(\frac{W_p}{h_s} + 0,8 \right)}, \quad (3)$$

dimana h_s adalah ketebalan substrat. Sedangkan, untuk konstanta dielektrik ϵ_{eff} dapat ditentukan menggunakan (4) atau (5) [10],

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h_s}{W_p} \right]^{-\frac{1}{2}}, \quad \frac{W_p}{h_s} \geq 1, \quad (4)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\left[1 + 12 \frac{h_s}{W_p} \right]^{-\frac{1}{2}} + 0,04 \left(1 - \frac{W_p}{h_s} \right)^2 \right], \quad \frac{W_p}{h_s} < 1. \quad (5)$$



Gambar 2. Efek *fringing* pada antenna mikrostrip.

Substrat

Substrat dielektrik berfungsi sebagai media penyalur gelombang elektromagnetik dari catuan menuju daerah di bawah *patch*. Semakin tebal substrat dan semakin kecil konstanta dielektrik relatif maka akan memperbesar *bandwidth* [11]. Untuk antenna mikrostrip, substrat dielektrik yang digunakan mempunyai konstanta dielektrik relatif dengan jangkauan $2,2 \leq \epsilon_r \leq 12$.

Groundplane

Groundplane adalah elemen pentanahan atau pembumian bagi sistem antenna mikrostrip. *Groundplane* berfungsi sebagai *reflector* yang memantulkan sinyal yang tidak diinginkan. Persamaan untuk menentukan panjang dan lebar minimum *groundplane*, L_g dan W_g dilihat pada (6) dan (7) [12],

$$L_g \geq 6h_s + L_p, \quad (6)$$

$$W_g \geq 6h_s + W_p. \quad (7)$$

Saluran Transmisi

Pencatuan *microstrip feed line* yaitu saluran pencatu yang berada pada lapisan yang sama dengan elemen peradiasi dan pada umumnya pencatu memiliki lebar yang lebih sempit dibandingkan elemen peradiasi. Untuk menentukan panjang saluran mikrostrip, L_f , dengan (8) [8],

$$L_f = \frac{\lambda}{4\sqrt{\epsilon_{eff}}} = \frac{c}{4f\sqrt{\epsilon_{eff}}}, \quad (8)$$

dimana λ adalah panjang gelombang. Kemudian, untuk menentukan lebar saluran mikrostrip dapat dihitung menggunakan (9) atau (10), [8]

$$W_f = \frac{2h_s}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} (\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r}) \right], \quad \frac{W_f}{h_s} > 2, \quad (9)$$

$$W_f = h_s \left(\frac{8e^A}{e^{2A} - 2} \right), \quad \frac{W_f}{h_s} \leq 2, \quad (10)$$

dimana

$$A = \frac{Z_o}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left[0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right]}, \quad B = \frac{60\pi^2}{Z_o\sqrt{\epsilon_r}}.$$

U-Slot

[5] menunjukkan bahwa dengan penambahan *U-Slot* dapat meningkatkan bandwidth sebesar 50,7% [5]. Kemudian, untuk menentukan ukuran *U-slot* dapat dihitung dengan (11) - (13) [5],

$$F = \frac{\lambda}{60} = \frac{c}{f \times 60}, \quad (11)$$

$$C \geq 0,3W_p, \quad (12)$$

$$D = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2(L_p + \Delta L - F), \quad (13)$$

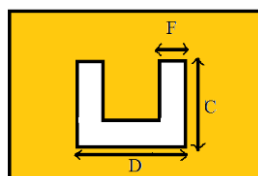
dimana letak F , C , dan D dapat dilihat pada **Gambar 3**. Sedangkan bandwidth yang dihasilkan dari antenna *double U-Slot patch* dengan ketebalan substrat 16,5 mm dapat meningkat sebesar 44% [13]. Menentukan posisi *double U-Slot* pada *patch* merupakan tantangan utama dalam desain untuk mendapatkan frekuensi kerja yang diinginkan [14].

Defected Ground Structure

Defected Ground Structure (DGS) adalah sebuah metode yang digunakan untuk menekan gelombang permukaan dengan cara menghilangkan (*etch*) sebagian bidang *ground* [15]. Dalam penelitian ini akan dicari hasil yang optimal dari penerapan DGS berbentuk *double U* dengan cara menentukan posisi dan ukuran yang tepat. DGS digunakan untuk meningkatkan bandwidth impedansi antenna mikrostrip.

Mutual Coupling

Mutual coupling adalah suatu efek gandingan yang terjadi pada antenna *array* dimana munculnya tegangan di satu elemen antenna akibat arus elemen antenna yang berdekatan. Salah satu penyebabnya adalah gelombang permukaan. Bila jarak antar elemen semakin berdekatan, efek *mutual coupling* akan semakin meningkat [16]. Jarak antar elemen antenna diperlukan agar tidak terjadi *mutual coupling*, akan tetapi jarak antar antenna juga dapat diminimalkan untuk mengurangi ukuran antenna, dengan syarat tetap memenuhi kondisi *mutual coupling* di bawah -20 dB [3].

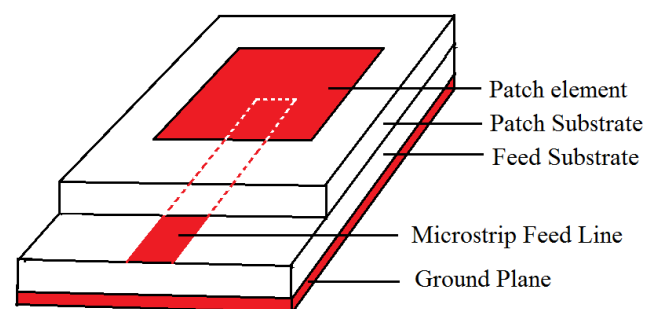


Gambar 3. Bentuk *U-Slot* pada *patch* antenna mikrostrip.

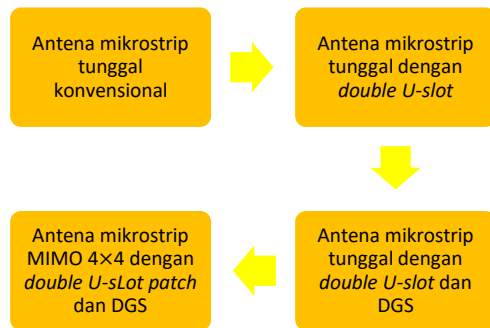
Metode

Antena yang dirancang memiliki bentuk *patch* persegi panjang disusun MIMO 4×4. Masing-masing antenna dicatu menggunakan metode *proximity coupled feed*. Metode ini juga disebut sebagai skema kopling elektromagnetik. Pencatutan ini menggunakan dua substrat dielektrik, satu substrat untuk elemen peradiasi dan satu substrat lainnya untuk saluran pencatu dan *groundplane* pada bagian bawahnya. Garis saluran pencatu terletak diantara kedua substrat tersebut [16]. Bentuk pencatutan *proximity coupled feed* dapat dilihat pada **Gambar 4**. Keuntungan utama dari teknik pencatutan ini adalah mampu mengeliminasi radiasi pada elemen pencatu (*spurious feed radiation*) dan mampu menghasilkan bandwidth yang tinggi (13%), karena meningkatkan ketebalan dari *microstrip patch* antenna [16]. *Matching* dapat dicapai dengan mengontrol panjang garis saluran dan lebar ke garis rasio *patch*. Kerugian utama dari skema saluran ini adalah sulit untuk fabrikasi, karena penggabungan dua layer *substrate* yang berbeda perlu penggabungan yang akurat. Juga ada peningkatan ketebalan dari keseluruhan antenna [17]. Kemudian antenna dirancang beroperasi pada frekuensi 26 GHz. Adapun parameter antenna 5G yang dirancang dapat dilihat pada **Tabel 1**. Jenis bahan substrat yang digunakan adalah RT Duroid 5880 dengan ϵ_r sebesar 2,2 lalu h_s sebesar 0,508 mm dan rugi-rugi *tangent* dielektrik sebesar 0,0009.

