

Desain Antena Mikrostrip *Array* 2x1 Elemen dengan Teknik *Inset* dan *Slit* untuk Sistem Komunikasi 5G

Atria Anindito^{#1}, Agam Putranto^{#2}, Indra Surjati^{#3}, Syah Alam^{#4}, Lydia Sari^{#5}, Rakesh Vaswani^{*6}

[#]Program Studi Teknik Elektro, Universitas Trisakti
Jl. Kyai Tapa No.1, Jakarta Barat, DKI Jakarta

¹atria104@gmail.com

²agamputranto98@gmail.com

³indra@trisakti.ac.id

⁴syah.alam@trisakti.ac.id

⁵lydia.sari@trisakti.ac.id

^{*}Program Studi Teknik Elektro, Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta
Jl. Sunter Permai Raya, Jakarta Utara, DKI Jakarta

⁶rakeshvaswani@gmail.com

Abstract— The Fifth Generation (5G) communication system promises high data transfer rates. It requires an antenna that can operate with gain and bandwidth at 3.4 – 3.6 GHz frequency range which complies with 5G frequency regulation. This study proposes an optimized 2x1 element array microstrip antenna using inset and slit techniques. The antenna is designed to operate at 3.5 GHz for 5G communication systems. The array method is used to increase the gain value, while inset and slit techniques are used to reduce the reflection coefficient (S_{11}). From the design and simulation results, the reflection coefficient value is -24 dB and the bandwidth is 360 MHz (3.32 GHz -3.68 GHz), or 10.28%, at a frequency of 3.5 GHz. The use of the array method worked in increasing the gain by 66.67% and the bandwidth by 70.43%, compared to single-element antennas.

Keywords— antenna, microstrip, array, inset, slit, Fifth Generation (5G)

Abstrak— Sistem komunikasi Generasi Kelima (5G) menjanjikan kecepatan transfer data yang sangat tinggi sehingga memerlukan antenna yang dapat bekerja dengan penguatan dan bandwidth pada rentang frekuensi 3,4 hingga 3,6 GHz yang sesuai dengan regulasi frekuensi 5G. Penelitian ini mengusulkan desain antenna mikrostrip *array* 2x1 elemen yang dioptimalisasi menggunakan teknik *inset* dan *slit*. Antena dirancang untuk bekerja pada frekuensi kerja 3.5 GHz untuk sistem komunikasi 5G. Metode *array* digunakan untuk meningkatkan nilai *gain* dari antenna, sedangkan teknik *inset* dan *slit* digunakan untuk mereduksi nilai koefisien refleksi (S_{11}) dari antenna yang diusulkan. Dari hasil perancangan dan simulasi didapatkan nilai koefisien refleksi -24 dB dan bandwidth 360 MHz (3,32 GHz hingga 3,68 GHz), atau 10,28%, pada frekuensi 3,5 GHz. Penggunaan metode *array* berhasil meningkatkan *gain* sebesar 66,67% dan bandwidth sebesar 70,43% dibandingkan dengan antenna *single element*.

Kata Kunci— antenna, mikrostrip, array, inset, slit, Generasi Kelima (5G)

I. PENDAHULUAN

Sistem komunikasi Generasi Kelima telah diperkenalkan pada tahun 2017. Generasi kelima memiliki kelebihan antara

lain kecepatan transfer data yang tinggi serta *bandwidth* yang sangat lebar [1]. Berdasarkan regulasi yang ditetapkan oleh [2], frekuensi kerja yang digunakan untuk sistem komunikasi generasi kelima terbagi menjadi beberapa *band* yaitu untuk *high-band* 28 GHz, *mid-band* 15 GHz dan *low-band* 3,5 GHz. Dalam suatu sistem komunikasi nirkabel diperlukan perangkat antenna sebagai pengirim dan penerima sinyal yang akan diubah menjadi gelombang listrik sehingga dapat dimanfaatkan untuk keperluan komunikasi suara dan data [3]. Salah satu antenna yang banyak dikembangkan untuk keperluan sistem komunikasi nirkabel adalah antenna mikrostrip [4]. Antena mikrostrip memiliki kelebihan disain yang kompak, biaya pabrikan yang terjangkau, serta dapat bekerja pada frekuensi tinggi [5]. Namun, antenna mikrostrip memiliki beberapa kekurangan antara lain *gain* dan direktivitas yang rendah [6]. Dimensi yang kompak menjadi salah satu keunggulan dari antenna mikrostrip sehingga cocok digunakan sebagai antenna penerima dalam sistem komunikasi nirkabel. Namun, untuk menjaga kestabilan konektivitas antara pemancar dan penerima diperlukan antenna dengan keterarahan dan *gain* yang baik.

