

# Antena Mikrostrip MIMO dengan Teknik *Planar Series Array* 4x2 elemen untuk Sistem Komunikasi 5G

SYAH ALAM<sup>1</sup>, INDRA SURJATI<sup>2</sup>, YULI KURNIA NINGSIH<sup>3</sup>, LYDIA SARI<sup>3</sup>,  
SURYADI<sup>4</sup>, R. DEINY MARDIAN<sup>5</sup>, TEGUH FIRMANSYAH<sup>6</sup>, ZAHRIADHA  
ZAKARIA<sup>7</sup>, DIAN WIDI ASTUTI<sup>8</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Jurusan Teknik Elektro, Universitas Trisakti, DKI Jakarta, Indonesia

<sup>6</sup>Program Studi Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten, Indonesia

<sup>7</sup> Fakultas Teknologi dan Kejuruteraan Elektronik dan Komputer, Universiti Teknikal  
Malaysia Melaka (UTeM), Melaka, Malaysia

<sup>8</sup>Program Studi Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana, DKI Jakarta, Indonesia

Email : syah.alam@trisakti.ac.id

Received 16 November 2023 | Revised 22 Januari 2024 | Accepted 30 Januari 2024

## ABSTRAK

*Makalah ini mengusulkan antena mikrostrip dengan dengan performansi tinggi yang beroperasi pada frekuensi resonansi 3,5 GHz untuk sistem komunikasi 5G. Antena dikembangkan dalam dengan teknik array planar seri 4x2 elemen yang dikonfigurasi MIMO. Berdasarkan hasil pengukuran, antena yang dirancang memiliki koefisien refleksi  $\leq -10$  dB, koefisien isolasi  $\leq -40$  dB dengan rentang frekuensi 3.1 GHz – 3,7 GHz dan gain maksimum sebesar 12,52 dB pada frekuensi resonansi 3,5 GHz. Bandwidth dan penguatan antena masing-masing meningkat sebesar 172.72% dan 160.83 %. Penelitian ini dapat direkomendasikan untuk digunakan sebagai antena penerima sistem komunikasi 5G.*

**Kata kunci:** antena, array, mikrostrip, MIMO, planar, 5G

## ABSTRACT

*This article suggests a microstrip antenna with high performance, designed to operate at the resonant frequency of 3.5 GHz in 5G communication systems. The antenna is developed in a MIMO-configured 4x2 element series planar array technique. Based on measurement results, the proposed antenna exhibits a reflection coefficient of  $\leq -10$  dB, an isolation coefficient of  $\leq -40$  dB, within the frequency range 3.1 – 3.7 GHz and maximum gain of 12.52 dB at the resonant frequency of 3.5 GHz. The antenna's bandwidth and gain enhanced until 172.72% and 160.83%, respectively. This study suggests the potential use of the developed antenna as a reception device in 5G communication systems.*