Duroid 5880 dipilih karena memiliki nilai rugi-rugi *tangent* dielektrik yang rendah sehingga mampu menghasilkan *gain* yang tinggi serta mampu digunakan pada perangkat berfrekuensi tinggi [3]. Kemudian, konektor yang digunakan pada penelitian ini adalah konektor *Sub Miniature version A* (SMA) dengan impedansi 50 Ω karena kabel *probe* yang dihubungkan dengan antenna memiliki impedansi 50 Ω . Tahapan perancangan antenna tunggal terdiri dari 4 tahap, seperti pada **Gambar 5**.



Gambar 4. Metode pencatutan *proximity coupled feed*.



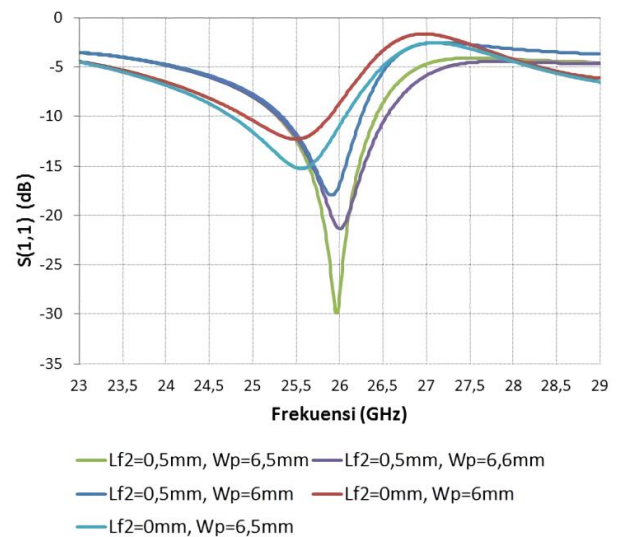
Gambar 5. Diagram alir perancangan antenna mikrostrip MIMO 4×4 dengan double U-Slot patch dan DGS.

Tabel 1. Parameter antenna 5G yang dirancang.

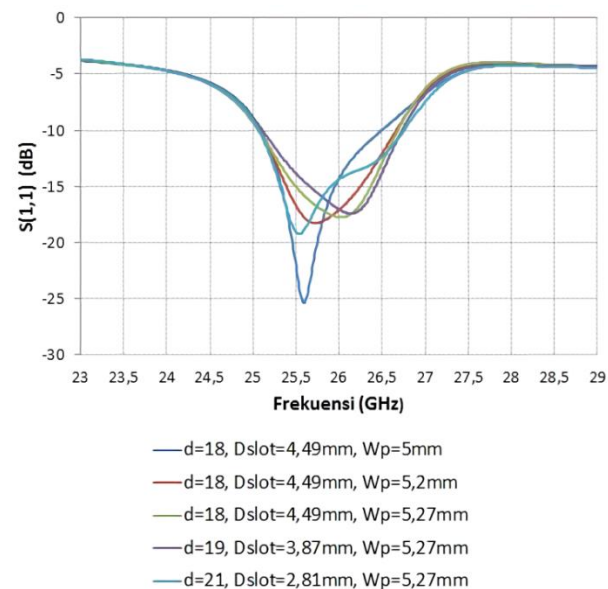
Parameter	Nilai
Frekuensi	26 GHz
$S(1,1)$	< -10 dB
Bandwidth	> 1 GHz
Polarisasi	Linier
Pola radiasi	Directional

Pada tahap pertama, antenna tunggal konvensional dilakukan optimasi dengan mengatur W_p dan panjang saluran transmisi tambahan (L_{f2}) untuk memperoleh frekuensi tengah dan $S(1,1)$ yang sesuai. Hasil optimasi nilai S_{11} -Parameter antenna tunggal konvensional dapat dilihat pada **Gambar 6** yang menunjukkan bahwa nilai $S(1,1)$ terbaik adalah -21,3642 dB pada frekuensi 26 GHz dengan nilai bandwidth impedansi sebesar 1,2383 GHz atau *fractional bandwidth* 4,76 %. Nilai W_p berdasarkan hasil perhitungan menggunakan (1) adalah 4,561 mm kemudian diperoleh hasil optimasi dengan nilai 6,6 mm. Untuk L_{f2} awalnya bernilai 0 mm. Selanjutnya dilakukan penambahan panjang menjadi 0,5 mm, sehingga dari kedua nilai hasil optimasi tersebut diperoleh nilai $S(1,1)$ yang memenuhi kriteria.

Pada tahap kedua, antenna tunggal ditambahkan *double U-slot* pada bagian *patch* kemudian dilakukan optimasi dengan mengatur ulang W_p dan D_{slot} . **Gambar 7** menunjukkan bahwa nilai $S(1,1)$ terbaik sebesar -17,7391 dB pada frekuensi 26,02 GHz dengan nilai *bandwidth* impedansi sebesar 1,6165 GHz atau *fractional bandwidth* 6,2173%. Nilai W_p pada hasil optimasi sebelumnya adalah 6,6 mm, kemudian diperoleh hasil optimasi lebar *patch* terbaru dengan nilai 5,27 mm. Untuk nilai D_{slot} dilakukan optimasi sedemikian rupa sehingga diperoleh nilai sebesar 4,49 mm, sehingga dari kedua nilai hasil optimasi tersebut diperoleh nilai S_{11} -Parameter yang memenuhi kriteria.