Pengembangan antenna mikrostrip untuk sistem komunikasi Generasi Kelima (5G) telah dipaparkan pada beberapa penelitian sebelumnya [7][8]. Penelitian yang diusulkan oleh [9] telah berhasil merancang antenna mikrostrip elemen tunggal berbentuk lingkaran pada frekuensi 3,5 GHz dengan nilai koefisien refleksi -30 dB dan *gain* 5,15 dBi. Pada penelitian yang diusulkan oleh [10] antenna mikrostrip bentuk *rectangular* dikembangkan pada frekuensi 3,5 GHz menggunakan metode *defected ground structure*. Antena tersebut memiliki koefisien refleksi dan *gain* masing-masing $-17,43$ dB dan 6,6 dB. Namun, kedua penelitian tersebut masih menghasilkan *gain* dan keterarahan yang rendah sehingga perlu dilakukan optimalisasi. Beberapa metode optimalisasi untuk meningkatkan keterarahan telah dipaparkan pada penelitian sebelumnya, antara lain *array* [11][12] dan parasitik [13]. Pada penelitian yang dilakukan oleh [14] metode *array* digunakan untuk meningkatkan keterarahan

antena *microstrip* pada frekuensi 3,5 GHz dan menghasilkan peningkatan *gain* sebesar 7,3 dB, sedangkan penelitian yang dilakukan oleh [15] menghasilkan *gain* 12,6 dBi sampai dengan 13,6 dBi dengan menggunakan metode parasitik.

Salah satu keuntungan dari metode *array* adalah penambahan jumlah elemen dapat meningkatkan *gain* dari antena yang diusulkan sehingga keterarahan antena menjadi lebih baik karena sudut pola pancar yang mengalami penyempitan. Pada penelitian ini dilakukan perancangan antena *microstrip* yang bekerja pada frekuensi 3,5 GHz dan dioptimalisasi menggunakan metode *array* untuk mendapatkan *gain* yang tinggi. Selanjutnya, metode *inset* dan *slit* digunakan untuk mereduksi nilai koefisien refleksi untuk mendapatkan performansi antena yang lebih baik pada nilai ≤ -10 dB. Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan dapat dilihat bahwa dibutuhkan antena mikrostrip yang memiliki keterarahan dan *gain* yang baik untuk keperluan sistem komunikasi Generasi Kelima agar konektivitas menjadi lebih stabil dan optimal.

II. METODOLOGI

Dalam penelitian ini dilakukan beberapa tahapan dari proses perancangan dan optimalisasi desain antena yang diusulkan. Gambar 1 menunjukkan diagram alir dari proses perancangan antena *microstrip* menggunakan teknik *inset* dan *slit* yang dikembangkan menggunakan metode *array* 2x1 elemen.

Tahapan awal dari penelitian ini adalah menghitung dimensi antena *microstrip* elemen tunggal dan saluran pencatu

microstrip dengan impedansi 50 ohm. Selanjutnya, antena elemen tunggal disimulasikan menggunakan AWR Microwave Office 2009 dengan kriteria nilai koefisien refleksi ≤ -10 dB pada frekuensi kerja 3,5 GHz. Tahapan selanjutnya adalah melakukan optimalisasi antena elemen tunggal menggunakan teknik *slit* dan *inset*. Penambahan *inset* dan *slit* bertujuan untuk mereduksi nilai koefisien refleksi pada frekuensi kerja 3,5 GHz. Teknik *inset* ditambahkan dengan memberikan celah pada bagian pencatu yang menempel dengan *patch* antena, sedangkan untuk *slit* diberikan pada bagian tepi kanan dan kiri *patch* antena dengan jumlah dua pasang yang dikonfigurasi secara vertikal terhadap desain antena. Untuk mendapatkan nilai koefisien refleksi yang terbaik, dilakukan optimalisasi terhadap panjang dan lebar dari *slit* dan *inset*. Setelah itu, antena dikembangkan dengan menggunakan metode *array* 2x1 elemen. Metode *array* bertujuan untuk meningkatkan *gain* antena dengan menyusun antena secara horizontal yang dihubungkan dengan saluran pencatu *microstrip* dan dipisahkan sejauh jarak (*d*). Untuk menghasilkan *gain* yang optimal, dilakukan proses iterasi dengan mengontrol jarak antar elemen (*d*). Tahapan akhir dari penelitian ini adalah melakukan analisis dan perbandingan dari kedua desain antena yang diusulkan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