**Keywords:** antenna, array, microstrip, MIMO, planar, 5G

## 1. PENDAHULUAN

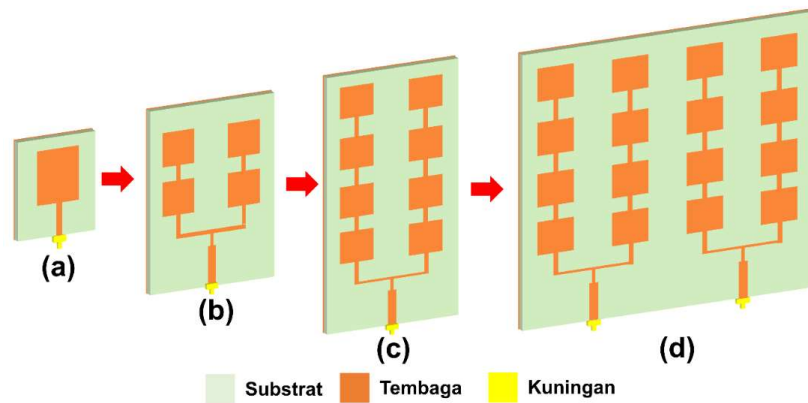
Pada tahun 2018, diperkenalkan *5G communication system* yang menawarkan keunggulan, termasuk *high transfer data rate* dan pita frekuensi yang lebar (Hobbs, 2018). Dalam aturan yang telah ditetapkan oleh (Admaja, 2018) pada tahun 2018, frekuensi kerja yang digunakan dalam sistem komunikasi generasi kelima (5G) dibagi menjadi beberapa pita salah satunya adalah 3,5 GHz. Kondisi wilayah di Indonesia yang padat dan memiliki kontur tanah yang beragam membutuhkan frekuensi kerja yang rendah sehingga jangkauan dari sinyal yang dipancarkan menjadi lebih jauh. Untuk itu frekuensi 3.5 GHz dapat menjadi opsi untuk frekuensi kerja dari 5G khususnya di wilayah yang padat khususnya perkotaan di wilayah Indonesia (Hikmaturokhman, dkk, 2018). Selain itu, komunikasi 5G juga membutuhkan sistem multi masukan dan multi keluaran untuk dapat melayani pengguna dalam jumlah yang banyak (Cai, dkk., 2019). Keuntungan dari penggunaan MIMO adalah komunikasi antar pengirim dan penerima dapat berjalan lebih stabil dan optimal khususnya untuk sistem komunikasi 5G yang bersifat masif dengan menggunakan beberapa antena yang berfungsi untuk mengirim dan menerima sinyal (Murugan, 2021). Antena memegang peranan penting dalam sistem komunikasi nirkabel yang berfungsi sebagai pemancar dan penerima sinyal (Alam et al., 2022). Hal ini menjadi kebutuhan mendasar khususnya untuk sistem komunikasi bergerak yang membutuhkan kehandalan yang tinggi. Kajian dan penemuan terkait antena MIMO telah dipaparkan sebelumnya (An, dkk, 2018) (SANDI, dkk, 2020) (Zhang, dkk, 2018). Penelitian yang diusulkan oleh (Biswas & Gupta, 2020) telah berhasil merancang antena microstrip MIMO bentuk L pada frekuensi 3,5 GHz dengan nilai koefisien refleksi  $\leq -10$  dB, koefisien isolasi  $-18$  dB dan gain 2 dBi, selanjutnya pada penelitian yang diusulkan oleh (Abdullah, dkk, 2017) antena mikrostrip MIMO 4 port dikembangkan pada frekuensi 3.5 GHz dengan nilai koefisien refleksi  $\leq -10$  dB dan gain sebesar 5,1 dBi. Namun, *gain* dan keterarahan yang rendah menjadi limitasi dan celah penelitian yang perlu dikaji lebih lanjut. Beberapa metode optimasi untuk meningkatkan keterarahan telah dipaparkan pada penelitian sebelumnya antara lain *array* (Alam, dkk, 2021) (Cai, dkk, 2019), dan parasitik (Pratiwi, dkk, 2020). Temuan lain yang diusulkan oleh (Parchin, dkk, 2019) metode *planar array* MIMO digunakan untuk meningkatkan keterarahan dan menghasilkan peningkatan gain sebesar 8 dBi sedangkan pekerjaan yang dilakukan oleh (Hussain, dkk, 2017) menghasilkan *gain* 12,07 dB dengan menggunakan metode 6 sektor *array*. Selain itu, antena *array* dengan tiga *notched* telah dikembangkan oleh (Alam, dkk, 2022), namun antena yang diusulkan belum mendukung untuk komunikasi MIMO dan memiliki penguatan yang rendah. Penelitian ini mengusulkan pengembangan antena *array* 4x2 elemen dengan konfigurasi MIMO 2 port untuk meningkatkan penguatan dari antena. Penggunaan metode *array* bertujuan meningkatkan *gain* dari antena sehingga sudut berkas pancar menjadi lebih sempit dan jarak penerimaan menjadi lebih baik. Kebaruan dan *state of the art* dari pekerjaan ini adalah mengusulkan disain antena mikrostrip dengan mengkombinasikan metode *array* dan MIMO sehingga antena yang dirancang menghasilkan *bandwidth* yang lebar, *gain* yang tinggi dan pola pancar yang memiliki keragaman (*beamforming*) sehingga dapat direkomendasikan untuk sistem komunikasi 5G.

## 2. PERANCANGAN ANTENA

### 2.1 Pengembangan Model Antena

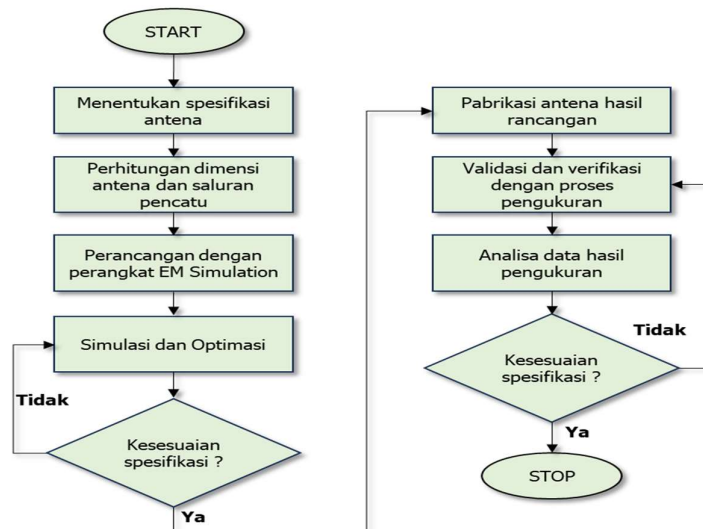
Dalam makalah ini, antena microstrip dirancang dan dikembangkan melalui beberapa tahapan antara lain antena elemen tunggal (*single element*), antena *array planar* 2x2 elemen, antena *array planar* 4x2 elemen dan antena MIMO *array planar array* 4x2 elemen. Substrat yang digunakan adalah FR-4 epoxy dengan konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) 4,3, *loss tan* ( $\tan \delta$ ) 0,0225 dan