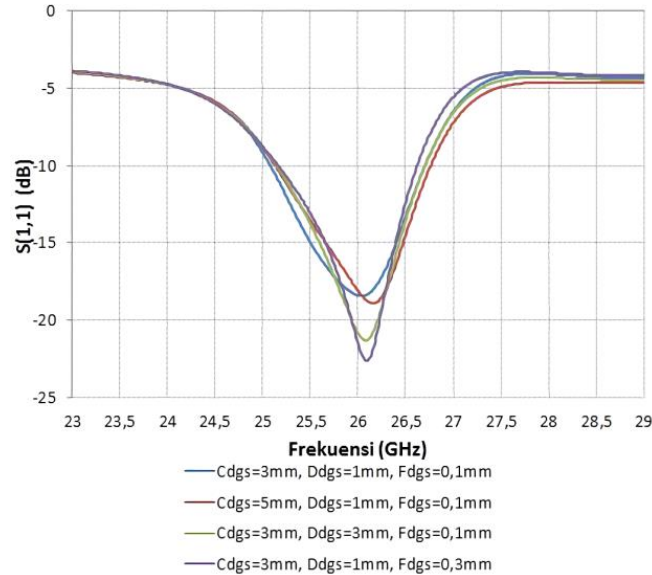
Gambar 6. Optimasi $S(1,1)$ antenna mikrostrip tunggal konvensional.



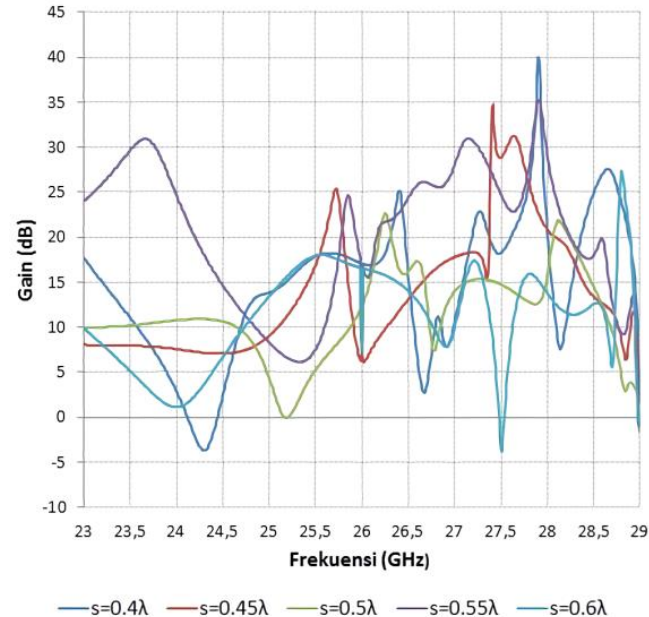
Gambar 7. Optimasi $S(1,1)$ antenna mikrostrip tunggal dengan *double U-slot patch*.

Pada tahap ketiga, antenna pada tahap sebelumnya kemudian diberi DGS berbentuk *double U* kemudian dilakukan optimasi panjang C_{dgs} dan D_{dgs} , masing-masing sebesar 3 mm dan 1 mm, serta lebar F_{dgs} sebesar 0,1 mm seperti pada **Gambar 8**, yang menunjukkan bahwa nilai $S(1,1)$ terbaik adalah -18,4291 dB pada frekuensi 26,04 GHz. Nilai *bandwidth* impedansi sebesar 1,6228 GHz atau *fractional bandwidth* sebesar 6,24 %. Pada tahap keempat, antenna tunggal

disusun menjadi antenna MIMO 4×4 kemudian di atur jarak antar elemennya sebesar 0,6 kali panjang gelombang (λ) sehingga menghasilkan bentuk nilai *gain* terbaik seperti pada **Gambar 9** dengan *bandwidth* impedansi sebesar 1,6564 GHz atau *fractional bandwidth* 7,2 %.



Gambar 8. Optimasi *S* (1,1) antenna mikrostrip tunggal dengan *double U-slot patch* dan DGS.



Gambar 9. Optimasi *gain* antenna mikrostrip MIMO 4×4 dengan *double U-slot patch* dan DGS.

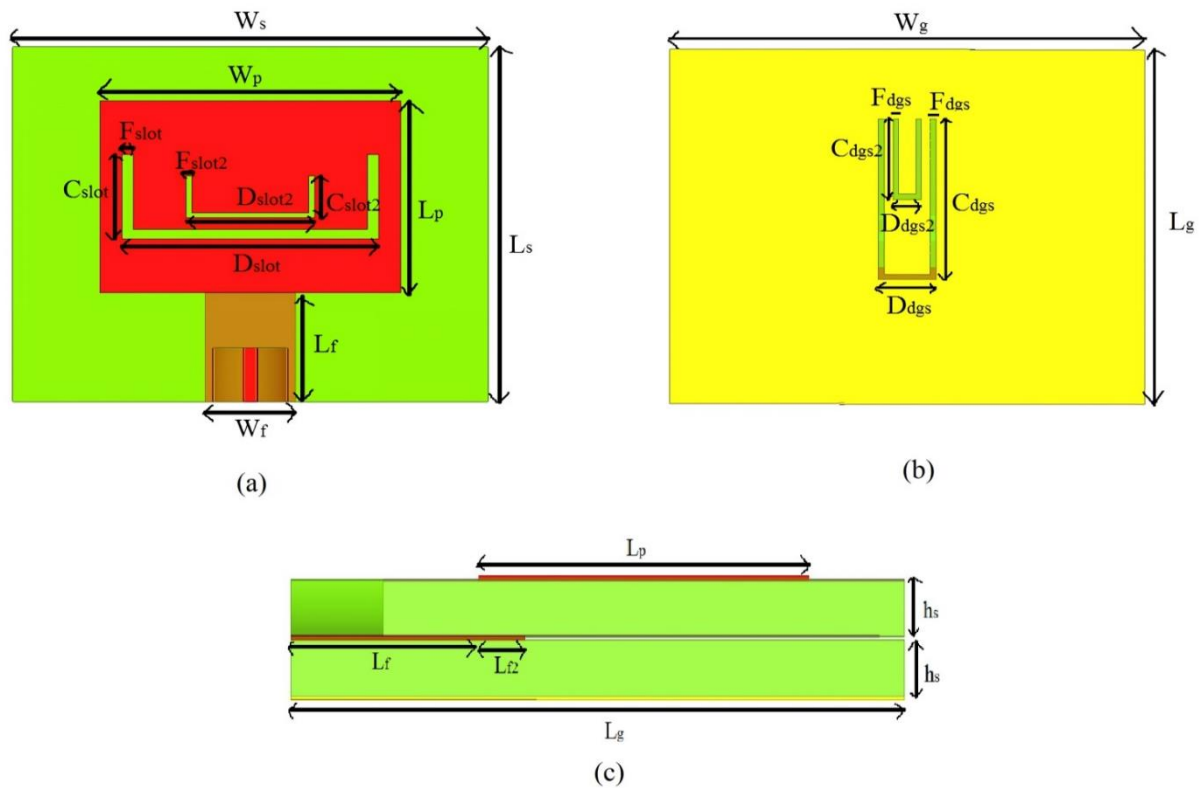
Lalu untuk bentuk antenna tunggal dengan *double U-slot* dan DGS dapat dilihat pada **Gambar 10**. Lalu parameter serta dimensi antenna tunggal dapat dilihat pada **Tabel 2**. Sedangkan untuk bentuk antenna MIMO 4×4 yang diusulkan dapat dilihat pada **Gambar 11**. Lalu parameter serta dimensi antenna MIMO 4×4 dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 2. Parameter-parameter dimensi antenna tunggal mikrostrip tunggal dengan *double U-slot patch* dan DGS.