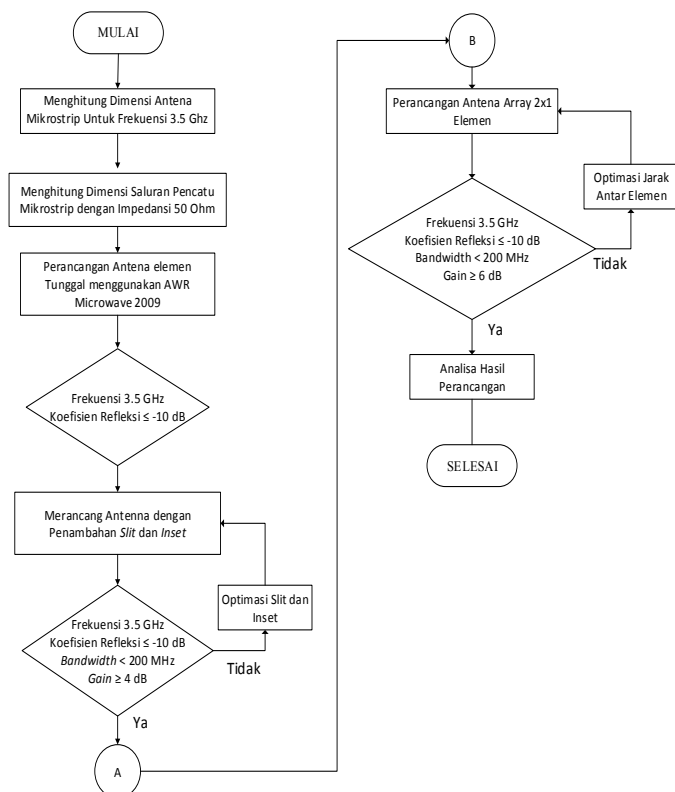
A. Perancangan Antena Mikrostrip

Langkah awal pada tahap ini yaitu mendesain antena *microstrip* satu elemen yang ditargetkan beroperasi pada frekuensi 3,5 GHz dengan menggunakan tipe substrat RT Duroid tipe R5880. Spesifikasi dan kriteria antena ditunjukkan pada Tabel I.

Spesifikasi dari substrat RT/Duroid R5880 dengan nilai konstanta dielektrik (ϵ_r) = 2,2, ketebalan (*h*) = 1,575 mm, dan rugi-rugi dielektrik ($\tan \alpha$) ditunjukkan oleh Tabel I. Jenis substrat Duroid R5880 memiliki keuntungan tersendiri, yaitu memiliki rugi-rugi dielektrik dan resistivitas bahan yang rendah sehingga dapat menghasilkan distribusi arus pada antena yang lebih optimal dan mampu bekerja pada frekuensi tinggi. Selain itu, *velocity* (kecepatan rambat) gelombang yang rendah akan menyebabkan antena beresonansi dengan baik pada frekuensi tinggi. Penelitian ini merancang bentuk awal antena *microstrip* berbentuk persegi panjang dengan nilai panjang dan lebar masing-masing adalah *L* (*length*) dan *W* (*width*). Selain itu, antena *microstrip* akan dihubungkan dengan konektor SMA jenis *female* yang memiliki impedansi sebesar 50 Ohm dengan menggunakan saluran transmisi *microstrip line*. *Microstrip line* berfungsi sebagai penyesuai impedansi (*matching impedance*) antara antena dan konektor

TABEL I
SPESIFIKASI SUBSTRAT RT DUROID R5880

Parameter	Nilai
Konstanta dielektrik (ϵ_r)	2,2
Ketebalan (<i>h</i>)	1,575 mm
Rugi-rugi dielektrik/loss tan ($\tan \alpha$)	0,0009
<i>Cooper cladding</i>	1 Oz, 35 μ m
<i>Volume resistivity</i>	2×10^7 MOhm.cm



Gambar 1 Diagram alir perancangan antena

yang digunakan. Impedansi yang sesuai harus dimiliki oleh antena dan konektor sehingga dapat meradiasikan gelombang elektromagnet pada antena yang diusulkan. Dimensi dari antena *microstrip* yang berbentuk persegi panjang dapat dihitung menggunakan persamaan (1), (2), (3), (4), dan (5), sedangkan untuk saluran pencatu *microstrip line* dapat menggunakan persamaan (6) dan (7) [16].

$$W = \frac{C}{2f\sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (1)$$

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (2)$$

$$L_{eff} = \frac{C}{2f\sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (3)$$

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

$$\Delta L = 0,412h \frac{(\epsilon_{reff} + 0,3) \left(\frac{W}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0,258) \left(\frac{W}{h} + 0,8 \right)} \quad (5)$$

$$W = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (6)$$

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_o\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (7)$$

B. Tahapan Pengembangan Disain Antena *Microstrip*

Struktur antena *microstrip* yang diusulkan terdiri dari *patch* sebagai elemen peradiasi gelombang elektromagnetik, saluran pencatu *microstrip line* sebagai penyesuaian impedansi antara antena, konektor dengan impedansi 50 ohm, dan *ground plane* sebagai bagian pentanahan pada antena yang berfungsi sebagai reflektor yang memantulkan sinyal yang tidak diinginkan.

Setelah melakukan perhitungan secara manual menggunakan persamaan (1), (2), (3), (4), dan (5), didapatkan nilai W sebesar 35 mm dan L sebesar 28,3 mm. Dimensi saluran pencatu *microstrip line* diperoleh dimensi W_z sebesar 5 mm dengan menggunakan nilai impedansi 50 ohm. Nilai W dan L pada *patch* antena *microstrip* dipengaruhi oleh frekuensi kerja dan spesifikasi substrat yang digunakan. Semakin tinggi nilai frekuensi kerja, maka dimensi antena akan semakin mengecil, sedangkan semakin kecil nilai konstanta dielektrik, maka dimensi antena yang dihasilkan semakin besar. Selanjutnya, lebar saluran pencatu didapatkan menggunakan persamaan (6) dan persamaan (7), yaitu 5 mm. Nilai impedansi Z_o yang digunakan adalah 50 ohm. Hal ini

disesuaikan dengan impedansi konektor yang digunakan yaitu jenis SMA *female* dengan nilai impedansi (Z) sebesar 50 ohm.