ketebalan ( $h$ ) 1,6 mm. Antena dirancang untuk beroperasi pada frekuensi resonansi ( $f_r$ ) 3,5 GHz untuk diaplikasikan sebagai antena penerima pada sistem komunikasi 5G. Gambar 1 menampilkan pengembangan model antena pada makalah ini.



**Gambar 1. Pengembangan Model Antena; (a) Elemen Tunggal, (b) *Array Planar* 2x2 Elemen, (c) *Array Planar* Seri 4x2 Elemen, (d) MIMO *Array Planar* Seri 4x2 Elemen**

Tahapan awal dari pengembangan model antena adalah dengan merancang antena bentuk persegi panjang yang beroperasi pada  $f_r=3,5$  GHz seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 (a). Selanjutnya, untuk meningkatkan *bandwidth* dan *gain*, antena dikembangkan menggunakan teknik *array planar* seri 2x2 elemen dan *array planar* seri 4x2 elemen yang masing-masing ditunjukkan pada Gambar 1 (b) dan Gambar 1 (c) dimana masing-masing elemen tersusun secara seri dan terkoneksi dengan saluran mikrostrip. Tahap akhir adalah merancang antena MIMO dengan 2 *port* yang masing-masing terdiri dari antena *array planar* seri 4x2 elemen dan dipisahkan oleh jarak tertentu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 (d). Elemen peradiasi dari antena terbuat dari tembaga yang berada pada bagian atas dari substrat sedangkan bagian bawahnya berfungsi sebagai *groundplane*. Antena terkoneksi secara langsung dengan konektor yang terbuat dari kuningan dengan impedansi  $50 \Omega$  menggunakan saluran mikrostrip. Selanjutnya diagram alir dari pekerjaan makalah ini ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2. Diagram Alir Perancangan Antena**

Gambar 2 menunjukkan bahwa tahapan awal dalam perancangan antenna adalah menentukan spesifikasi parameter antenna. Spesifikasi antenna yang diusulkan dalam makalah ini ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Spesifikasi Antena Rancangan**

Parameter	Nilai
Frekuensi resonansi ( $f_r$ )	3,5 GHz
<i>Bandwidth</i>	200 MHz
Koefisien refleksi ( $S_{11}$ )	$\leq -9,54$ dB
Koefisien isolasi ( $S_{11}$ )	$\leq -20$ dB
<i>Gain</i>	$\leq 10$ dB

Selanjutnya, dimensi dari antenna dan saluran pencatu ditentukan menggunakan rumus dasar dalam perancangan antenna mikrostrip yang ditunjukkan pada Persamaan (1) sampai dengan Persamaan (5) (Fang, 2017). Dalam makalah ini bentuk elemen peradiasi yang digunakan adalah persegi panjang.

$$W = \frac{c}{2f_o\sqrt{\frac{\epsilon_r}{2}}} \quad (1)$$

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

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_o\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (3)$$

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

$$\Delta_L = 0.412 \frac{(\epsilon_{reff} + 0,3) \left( \frac{W}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0,258) \left( \frac{W}{h} + 0,8 \right)} \quad (5)$$

dimana  $W$  dan  $L$  mewakili panjang dan lebar patch,  $f_o$  mewakili frekuensi resonansi,  $\epsilon_r$  mewakili permitivitas substrat,  $\epsilon_{eff}$  mewakili permitivitas efektif substrat pada frekuensi resonansi tertentu,  $h$  mewakili ketebalan substrat sedangkan  $\Delta_L$  mewakili efek tepi bidang permukaan dari antenna. Selanjutnya, saluran mikrostrip diusulkan untuk mengontrol impedansi dan koefisien refleksi antenna. Dimensi saluran mikrostrip sangat dipengaruhi oleh impedansi masukan dan frekuensi resonansi yang digunakan. Pada makalah ini, impedansi masukan yang digunakan adalah  $50 \Omega$ . Dimensi garis mikrostrip dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan (6) dan Persamaan (7) berikut ini (Fang, 2017):

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

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

dimana  $W_z$  adalah lebar garis mikrostrip,  $Z_o$  adalah impedansi antenna dan  $B$  adalah konstanta impedansi. Impedansi antenna sebesar  $50 \Omega$  sesuai dengan impedansi konektor yang digunakan. Selanjutnya panjang saluran mikrostrip ( $L_z$ ) adalah  $\frac{1}{4}$  lambda ( $\lambda_g$ ) yang ditentukan dengan Persaman (8) dan Persamaan (9) berikut (Fang, 2017):