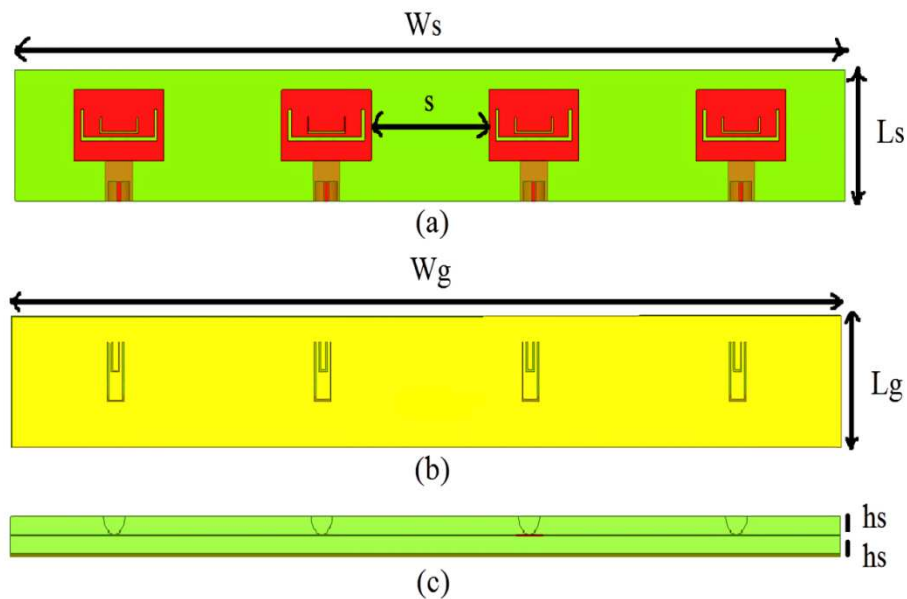
Parameter	Nilai (mm)	Parameter	Nilai (mm)
L_p	3,56	F_{slot}	0,19
W_p	5,27	C_{slot}	1,58
h_p	0,035	D_{slot}	4,49
L_s	6,61	F_{slot2}	0,1
W_s	8,32	C_{slot2}	0,79
h_s	0,508	D_{slot2}	2,25
L_g	6,61	F_{dgs}	0,1
W_g	8,32	C_{dgs}	3
h_g	0,035	D_{dgs}	1
L_f	2,04	C_{dgs2}	1,5
L_{f2}	0,5	D_{dgs2}	0,5
W_f	1,57		

Tabel 3. Parameter-parameter dimensi antenna mikrostrip MIMO 4 × 4 dengan *double U-slot patch* dan DGS.

Parameter	Nilai (mm)	Parameter	Nilai (mm)
L_p	3,56	F_{slot}	0,19
W_p	5,27	C_{slot}	1,58
h_p	0,035	D_{slot}	4,49
L_s	6,61	F_{slot2}	0,1
W_s	48,77	C_{slot2}	0,79
h_s	0,508	D_{slot2}	2,25
L_g	6,61	F_{dgs}	0,1
W_g	48,77	C_{dgs}	3
h_g	0,035	D_{dgs}	1
L_f	2,04	C_{dgs2}	1,5
L_{f2}	0,5	D_{dgs2}	0,5
W_f	1,57	s	6,92



Gambar 10. (a) Bentuk antenna mikrostrip tunggal dengan *double U-slot patch* dan DGS tampak atas, (b) Bentuk antenna mikrostrip tunggal dengan *double U-slot patch* dan DGS tampak bawah, dan (c) Bentuk antenna mikrostrip tunggal dengan *double U-slot patch* dan DGS tampak samping.



Gambar 11. (a) Bentuk antenna mikrostrip MIMO 4×4 dengan *double U-slot patch* dan DGS tampak atas, (b) Bentuk antenna mikrostrip MIMO 4×4 dengan *double U-slot patch* dan DGS tampak bawah, dan (c) Bentuk antenna mikrostrip MIMO 4×4 dengan *double U-slot patch* dan DGS tampak samping.