Saluran pencatu *microstrip line* berfungsi untuk mengontrol nilai koefisien refleksi (S_{11}) dari antena agar dapat beresonansi sesuai dengan frekuensi kerja yang diharapkan. Panjang saluran pencatu *microstrip line* (L_z) didapatkan dari proses optimalisasi menggunakan perangkat lunak *AWR Microwave Office 2009*. Panjang dan lebar *ground plane* dari antena yang diusulkan yaitu W_g dan L_g yang diperoleh dengan menggunakan persamaan (8) dan (9) [16]. *Ground plane* yang digunakan dalam penelitian ini adalah konduktor jenis tembaga dengan ketebalan 1 Oz (35 μ m) dan memiliki ukuran yang sama, yaitu $W_g = L_g = 43$ mm. Tahapan pengembangan antena *microstrip* ditunjukkan pada Gambar 2.

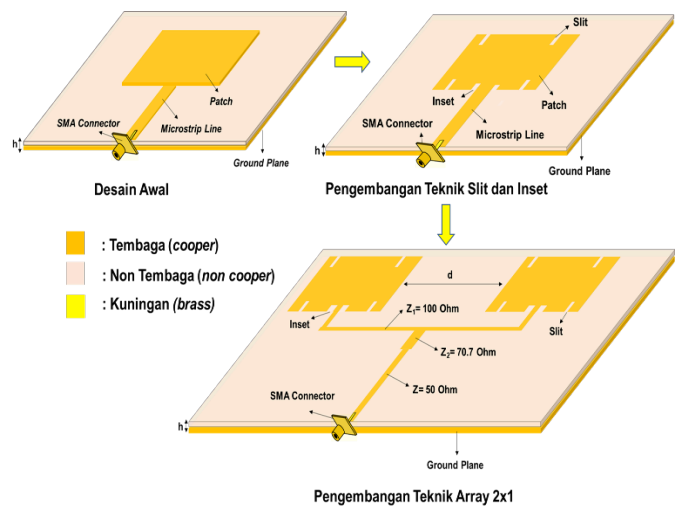
$$L_g \geq 6h + L \quad (8)$$

$$W_g \geq 6h + W \quad (9)$$

Teknik *inset* dan *slit* digunakan untuk melakukan tahapan optimalisasi pada antena *microstrip* elemen tunggal. Teknik *inset* dilakukan dengan memberikan celah pada bagian saluran pencatu *microstrip line* yang terkoneksi dengan antena, sedangkan teknik *slit* dilakukan dengan memberi celah pada bagian tepi *patch* antena. Untuk mereduksi nilai koefisien refleksi dan mengontrol impedansi antena agar sesuai dengan impedansi saluran 50 ohm, maka teknik *slit* dan *inset* diterapkan. Selanjutnya, antena dikembangkan menggunakan *array 2x1* elemen dengan memisahkan *patch* antena secara horizontal dengan jarak (d) yang didapatkan menggunakan persamaan (10) [16].

$$d = \lambda / 2 \quad (10)$$

Pada Gambar 2 ditunjukkan bahwa pengembangan antena dengan teknik *array 2x1* elemen menggunakan tiga jenis impedansi, yaitu Z_1 sebesar 100 ohm, Z_2 sebesar 70,07 ohm,

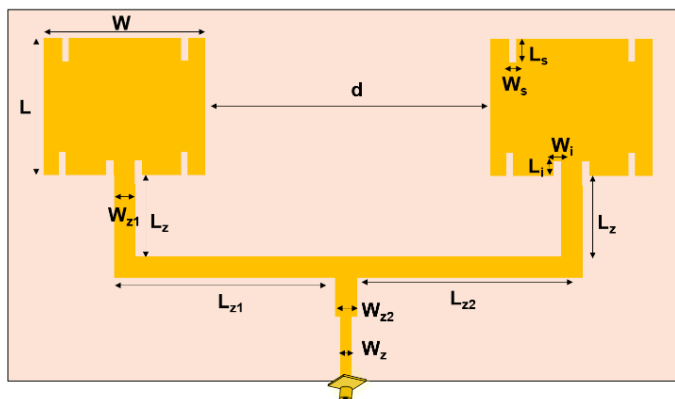


Gambar 2 Tahapan pengembangan antena *microstrip* 2x1 elemen

dan $Z = 50$ ohm. Impedansi Z sebesar 50 ohm didapatkan dari impedansi konektor yang digunakan. Impedansi Z_1 sebesar 100 ohm didapatkan dari total impedansi kedua antena *array* yang terhubung secara seri sehingga menjadi 100 ohm. Impedansi Z_2 sebesar 70,07 ohm didapatkan dengan menggunakan persamaan (9). Tujuan penggunaan impedansi yang berbeda adalah untuk mengontrol nilai impedansi keluaran antena agar menghasilkan impedansi 50 ohm yang sesuai dengan impedansi konektor. Nilai impedansi Z_2 sebesar 70,07 ohm digunakan sebagai penyesuaian impedansi (*stub*) antara $Z_1 = 100$ ohm (impedansi antena) dan $Z = 50$ ohm (impedansi saluran transmisi). Nilai impedansi Z_{stub} dari antena rancangan dapat menggunakan persamaan (11) [16].

$$Z_{stub} = \sqrt{Z \times Z_1} \quad (11)$$

Desain tampak depan dan tampak belakang dari antena yang dikembangkan dan diusulkan ini ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4. Kedua gambar tersebut menunjukkan desain dan struktur antena *microstrip array* elemen tunggal yang dipisahkan sejauh jarak (d). Struktur antena *array* elemen tunggal terdiri dari 1 antena yang di-*array* dan *port* yang dihubungkan dengan konektor jenis SMA *female*. Tabel II menunjukkan dimensi dari antena yang dirancang sesuai dengan perhitungan menggunakan persamaan (1) sampai dengan (9).