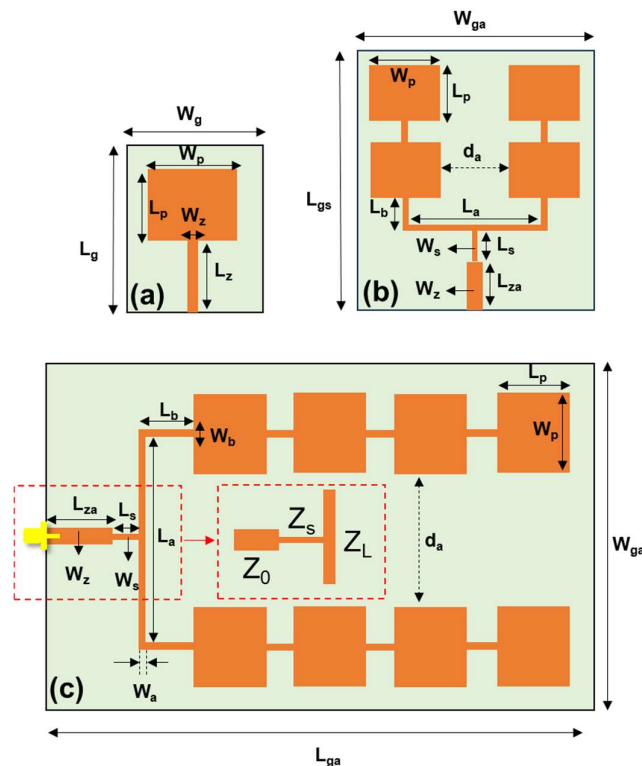
$$L_z = 1/4 \lambda_g \quad (8)$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda}{\epsilon_{eff}} \quad (9)$$

Selanjutnya, struktur dan dimensi yang didapatkan dari hasil perhitungan dirancang dan disimulasikan menggunakan perangkat lunak *EM Simulation* berbasis HFSS 15.0. Parameter yang disimulasikan antara lain koefisien refleksi ( $S_{11}$ ), koefisien isolasi ( $S_{21}$ ), pola radiasi dan *gain* dari antena yang diusulkan. Validasi dan verifikasi performansi medan dekat dari antena dilakukan dengan proses pengukuran di dalam ruangan laboratorium terhadap antena yang telah di fabrikasi menggunakan alat ukur *Vector Network Analyzer* dan diukur dalam temperature ruangan normal 25°C dengan rentang frekuensi 2 – 4,5 GHz dan *sweep frequency* 0,01 GHz sedangkan untuk medan jauh dilakukan di ruangan anechoic chamber dengan menggunakan rotator antena yang berputar dengan rentangan sudut 0 - 360°.

## 2.2 Perancangan Antena

Ukuran dan struktur dari elemen peradiasi persegi panjang didapatkan menggunakan Persamaan (1) sampai dengan Persamaan (5) sedangkan Persamaan (6) sampai dengan persamaan (9) digunakan untuk menentukan dimensi saluran mikrostrip dengan impedansi 50 Ω didapatkan menggunakan. Dari hasil perhitungan didapatkan struktur dan dimensi dari antena elemen tunggal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 (a) dimana  $W_p = 25$  mm,  $L_p = 20$  mm sedangkan untuk dimensi saluran mikrostrip dari antena elemen tunggal adalah  $W_z = 3$  mm dan  $L_z = 12,7$  mm. Selanjutnya dimensi groundplane dari antena elemen tunggal adalah  $W_g = 40$  mm dan  $L_g = 40$  mm.



**Gambar 3. Struktur Antena Rancangan; (a) Elemen Tunggal, (b) *Array Planar* Seri 2x2 Elemen, (c) *Array Planar* Seri 4x2 Elemen**

Selanjutnya antenna dikembangkan menggunakan teknik *array planar* seri 2x2 elemen dimana masing-masing antenna tersusun secara seri dan dipisahkan dengan jarak yang direpresentasikan oleh  $d_a$  seperti yang ditunjukkan Gambar 3 (b). Jarak antar elemen peradiasi untuk konfigurasi *array* dipengaruhi oleh panjang gelombang ( $\lambda$ ) dari antenna dan didapatkan menggunakan Persamaan (10) dan Persamaan (11) sebagai berikut (Fang, 2017):

$$d_a = 1/4 \lambda \tag{10}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} \tag{11}$$