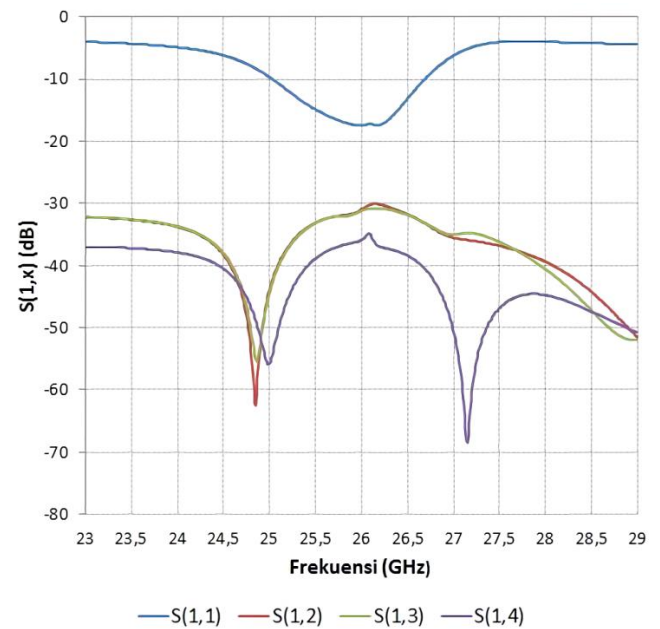
Hasil dan Pembahasan

S-Parameters dan Bandwidth Impedansi

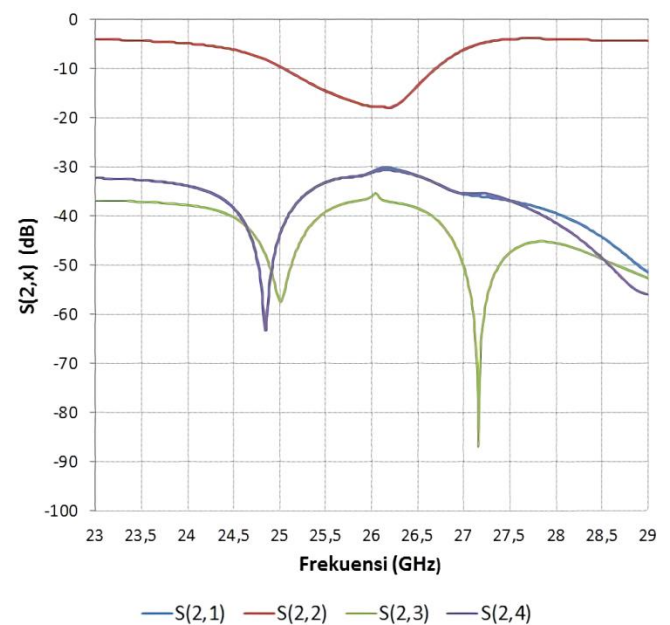
Nilai *S-Parameters* antenna MIMO 4×4 dapat dilihat pada **Gambar 12 - 15**. **Gambar 16** menunjukkan perbandingan grafik *S11-Parameter* antara antenna tunggal dengan antenna MIMO 4×4 . Nilai *return loss* dan *bandwidth* antenna tunggal dan antenna MIMO 4×4 dapat dilihat pada **Tabel 4** yang menunjukkan bahwa *return loss* pada antenna tunggal tanpa *double U-Slot* dan DGS memiliki nilai yang lebih baik yakni -21,3642 dB jika dibandingkan dengan antenna tunggal dengan penambahan *double U-Slot* dan DGS yakni -18,4291 dB. Nilai *return loss* sendiri dipengaruhi oleh adanya *matching impedansi* antara antenna dengan saluran transmisi dengan mengatur ukuran luas *patch*, saluran transmisi dan *ground plane*. Nilai *return loss* yang diperoleh pada **Tabel 4** telah memenuhi kriteria di bawah -10 dB. Hal ini menunjukkan bahwa impedansi antara antenna dengan saluran transmisi sudah dalam keadaan *matching*. Nilai *bandwidth* impedansi akan meningkat secara bertahap dengan dilakukan penambahan *double U-Slot* lalu DGS kemudian antenna MIMO 4×4 . Antena mikrostrip yang telah ditambahkan *slot* menyebabkan kopling induktif dihantarkan dari catuan menuju ke slot. Kopling induktif yang semakin besar dapat menyebabkan faktor kualitas antenna menjadi berkurang. Penurunan faktor kualitas berdampak pada *bandwidth* menjadi lebih lebar karena *bandwidth* berbanding terbalik dengan faktor kualitas [8] Semakin besar *bandwidth* antenna maka kinerja dari antenna tersebut akan semakin bagus karena akan memperbesar kapasitas kanal transmisi, sehingga mampu menampung lebih banyak informasi.

Tabel 4. Perbandingan nilai *S11-Parameter* antenna mikrostrip tunggal dan MIMO 4×4 .

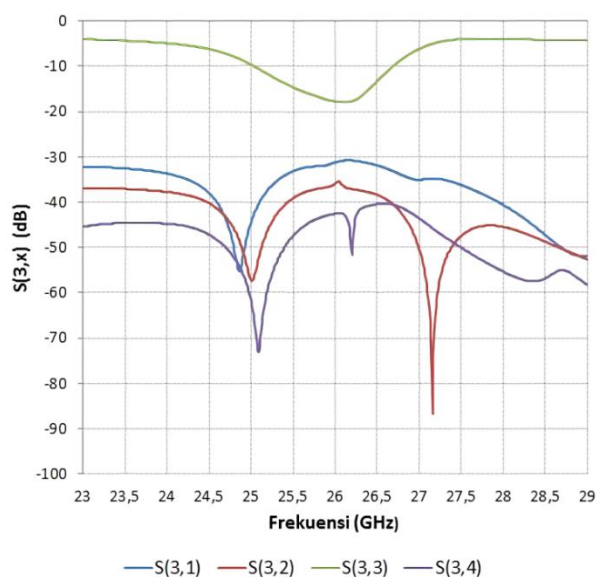
Jenis antenna mikrostrip	Return Loss (dB)	Bandwidth Impedansi (GHz)	Fractional Bandwidth (%)
Antena tunggal tanpa slot	-21,3642	1,2383	4,76
Antena tunggal dengan double U slot	-17,7391	1,6165	6,2173
Antena tunggal dengan double U slot dan DGS	-18,4291	1,6228	6,24
Antena MIMO 4×4 elemen 1	-17,4613	1,6564	6,37
Antena MIMO 4×4 elemen 2	-17,6170	1,6391	6,3
Antena MIMO 4×4 elemen 3	-17,7504	1,6511	6,35
Antena MIMO 4×4 elemen 4	-17,9493	1,631	6,273



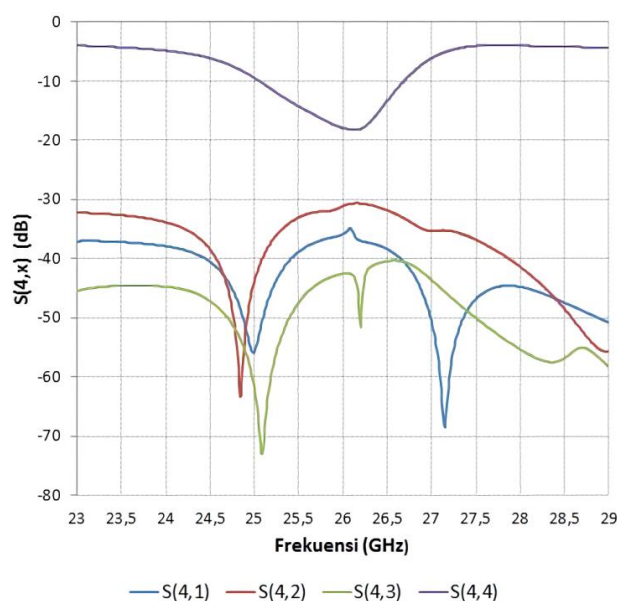
Gambar 12. Hasil *S-Parameters* antenna mikrostrip MIMO 4×4 dengan double U-slot patch dan DGS elemen ke-1.



Gambar 13. Hasil *S-Parameters* antenna mikrostrip MIMO 4×4 dengan double U-slot patch dan DGS elemen ke-2.



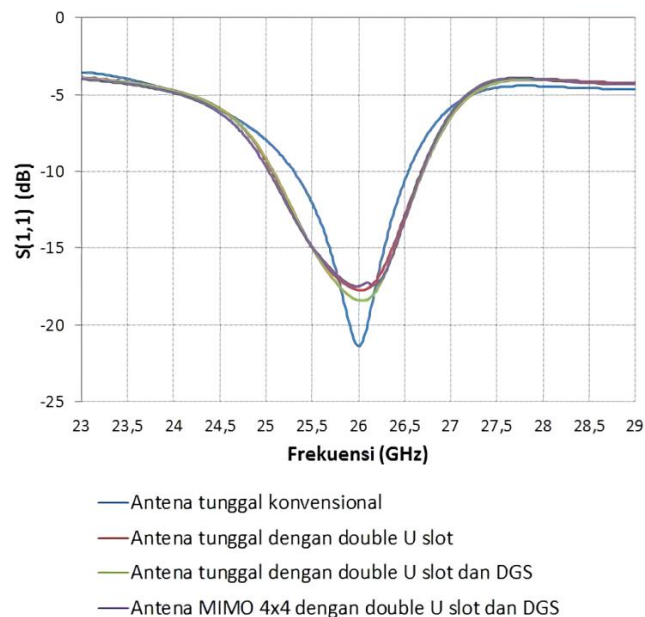
Gambar 14. Hasil *S-Parameters* antenna mikrostrip MIMO 4×4 dengan *double U-slot patch* dan DGS elemen ke-3.