Gambar 3 Desain tampak depan dari antena *microstrip* 2x1 elemen



Gambar 4 Desain tampak belakang dari antena *microstrip* 2x1 elemen

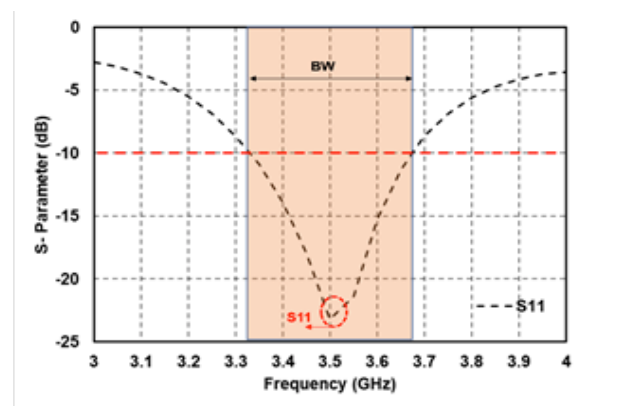
C. Simulasi Desain Antena *Microstrip*

Tahap ini melakukan simulasi terhadap rancangan antena mikrostrip *array* 2x1 elemen. Parameter yang diamati adalah koefisien refleksi (S_{11}) yang nilainya ≤ -10 dB pada frekuensi kerja 3,5 GHz. Hasil simulasi terhadap S_{11} dari antena *array* 2x1 elemen ditunjukkan pada Gambar 5.

Gambar 5 menunjukkan hasil simulasi parameter S_{11} dari antena *array* 2x1 elemen yang dikembangkan dengan teknik *slit* dan *inset*. Dari proses perancangan dan simulasi menggunakan perangkat lunak AWR Microwave Office 2009 didapatkan S_{11} sebesar -24 dB dalam rentang frekuensi 3,32 GHz hingga 3,68 GHz. *Bandwidth* yang dihasilkan dari antena rancangan adalah 360 MHz, atau 10,28%, pada frekuensi kerja 3,5 GHz. Perbandingan hasil simulasi terhadap parameter S_{11} antara antena elemen tunggal dengan antena *array* 2x1 elemen ditunjukkan pada Gambar 6.

TABEL II
DIMENSI ANTENA MIKROSTRIP *ARRAY* 2X1 ELEMEN

No.	Parameter	Keterangan	Dimensi
1.	W_g	Lebar <i>ground plane</i>	120 mm
2.	L_g	Panjang <i>ground plane</i>	100 mm
3.	W	Lebar <i>patch</i> antena	35 mm
4.	L	Panjang <i>patch</i> antena	28,3 mm
5.	W_z	Lebar saluran pencatu 50 ohm	5 mm
6.	L_z	Panjang saluran catu	13 mm
7.	W_s	Lebar <i>slit</i>	1 mm
8.	L_s	Panjang <i>slit</i>	6,6 mm
9.	W_i	Lebar <i>inset</i>	1 mm
10.	L_i	Panjang <i>inset</i>	6 mm
11.	W_{z1}	Lebar saluran pencatu dengan 100 ohm	2 mm
12.	W_{z2}	Lebar saluran pencatu dengan 70,7 Ohm	1 mm
13.	d	Jarak antar elemen	40 mm
14.	L_{z1}	Panjang saluran pencatu-1	35,5 mm
15.	L_{z2}	Panjang saluran pencatu-2	41,5 mm

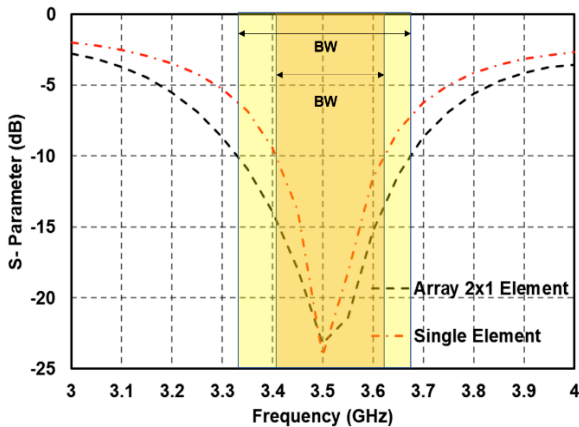


Gambar 5 Hasil simulasi S_{11} dari antena *array* 2x1 elemen

Dari hasil perbandingan yang ditunjukkan pada Gambar 6 didapatkan peningkatan *bandwidth* untuk antena *array* 2x1 elemen yang dibandingkan dengan antena elemen tunggal. Antena elemen tunggal memiliki *bandwidth* yang lebih sempit, yaitu 210 MHz (3,4 – 3,61 GHz), atau sekitar 6%, pada frekuensi kerja 3,5 GHz. Parameter S_{11} dari kedua antena yang diusulkan telah memenuhi kriteria dengan nilai ≤ -10 dB. Peningkatan *bandwidth* dari antena *array* 2x1 elemen adalah sebesar 71,42 % dibandingkan dengan antena elemen tunggal.