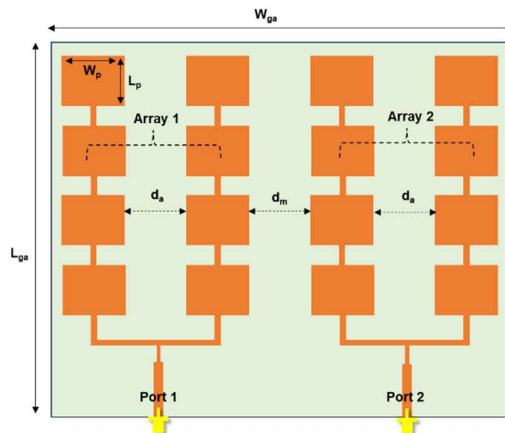
dimana  $d_a$  mewakili jarak antar elemen *array*,  $\lambda$  mewakili panjang listrik antenna dan  $c$  adalah kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s). Perancangan dan model antenna planar *array* seri dengan elemen 4x2 ditunjukkan pada Gambar 3 (c) dimana  $W_{ga}$  dan  $L_{gs}$  adalah 130 mm dan 130 mm, masing-masing. Gambar 3 (c) menunjukkan konfigurasi antenna *array* seri dengan empat elemen yang masing-masing dihubungkan secara planar menggunakan saluran transmisi dengan impedansi langkah 50 Ohm ( $Z_0$ ), 70,7 Ohm ( $Z_s$ ) dan 100 ohm ( $Z_L$ ) yang berfungsi sebagai pencocokan impedansi untuk mengontrol pantulan koefisien dan VSWR antenna. Lebar saluran transmisi menentukan impedansinya sedangkan impedansi saluran transmisi dapat ditentukan berdasarkan Persamaan (12) berikut (Fang, 2017):

$$Z_s = \sqrt{Z_0 \cdot Z_L} \tag{12}$$

Selanjutnya, dimensi keseluruhan antenna planar *array* seri dengan elemen 4x2 disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2. Dimensi dan Parameter Antena**

Parameter	Dimensi (mm)	Parameter	Dimensi (mm)
$W_{ga}$	130	$W_s$	1
$L_{ga}$	187	$L_s$	3
$W_z$	3	$W_a$	2
$L_{za}$	40	$L_a$	94
$W_p$	25	$W_b$	3
$L_p$	20	$L_b$	12,7
$d_a$	22	$d_m$	11

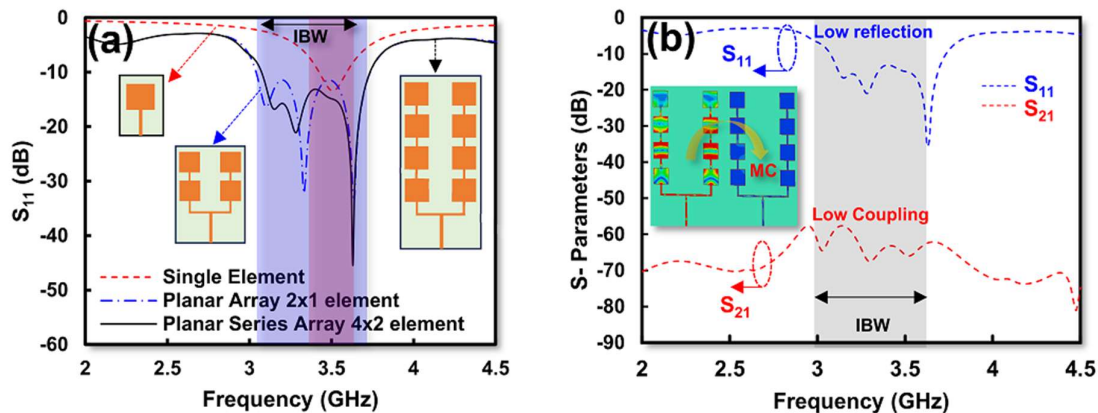


**Gambar 4. Struktur Antena Planar Series Array 4x2 Elemen dengan Konfigurasi MIMO**

Gambar 4 menunjukkan antenna *array planar* seri 4x2 elemen yang sudah dikonfigurasi secara MIMO dimana masing-masing antenna terkoneksi dengan *port 1* dan *port 2* dan dipisahkan dengan jarak  $d_m$  yang ditentukan dengan menggunakan Persamaan (13) dibawah ini (Fang, 2017):

$$d_m = 1/8 \lambda \tag{13}$$

Sebagai catatan, jarak antar elemen peradiasi pada konfigurasi MIMO akan menentukan koefisien isolasi dan kopling elektromagnet dari antenna. Semakin jauh jarak antara elemen maka kopling elektromagnet menjadi rendah sehingga koefisien isolasi menjadi semakin tinggi dan sebaliknya. Kopling elektromagnet rendah dan koefisien isolasi yang tinggi menunjukkan bahwa kedua antenna pada konfigurasi MIMO beroperasi secara independent dan tidak saling mempengaruhi satu sama lain. Dalam makalah ini, jarak antara elemen peradiasi pada konfigurasi MIMO yang digunakan adalah  $d_m = 22 \text{ mm}$  dengan dimensi  $W_g = 290 \text{ mm}$  dan  $L_g = 190 \text{ mm}$ . Selanjutnya, untuk mengobservasi performansi dari antenna yang diusulkan, simulasi dan optimasi dengan HFSS 15.0 diusulkan untuk mengamati parameter  $S_{11}$ , *bandwidth* dan  $S_{21}$  pada konfigurasi MIMO.