Gambar 15. Hasil *S-Parameters* antenna mikrostrip MIMO 4×4 dengan *double U-slot patch* dan DGS elemen ke-4.

Untuk nilai *mutual coupling* antar elemen antenna MIMO 4×4 dapat dilihat pada Tabel 5. Nilai *mutual coupling* merupakan nilai yang berkaitan dengan efek yang terjadi karena munculnya tegangan di satu elemen antenna dari elemen antenna lain akibat letak elemen yang terlalu

dekat. Semakin negatif nilai *mutual coupling* nya maka akan semakin kecil daya yang muncul di satu elemen antenna karena elemen lain antenna [18].



Gambar 16. Hasil *S11-Parameters* antenna mikrostrip tunggal dan MIMO 4×4.

Tabel 5 menunjukkan bahwa nilai *mutual coupling* terkecil sebesar -42,5594 dB dan nilai *mutual coupling* terbesar adalah -30,9643 dB. Nilai *mutual coupling* yang diperoleh tersebut telah memenuhi kondisi di bawah -20 dB. Kondisi ini menunjukkan daya yang terpancar pada elemen antenna lain memiliki batas maksimal 1% dari daya yang dipancarkan pada elemen antenna itu sendiri.

Tabel 5. Nilai *mutual coupling* antenna mikrostrip MIMO 4×4 dengan *double U-slot patch* dan DGS.

<i>Mutual Coupling</i>	Nilai (dB)	<i>Mutual Coupling</i>	Nilai (dB)
S(1,2)	-30,9643	S(3,1)	-31,2045
S(1,3)	-31,2045	S(3,2)	-35,9240
S(1,4)	-35,8816	S(3,4)	-42,5594
S(2,1)	-30,9643	S(4,1)	-35,8816
S(2,3)	-35,9240	S(4,2)	-31,1353
S(2,4)	-31,1353	S(4,3)	-42,5594

Polarisasi

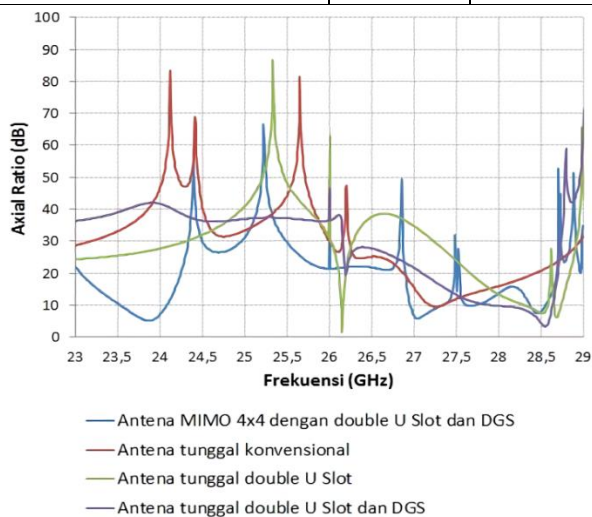
Nilai *axial ratio* untuk menentukan bentuk polarisasi antenna

tunggal dan antenna MIMO 4×4 dapat dilihat pada **Gambar 17**. *Axial ratio* diukur pada sudut $\phi = 0^\circ$ dan $\theta = 0^\circ$. *Axial*

ratio pada masing-masing jenis antenna dapat dilihat pada **Tabel 6**, yang menunjukkan bahwa jenis polarisasi antenna tunggal dan antenna MIMO 4×4 adalah linier karena nilai *axial ratio* nya lebih besar dari 30 dB [19]. Beberapa kelebihan dari polarisasi melingkar yaitu tidak membutuhkan kesejajaran antara pengirim-penerima seperti pada polarisasi linier sehingga dapat memaksimalkan penerimaan sinyal tanpa perlu usaha untuk mengatur orientasi antenna penerima, lalu posisi *Right Hand Circular Polarization* (RHCP) dan *Left Hand Circular Polarization* (LHCP) yang *orthogonal* dapat dimanfaatkan untuk menggandakan kapasitas kanal pada sebuah *link*, dimana satu sinyal menggunakan RHCP dan sinyal lainnya menggunakan LHCP, dan mengurangi efek *multipath* seperti yang terjadi pada komunikasi *mobile* [20].

Tabel 6. Perbandingan polarisasi antenna mikrostrip tunggal dan MIMO 4×4.

Jenis antenna mikrostrip	Axial ratio (dB)	Bentuk polarisasi
Antena tunggal konvensional	52,72	Linier
Antena tunggal dengan <i>double U-slot</i>	62,81	Linier
Antena tunggal dengan <i>double U-slot</i> dan DGS	46,32	Linier
Antena MIMO 4×4	39,1971	Linier



Gambar 17. Grafik *axial ratio* antenna mikrostrip tunggal dan MIMO 4×4.

Gain

Nilai *gain* antenna tunggal dan antenna MIMO 4×4 dapat dilihat pada **Gambar 18**. Nilai *gain* pada antenna tunggal dan antenna MIMO 4×4 dapat dilihat pada **Tabel 7**, yang menunjukkan bahwa penambahan *double U-slot* akan meningkatkan *gain* antenna. Kemudian, akan terjadi penurunan nilai *gain* apabila dilakukan penambahan DGS pada antenna tunggal.

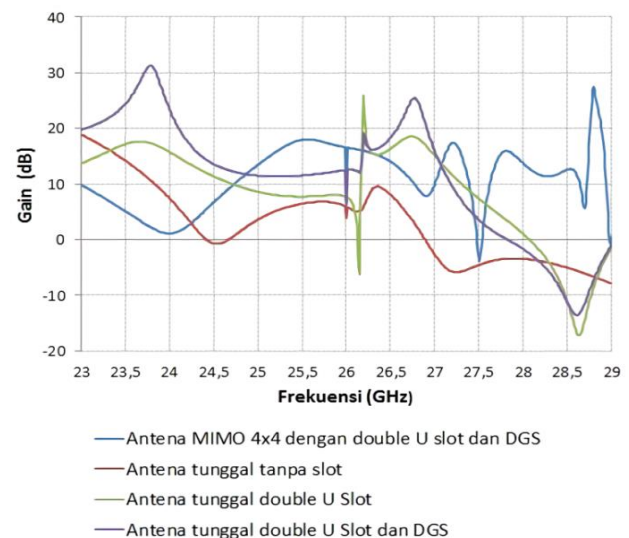
Selanjutnya, nilai *gain* akan meningkat apabila antenna tunggal disusun menjadi antenna MIMO 4×4. Nilai *gain* pada antenna tunggal tanpa *double U-Slot* dan DGS sebesar 3,83 dB sedangkan nilai *gain* pada antenna tunggal dengan *double U-Slot* dan DGS sebesar 6,164 dB. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan nilai *gain* pada antenna dengan penambahan *double U-Slot* dan DGS.

Tabel 7. Perbandingan *gain* antenna mikrostrip tunggal dan MIMO 4×4.