Untuk menghasilkan nilai parameter *gain* yang ditargetkan, maka dilakukan beberapa optimalisasi dalam proses perancangannya. Dalam perancangan antena *array* elemen tunggal dilakukan iterasi terhadap parameter jarak antar *patch* (d), seperti yang ditunjukkan pada Tabel III.

Tabel III menunjukkan iterasi dari parameter jarak antar *patch* (d) untuk mendapatkan nilai *gain* yang optimal. Pengaturan pada jarak antena akan berdampak terhadap distribusi arus pada masing-masing *patch* antena. Selain itu, jarak antar elemen juga berpengaruh terhadap karakteristik pola radiasi antena yang diusulkan. Jarak antar *patch* yang diizinkan dalam perancangan antena *array* harus lebih kecil dari nilai panjang gelombangnya (λ). Hal ini juga merupakan fungsi lain dari *array* sebagai pencegah interferensi dari masing-masing *patch* antena yang digunakan. Selanjutnya, *gain* yang didapatkan dari proses optimalisasi jarak antar *patch* (d) dibandingkan dengan antena elemen tunggal untuk melihat peningkatan *gain* dari antena yang telah dikembangkan menggunakan *array* 2x1 elemen.



Gambar 6 Perbandingan hasil simulasi parameter S_{11}

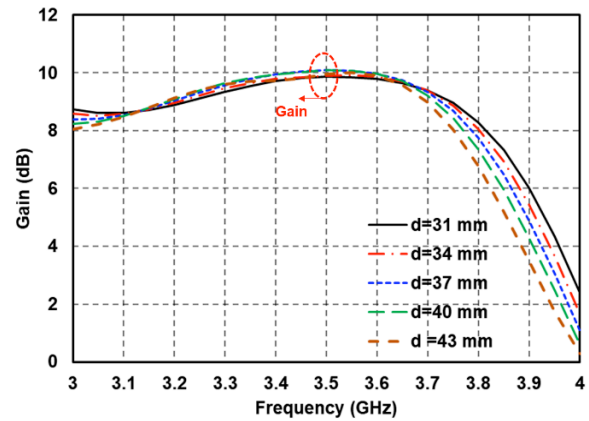
TABEL III
ITERASI PARAMETER JARAK ANTAR PATCH (D)

Iterasi ke-	Jarak Antar Patch (d)
1	31 mm
2	34 mm
3	37 mm
4	40 mm
5	43 mm

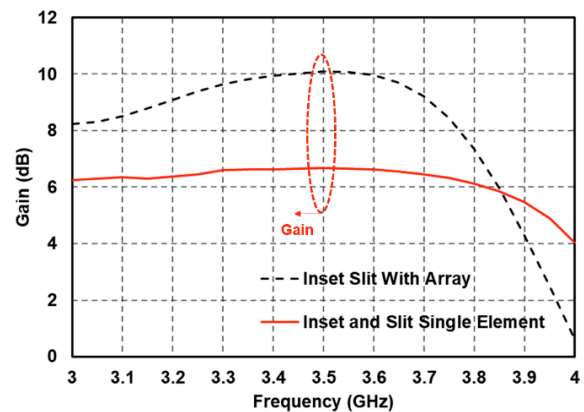
Gambar 7 menunjukkan bahwa perubahan pada parameter d memiliki pengaruh terhadap *gain* dari antena yang diusulkan. Nilai optimal didapatkan pada iterasi ke-3 dengan nilai $d = 40$ mm dan *gain* 10 dB pada frekuensi kerja 3,5 GHz.

Peningkatan *gain* yang dihasilkan pada antena *array* 2x1 elemen dibandingkan dengan elemen tunggal ditunjukkan pada Gambar 8. Dari hasil perbandingan didapatkan peningkatan *gain* sebesar 66,67 % pada frekuensi kerja 3,5 GHz. Perbandingan hasil simulasi *gain* dan S_{11} dari antena *array* 2x1 elemen ditunjukkan pada Gambar 9. Efek dari peningkatan *gain* dari antena yang dirancang akan berpengaruh terhadap pola radiasi dan sudut berkas pancaran, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10 yang menampilkan perbandingan pola radiasi dari kedua antena yang dirancang.