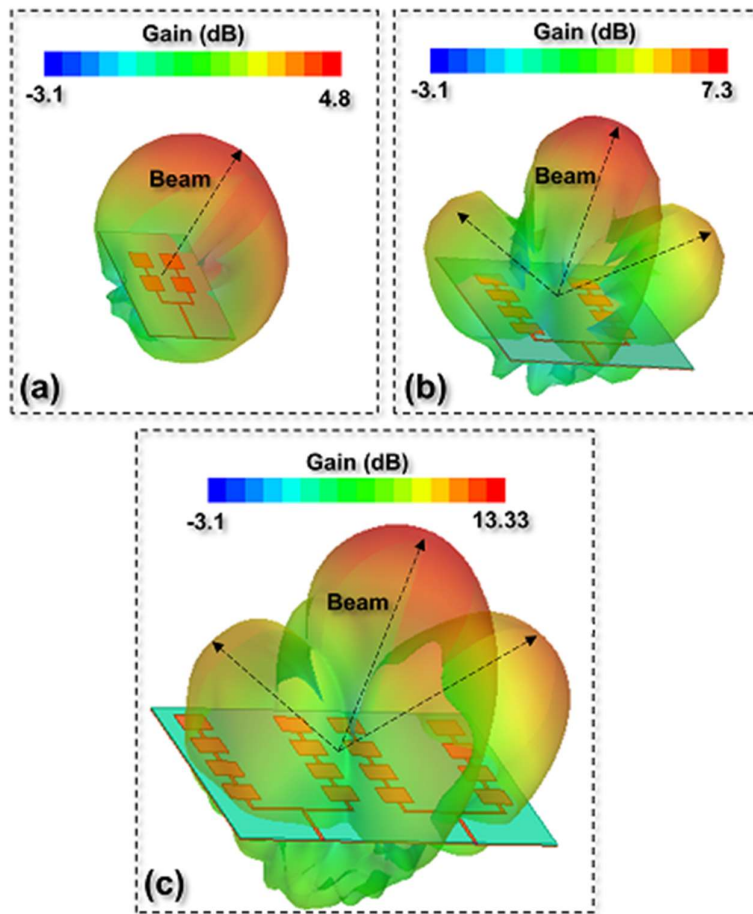


**Gambar 5. Hasil Simulasi dari Antena Rancangan; (a) Simulasi  $S_{11}$  dari Pengembangan Model Antena, (b) Simulasi  $S_{11}$  dan  $S_{21}$  dari Antena Rancangan dengan Konfigurasi MIMO**

Gambar 5 (a) memaparkan hasil simulasi dari antenna elemen tunggal, planar *array* seri 2x2 elemen dan *array* planar seri 4x2 elemen telah beroperasi di  $f_r = 3.5 \text{ GHz}$  serta memiliki koefisien refleksi  $\leq -10 \text{ dB}$  dengan bandwidth masing-masing 0,14 GHz (3,44 – 3,58 GHz), 0,67 GHz (3,05 GHz – 3,72 GHz) dan 0,65 GHz (3,07 – 3,72 GHz). Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan teknik *array planar* seri 2x2 elemen dan 4x2 elemen berhasil meningkatkan bandwidth dari antenna sampai dengan 364% dibandingkan dengan elemen tunggal. Selanjutnya, performansi dari konfigurasi MIMO 2 *port* ditunjukkan pada Gambar 5 (b) dimana didapatkan  $S_{21} \leq -40 \text{ dB}$  pada rentang frekuensi 3,05 GHz – 3,72 GHz. Temuan ini membuktikan bahwa kopling antara kedua antenna yang dikonfigurasi secara MIMO sangat rendah dan masing-masing antenna dapat beroperasi secara independent tanpa menginterferensi satu sama lain.

Untuk mengamati performansi *gain* dan pola radiasi dari antenna yang diusulkan, simulasi didapatkan dengan pendekatan *Finite Element Modelling* (FEM) menggunakan HFSS 15.0. Frekuensi resonansi yang digunakan adalah  $f_r = 3,5 \text{ GHz}$  dengan rentang sudut pengamatan dari  $0^\circ$  sampai dengan  $360^\circ$  seperti yang ditunjukkan Gambar 6. Sebagai catatan, gain menunjukkan kemampuan antenna untuk menguatkan sinyal pada sudut tertentu sedangkan pola radiasi menunjukkan pola pada saat antenna memancarkan gelombang elektromagnetik.