Jenis antenna mikrostrip	Gain (dB)
Antena tunggal konvensional	3,83
Antena tunggal dengan <i>double U-slot</i>	6,363
Antena tunggal dengan <i>double U-slot</i> dan DGS	6,164
Antena MIMO 4×4	7,1151

Pola Radiasi

Bentuk pola radiasi elevasi dari tiap jenis antenna dapat dilihat pada **Gambar 19**, untuk pola radiasi elevasi, direpresentasikan sebagai θ dan **Gambar 20** untuk pola radiasi azimuth, direpresentasikan sebagai ϕ . Nilai sudut arah radiasi yang telah diperoleh dapat dirangkum ke dalam **Tabel 8** yang menunjukkan bahwa pola radiasi tiap jenis antenna adalah *directional* karena arah pancar maksimum menuju ke satu arah tertentu.

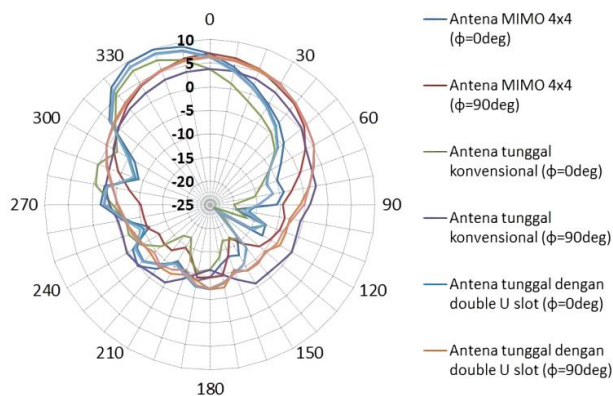
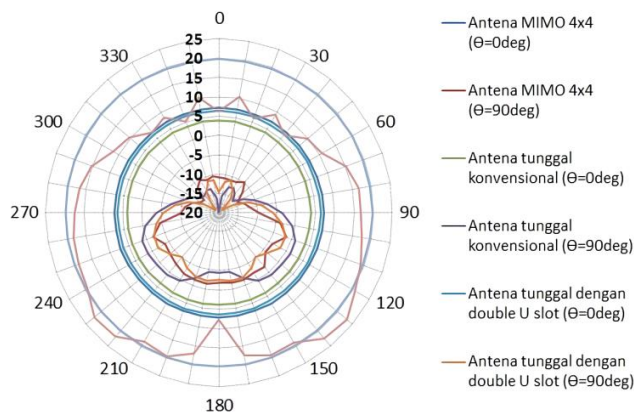


Gambar 18. Grafik *gain* antenna mikrostrip tunggal dan MIMO 4×4.

Gambar 19 menunjukkan bahwa bentuk pola radiasi elevasi akan semakin menyempit dan terfokus pada sudut $\theta = 0^\circ$. Hal ini mengakibatkan arah radiasi semakin terarah. Sedangkan **Gambar 20** menunjukkan bentuk pola radiasi azimuth memiliki bentuk yang menyempit pada antenna tunggal dengan *double U-slot* kemudian bentuknya melebar pada saat diberi DGS. Lalu menyempit kembali pada antenna MIMO 4×4.

Tabel 8. Perbandingan pola radiasi antenna mikrostrip tunggal dan MIMO 4×4.

Jenis antenna mikrostrip	Elevasi (θ°)	Azimuth (ϕ°)	Bentuk pola radiasi
Antena tunggal konvensional	330° saat $\phi = 0^\circ$ dan 0° saat $\phi = 90^\circ$	120° dan 240° saat $\theta = 90^\circ$	<i>Directional</i>
Antena tunggal dengan <i>double U-slot</i>	340° saat $\phi = 0^\circ$ dan 0° saat $\phi = 90^\circ$	120°, 170°, 190° dan 240° saat $\theta = 90^\circ$	<i>Directional</i>
Antena tunggal dengan <i>double U-slot</i> dan DGS	340° saat $\phi = 0^\circ$ dan 0° saat $\phi = 90^\circ$	130° dan 230° saat $\theta = 90^\circ$	<i>Directional</i>
Antena MIMO 4×4	340° saat $\phi = 0^\circ$ dan 0° saat $\phi = 90^\circ$	160° dan 190° saat $\theta = 90^\circ$	<i>Directional</i>

**Gambar 19.** Hasil pola radiasi elevasi antenna mikrostrip tunggal dan MIMO 4×4.**Gambar 20.** Hasil pola radiasi azimuth antenna mikrostrip tunggal dan MIMO 4×4.

Kesimpulan

Artikel ini telah menyajikan perancangan antenna MIMO 4×4 yang telah memenuhi kriteria yang diinginkan untuk antenna 5G yaitu nilai *bandwidth* impedansi tertinggi sebesar 1,6564 dengan polarisasi linier dan pola radiasi *directional* serta memiliki nilai *mutual coupling* terbesar adalah -30,9643 dB. Nilai *bandwidth* akan meningkat secara bertahap dengan penambahan *double U-Slot* lalu DGS lalu disusun MIMO. Penambahan *double U-slot* akan meningkatkan *gain* antenna. Lalu nilai *gain* menurun apabila dilakukan penambahan DGS. Selanjutnya, nilai *gain* akan meningkat apabila antenna tunggal disusun menjadi antenna MIMO 4×4. Penelitian selanjutnya, antenna yang telah dirancang dapat difabrikasi dan dilakukan perbandingan antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran. Juga kami berharap bahwa rancangan antenna ini dapat berkontribusi pada perkembangan 5G di dunia.

Konflik Kepentingan

Tidak ada konflik kepentingan pada penelitian ini.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibu Uri Arta Ramadhani, S.T., M.Sc. yang telah memberi masukan terhadap penulisan artikel ini.

Referensi

- [1] International Telecommunication Union, "Minimum Requirements Related to Technical Performance for IMT-2020 Radio Interface(s)," Radiocommunication Sector of ITU, Geneva, Rep. ITU-R M.2410-0, Date. Accessed: Sep. 7, 2020. [Online]. Available: https://itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2410-2017-PDF-E.pdf
- [2] K. J. A. Sinaga, L. B. Nur, and B. Syihabuddin, "Perancangan Antena Array 1×2 Rectangular Patch dengan U-Slot untuk Aplikasi 5G," *Seminar Nasional Inovasi Dan Aplikasi Teknologi Di Industri 2017* ISSN 2085-4218, Feb, 2017, Accessed: June 18, 2020, [Online]. Available: <https://ejournal.itn.ac.id/index.php/seniati/article/view/1771>
- [3] K. J. A. Sinaga, L. B. Nur, and B. Syihabuddin, "Perancangan Antena MIMO 2×2 Array Rectangular Patch dengan U-Slot untuk Aplikasi 5G," *JNTETI*, vol. 6, no.1, pp. 93 – 98, Feb. 2017, Accessed: Juni 18, 2020, [Online]. Available: <http://ejnteti.jteti.ugm.ac.id/index.php/JNTETI/article/view/299>
- [4] F. W. Ardianto, S. Renaldy, F. F. Lanang, and T. Yunita "Desain Antena Mikrostrip Rectangular Patch Array 1×2 dengan U-Slot Frekuensi 28 GHz," *ELKOMIKA*, ISSN (p): 2338-8323, ISSN (e): 2459-9638, vol. 7, no. 1, pp. 43 – 56, Jan. 2019, Accessed: June