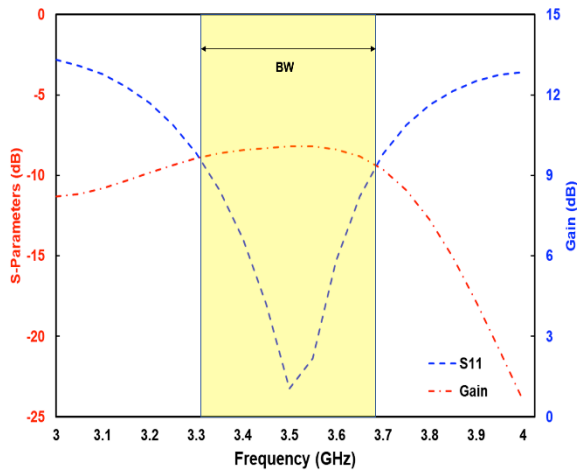
Gambar 9 menunjukkan bahwa parameter S_{11} dan *gain* antena memiliki nilai yang selaras pada rentang frekuensi 3,32 GHz – 3,68 GHz dan frekuensi tengah 3,5 GHz. Pada saat $S_{11} \leq -10$ dB didapatkan *gain* yang maksimal, yaitu 10 dB. Hal ini menunjukkan bahwa antena bekerja dengan baik pada rentang frekuensi kerja yang digunakan sistem komunikasi Generasi Kelima (5G).



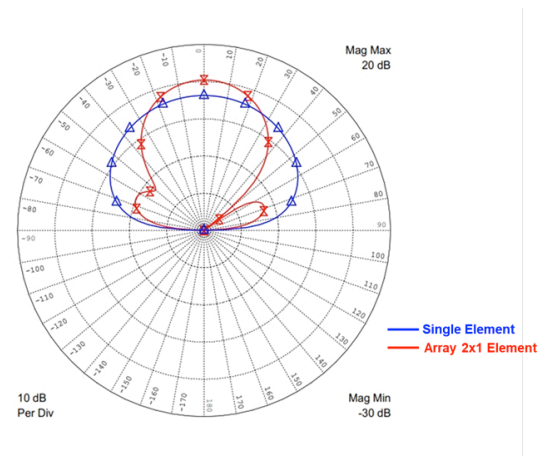
Gambar 7 Perbandingan hasil simulasi parameter *gain* dari iterasi d



Gambar 8 Perbandingan hasil simulasi parameter *gain* dari iterasi d



Gambar 9 Perbandingan hasil simulasi paramater *gain* dari iterasi d



Gambar 10 Perbandingan hasil simulasi paramater *gain* dari iterasi d

Pola radiasi dari antena *array* dan antena elemen tunggal ditunjukkan pada Gambar 10. Antena dengan teknik *array* 2x1 elemen menghasilkan pola radiasi yang memiliki sudut pancar lebih sempit dan lebih tajam dibandingkan dengan antena elemen tunggal. Hal ini disebabkan adanya faktor *array* yang menyebabkan antena mengalami peningkatan nilai *gain* sehingga memunculkan *side lobe* pada bagian tepi *main lobe*-nya. Dari keseluruhan hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa antena yang dirancang telah berhasil meningkatkan *gain* dan mengubah karakteristik pola radiasi antena menjadi lebih optimal dibandingkan dengan antena elemen tunggal.

IV. SIMPULAN

Pada penelitian ini sudah dipaparkan desain pengembangan antena mikrostrip *array* 2x1 elemen yang bekerja pada frekuensi 3.5 GHz untuk sistem komunikasi Generasi Kelima (5G). Antena yang didesain dioptimalisasi memakai teknik *inset* dan *slit* yang menghasilkan nilai $S_{11} \leq -10$ dB serta *bandwidth* ≥ 200 MHz pada rentang frekuensi 3,4 GHz hingga 3,6 GHz. Antena *array* 2x1 elemen yang dikembangkan dengan teknik *slit* dan *inset* ini berhasil meningkatkan *bandwidth* dan *gain* masing-masing sebesar 70,43% dan 66,77% dibandingkan dengan antena elemen tunggal. Tahapan selanjutnya pada penelitian ini adalah melakukan proses pabrikan serta pengembangan antena *array* 2x2 elemen untuk meningkatkan nilai *gain*.

UCAPAN TERIMA-KASIH

Terima kasih kepada Lembaga Penelitian Universitas Trisakti yang telah mendukung dan membiayai penelitian ini secara penuh melalui skema Hibah Penelitian Internal Tahun Anggaran 2020/2021.

DAFTAR REFERENSI

[1] M. Höyhtyä, O. Apilo, dan M. Lasanen, "Review of latest advances in 3GPP standardization: D2D communication in 5G systems and its energy consumption models," *Futur. Internet*, vol. 10, no. 1, 2018, doi: 10.3390/fi10010003.

[2] A. Hikmaturokhman, K. Ramli, dan M. Suryanegara, "Spectrum

considerations for 5G in Indonesia," *Proceeding - 2018 Int. Conf. ICT Rural Dev. Rural Dev. through ICT Concept, Des. Implic. IC-ICTRuDev 2018*, 2018, hlm. 23–28, doi: 10.1109/ICICTR.2018.8706874.

[3] S. Alam dan I. Wibisono, *Pengantar Antena dan Propagasi: Konsep Dasar dan Teori*, vol. 45. DKI Jakarta: UTA 45 Jakarta Press, 2017.

[4] I. Surjati, *Antena Mikrostrip: Konsep dan Aplikasinya*. DKI Jakarta: Universitas Trisakti, 2010.