Kedua parameter ini merupakan medan jauh dari antenna yang sangat menentukan performansi antenna pada saat mengirimkan dan menerima gelombang elektromagnetik pada frekuensi resonansi yang ditargetkan. Umumnya, karakteristik pola radiasi dari antenna mikrostrip ke segala arah (*omnidirectional*) dengan sudut optimal nya di  $\theta$ . Dalam makalah ini, teknik *array planar* seri digunakan untuk meningkatkan penguatan dan mengoptimalkan pola radiasi dari antenna menjadi ke satu arah (*directional*) dengan sudut berkas pancar (*beam*) yang beragam sehingga antenna dapat menjangkau dan melayani pengguna dari beberapa sudut yang berbeda.



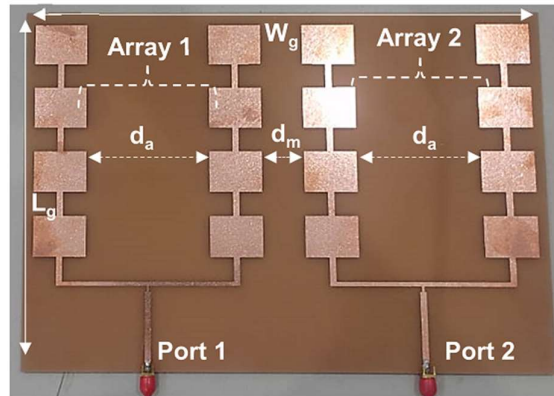
**Gambar 6. Hasil Simulasi Penguatan dan Pola Radiasi Antena pada  $f_r= 3,5$  GHz; (a) *Array Planar* Seri 2x2 Elemen, (b) *Array Planar* Seri 4x2 Elemen, (c) *Array Planar* Seri 4x2 Elemen dengan Konfigurasi MIMO**

Gambar 6 (a) menunjukkan bahwa *gain* maksimal dari *array* 2x2 elemen adalah 4,8 dB dengan satu sudut berkas pancar yang optimal sedangkan Gambar 6 (b) menunjukkan bahwa performansi *gain* dari antenna meningkat menjadi 7,3 dB dengan tiga sudut berkas pancar optimal. Selanjutnya, *gain* dari antenna meningkat menjadi 13,33 dB dengan tiga sudut pancar untuk antenna yang dikonfigurasi secara MIMO seperti yang ditunjukkan Gambar 6 (c). Hal ini menunjukkan bahwa penambahan elemen dari antenna *array* dan konfigurasi MIMO telah berhasil meningkatkan *gain* dan mengotimalkan keragaman dari sudut berkasi pancar dari antenna.



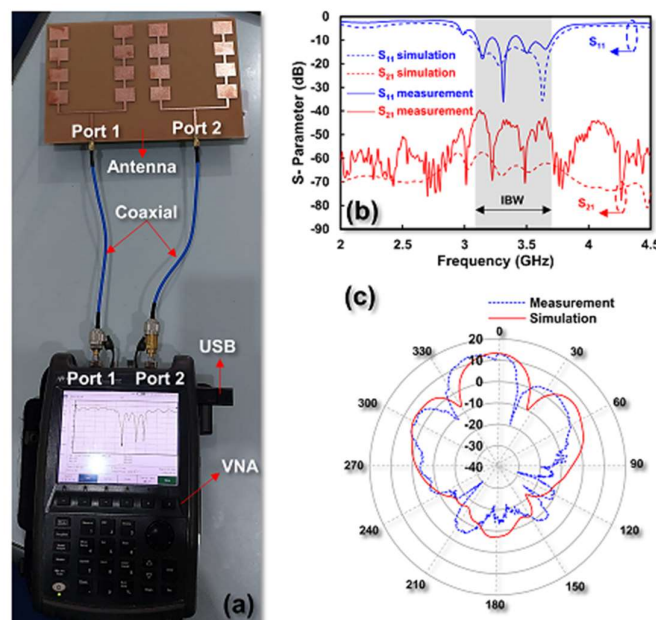
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam makalah ini, antenna di fabrikasi menggunakan substrat jenis FR-4 epoxy. Elemen peradiasi dari antenna berada bagian atas dari substrat sedangkan bagian bawahnya berfungsi sebagai *ground plane*. Hasil fabrikasi dari perangkat yang telah dirancang ditunjukkan pada Gambar 7.