- 18, 2020, [Online]. Available: <https://ejurnal.itenas.ac.id/index.php/elkomika/article/view/1947>
- [5] M. Sholeh and Y. Rahayu, "Perancangan Antena MIMO Array 37 GHz untuk Jaringan Komunikasi 5G," *Jom FTEKNIK*, vol. 5 no. 2, Des. 2018, Accessed: June 16, 2020, [Online]. Available: <https://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFTEKNIK/article/view/20679>
- [6] J. Haidi, "Meningkatkan *Bandwidth* Antena Mikrostrip Bentuk Lingkaran untuk Aplikasi Antena 5G dengan Menggunakan Metode DGS," *Seminar Nasional Inovasi, Teknologi dan Aplikasi (SeNITIA)* ISBN: 978-602-5830-02-0, pp. 127 – 133, 2018, Accessed: June 18, 2020, [Online]. Available: <http://senitia.ft.unib.ac.id/wp-content/uploads/2019/01/2018f-1-23-Junus-Haidi.pdf>
- [7] I. Shaye, "Real Measurement Study for Rain Rate and Rain Attenuation Conducted over 26 GHz Microwave 5G Link System in Malaysia," *IEEE Access*, vol.7, pp. 19044 – 19064, Mar. 2018, Accessed: September 7, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2810855, [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8306946>
- [8] C.A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, 3rd ed. John Wiley & Sons INC, 2012.
- [9] A. T. Agtusia, "Rancang Bangun Antena Mikrostrip *Dualband Single Input Multi Output*," B.S. thesis, Dept. Elect. Eng., Indonesia University, Depok, Indonesia, 2011. [Online]. Available: <https://lib.ui.ac.id>
- [10] S. Alam and R. F. Nugroho, "Perancangan Antena Mikrostrip Array 2x1 untuk Meningkatkan *Gain* untuk Aplikasi LTE pada Frekuensi 2.300 MHz," *Jurnal Teknik dan Ilmu Komputer*, vol. 7 no. 28, pp. 365 – 378, Des, 2018, Accessed: June 18, 2020, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Syah_Alam/publication/327594703_PERANCANGAN_ANTENA_MIKROSTRIP_ARRAY_2x1_UNTUK_MENINGKATKAN_GAIN_UNTUK_APLIKASI_LTE_PADA_FREKUENSI_2300_MHz/links/5b98fe9692851c4ba8144a47/PERANCANGAN-ANTENA-MIKROSTRIP-ARRAY-2x1-UNTUK-MENINGKATKAN-GAIN-UNTUK-APLIKASI-LTE-PADA-FREKUENSI-2300-MHz.pdf
- [11] R. P. Silitonga, H. Wijanto and Y. Wahyu, "Perancangan dan Realisasi Antena Mikrostrip Rektangular Bercelah untuk *Tripple Band* (900 MHz, 1800 MHz, 2400 MHz)," ISSN : 2355-9365 *e-Proceeding of Engineering* vol.2, no.3, pp. 7204 – 7212, Desember 2015, Accessed: October 16, 2020, [Online]. Available: <https://openlibrary.telkomuniversity.ac.id/home/epublication/id/61.html>
- [12] I. Fajar, "Desain Antena Mikrostrip *Patch Array* 28 GHz dengan CST Microwave Studio," B.S. thesis, Dept. Elect. Eng., Indonesian Islamic University, Yogyakarta, Indonesia, 2018. [Online]. Available: <http://dspace.uui.ac.id>
- [13] Y. X. Guo, K. M. Luk, K. F. Lee and Y. L. Chow, "Double U-Slot Rectangular Patch Antenna," *Electronics Letters*, vol. 34, no. 19, pp. 1805-1806, 1998. Accessed: January 12, 2021, doi: 10.1049/el:19981283. [Online]. Available: <https://digital-library.theiet.org/content/journals/el/34/19>
- [14] O. W. Ata, M. Salamin, and K. Abusabha, "Double U Slot Rectangular Patch Antenna for Multiband Application," 2018 *International Symposium on Advanced Electrical and Communication Technologies (ISAECT)*, Rabat, Morocco, Nov. 2018, Accessed: January 12, 2020, [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8618855>
- [15] M. I. Hidayat dan Y. Rahayu, "Perancangan Antena Mikrostrip *Dual-Band Patch* Persegi Panjang *Plannar Array* 6 Elemen dengan *Defected Ground Structure* Berbentuk Segitiga untuk Jaringan Komunikasi Nirkabel 5G" *Jom FTEKNIK* vol. 4, no. 1 Feb. 2017, Accessed: January 6, 2021, [Online]. Available: <https://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFTEKNIK/article/view/14985>
- [16] F.Y.Zulkifli, "Studi Tentang Antena Mikrostrip dengan *Defected Ground Structure* (DGS)," Ph.D. dissertation, Dept. Elect. Eng., Indonesian University, Depok, Indonesia, 2008.
- [17] M. S. Samsul, "Perancangan Antena Mikrostrip Pada Frekuensi 2,3 Ghz Untuk Aplikasi LTE (*Long Term Evolution*)," B.S. thesis, Dept. Elect. Eng., Darma Persada University, Jakarta, Indonesia, 2015. [Online]. Available: https://www.slideshare.net/Uofa_Unsada/perancangan-antena-mikrostrip-pada-frekuensi-23-ghz-untuk-aplikasi-lte-long-term-evolution
- [18] F. W. Ardianto, N. Mufti, and B. Syihabbudin, "Analisis Simulasi Antena MIMO 4x4 Susunan Persegi dan Sirkular pada Frekuensi 15 GHz," *JNTETI*, vol.7, no. 2, pp. 174 – 182, Mei 2018, ISSN 2301-4156, Accessed: June 18, 2020, [Online]. Available: <http://ejnteti.jteti.ugm.ac.id/index.php/JNTETI/article/view/420>
- [19] D. Angela, Y. Wahyu, and T. Parayau, "Desain dan Implementasi Antena Susunan Mikrostrip *Patch* Persegi Panjang Empat Elemen pada 2.3 GHz Menggunakan Teknik Pencatutan dengan Distribusi *Dolp Tchebyscheff*," *Jurnal Telematika* vol. 8, no.1, 2013, Accessed: October 16, 2020, [Online]. Available: <https://journal.ithb.ac.id/telematika/article/view/63>
- [20] D. O. Pelawi dan A. H. Rambe, "Studi Perancangan Antena mikrostrip *Patch* Segiempat dengan Tipe Polarisasi melingkar Menggunakan Ansoft," *SINGUDA ENSIKOM* vol. 3, no. 1, pp. 5 – 10, July 2013, Accessed: October 31, 2020, [Online]. Available: <http://download.garuda.ristekdikti.go.id>