[5] M. Alaydrus, "Riset antena – State of the art," *J. Telekomun. dan Komput.*, vol. 6, no. 1, hlm. 1, 2017, doi: 10.22441/incomtech.v6i1.1146.

[6] D.-G. Fang, *Antenna Theory and Microstrip Antennas*. CRC Press, 2017.

[7] D. Imran, dkk., "Millimeter wave microstrip patch antenna for 5g mobile communication," *2018 Int. Conf. Eng. Emerg. Technol.*, no. April, 2019, hlm. 1–6, doi: 10.1109/ICEET1.2018.8338623.

[8] W. An, Y. Li, H. Fu, J. Ma, W. Chen, dan B. Feng, "Low-profile and wideband microstrip antenna with stable gain for 5G wireless applications," *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, vol. 17, no. 4, hlm. 621–624, 2018, doi: 10.1109/LAWP.2018.2806369.

[9] N. Ferdous, G. Chin Hock, H. A. S. Hamid, M. N. A. Raman, T. Sieh Kiong, dan M. Ismail, "Design of a small patch antenna at 3.5 GHz for 5G application," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 268, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1755-1315/268/1/012152.

[10] D. Paragya and H. Siswono, "3.5 GHz rectangular patch microstrip antenna with defected ground structure for 5G," *Elkomika J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 8, no. 1, hlm. 31, 2020, doi: 10.26760/elkomika.v8i1.31.

[11] H. Wang dan G. Yang, "Design of 4x4 microstrip Quasi-Yagi beam-steering antenna array operation at 3.5GHz for future 5G vehicle applications," in *2017 International Workshop on Antenna Technology: Small Antennas, Innovative Structures, and Applications (iWAT)*, 2017, hlm. 331–334, doi: 10.1109/IWAT.2017.7915393.

[12] M. A. Soliman, T. E. Taha, W. Swelam, dan A. Goma, "3.5/5 GHz dual-band 8 x 8 adaptive array antenna," *Prog. Electromagn. Res. C*, vol. 34, no. August 2012, hlm. 85–98, 2012, doi: 10.2528/pierc12081513.

[13] A. R. Pratiwi, E. Setijadi, dan G. Hendranto, "Design of two-elements subarray with parasitic patch for 5G Application," in *Proceedings - 2020 International Seminar on Intelligent Technology and Its Application: Humanification of Reliable Intelligent Systems, ISITIA 2020*, 2020, hlm. 311–316, doi: 10.1109/ISITIA49792.2020.9163785.

[14] L. M. Ramadhan, R. P. Astuti, dan B. S. Nugroho, "Simulation of design and analysis massive mimo array microstrip rectangular patch dualband 3.5 GHz and 26 GHz for 5G communications," in *2019 IEEE Asia Pacific Conference on Wireless and Mobile (APWiMob)*, 2019, hlm. 28–32, doi: 10.1109/APWiMob48441.2019.8964213.

[15] K. Da Xu, J. Zhu, S. Liao, dan Q. Xue, "Wideband patch antenna using multiple parasitic patches and its array application with mutual coupling reduction," *IEEE Access*, vol. 6, hlm. 42497–42506, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2860594.

[16] A. Pandey, *Practical Microstrip and Printed Antenna Design*. Artech House, 2019.

Atria Anindito, kelahiran kota Jakarta. Pendidikan S1 Teknik Elektro Universitas Trisakti. Saat ini penulis masih tercatat sebagai mahasiswa aktif di Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Trisakti. Minat penelitian di bidang antena progagasi, khususnya antena *microstrip*.

Agam Yudi Putranto, kelahiran kota Jakarta. Pendidikan D3 Teknik Elektro Politeknik Negeri Jakarta. Saat ini penulis masih tercatat sebagai mahasiswa aktif di Program Studi Teknik Elektro Universitas Trisakti. Minat penelitian di bidang antena progagasi, khususnya antena *microstrip*.

Indra Surjati, kelahiran Bangkok, Thailand. Pendidikan S1 dan S2 diselesaikan di Program Studi Teknik Elektro dan Magister Teknik Elektro di Universitas Trisakti, sedangkan pendidikan S3

diselesaikan di Program Studi Doktor bidang Teknik Elektro Universitas Indonesia. Saat ini penulis masih tercatat sebagai Dosen Tetap dan Guru Besar di Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Trisakti. Minat penelitian di bidang antena progagasi, khususnya antena *microstrip*.

Syah Alam, kelahiran Jakarta. Pendidikan S1 dan S2 diselesaikan di Program Studi Teknik Elektro di Universitas Pendidikan Indonesia dan Magister Teknik Elektro di Universitas Trisakti. Saat ini penulis masih tercatat sebagai Dosen Tetap di Program Studi Teknik Elektro Universitas Trisakti. Minat penelitian di bidang antena progagasi, khususnya antena *microstrip*.

Lydia Sari, kelahiran Jakarta. Pendidikan S1 diselesaikan di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Trisakti, sedangkan S2 dan S3 diselesaikan di Departemen Teknik Elektro di Universitas Indonesia. Saat ini penulis masih tercatat sebagai Dosen Tetap di Program Studi Teknik Elektro Universitas Trisakti. Minat penelitian di bidang komunikasi nirkabel dan teori informasi pengkodean.