**Gambar 7. Hasil Pabrikasi Antena Rancangan**

Gambar 7 menunjukkan hasil pabrikasi dari antenna rancangan menggunakan substrat FR4 dimana kedua antenna masing-masing tekoneksi dengan *port 1* dan *port 2* menggunakan konektor RP-SMA dengan impedansi 50  $\Omega$ . Elemen peradiasi dan *ground plane* dari antenna terbuat dari tembaga sedangkan konektor terbuat dari kuningan. Untuk menyesuaikan impedansi dari keduanya saluran mikrostrip diusulkan sebagai penyesuai impedansi. Selanjutnya, validasi dan verifikasi performansi dari antenna dilakukan di laboratorium melalui kegiatan pengukuran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.



**Gambar 8. (a) Proses Pengukuran Antena Rancangan, (b) Perbandingan r  $S_{11}$  dan  $S_{21}$ , (c) Perbandingan Pola Radiasi pada  $f_r = 3,5$  GHz**

Gambar 8 (a) menunjukkan konfigurasi pengukuran dari antenna yang terdiri dari antenna rancangan yang dikoneksikan dengan VNA menggunakan kabel coaxial ke port 1 dan port 2. Data dari hasil pengukuran disimpan dalam *USB drive* yang nantinya akan diolah menggunakan *personal computer* (PC). Pengukuran dilakukan di laboratorium dengan temperatur ruangan 25° dengan rentang frekuensi 2 – 4,5 GHz dan *sweep frequency* 0,01 GHz. Hasil pengukuran  $S_{11}$  dan  $S_{21}$  menunjukkan bahwa antenna memiliki karakteristik dan performansi yang identik antara proses simulasi dan pengukuran seperti yang ditunjukkan Gambar 8 (b). Dari hasil pengukuran didapatkan antenna beroperasi pada frekuensi 3,1 GHz sampai dengan 3,7 GHz dengan  $S_{11} \leq -10$  dB dan *bandwidth* 600 MHz. Hal ini menunjukkan bahwa antenna telah memenuhi spesifikasi yang ditetapkan yaitu *bandwidth*  $\leq 200$  MHz. Selanjutnya untuk  $S_{21}$  dari antenna MIMO berada pada rentang  $\leq -40$  dB. Hal ini menunjukkan bahwa antenna MIMO memiliki koefisien isolasi yang tinggi dan telah memenuhi kriteria yang ditentukan yaitu  $S_{21} \leq -20$  dB. Performansi *gain* dan pola radiasi dari antenna pada  $f_r = 3,5$  GHz juga ditunjukkan dalam Gambar 8 (c) dimana pola radiasi dari antenna rancangan identik dengan hasil simulasi dengan gain maksimal sebesar 12,52 dB. Temuan ini menunjukkan bahwa antenna telah memenuhi target yang telah ditetapkan yaitu *gain*  $\leq 10$  dB. Untuk menunjukkan kontribusi dan kebaruan dari penelitian ini, Tabel 3 menunjukkan perbandingan dengan penelitian sebelumnya. Tabel 3 menunjukkan bahwa pekerjaan yang diusulkan telah berhasil merancang dan mendisain antenna yang memiliki gain yang lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Selain itu, koefisien isolasi ( $S_{21}$ ) yang dihasilkan lebih baik dari pekerjaan sebelumnya sehingga antenna memiliki independensi tinggi saat beroperasi secara bersamaan untuk sistem komunikasi MIMO.

**Tabel 3. Komparasi Dengan Pekerjaan Sebelumnya**

Referensi	Metode	Frekuensi resonansi ( $f_r$ )	Parameter			
			$S_{11}$ (dB)	$S_{21}$ (dB)	BW (MHz)	Gain (dB)
(Biswas & Gupta, 2020)	L-Slot	3.5 GHz	$\leq -10$	-18	900	4,5
(SANDI et al., 2020)	U-Slot	28 GHz	$\leq -10$	NA	2800	11,16
(Abdullah et al., 2017)	Coplanar Waveguide	3.5 GHz	$\leq -10$	-12	200	5,1
<b>Makalah ini</b>	<b>Array planar seri</b>	<b>3.5 GHz</b>	<b><math>\leq -10</math></b>	<b>-40 dB</b>	<b>600</b>	<b>12,52</b>

#### 4. KESIMPULAN

Makalah ini telah memaparkan secara komprehensif perancangan dan pengembangan model antenna MIMO dengan teknik planar seri *array* 4x2 elemen yang beroperasi di  $f_r = 3,5$  GHz. Teknik planar seri *array* diusulkan untuk meningkatkan bandwidth dan gain sedangkan MIMO untuk mengoptimalkan keragaman sudut berkas pancar dari antenna. Dari hasil pengukuran didapatkan antenna memiliki  $S_{11} \leq -10$  dB pada rentang frekuensi 3.1 – 3.7 GHz dengan koefisien isolasi  $\leq -40$  dB. *Bandwidth* yang dihasilkan adalah 600 MHz dengan gain maksimal adalah 12.52 dB pada  $f_r = 3.5$  GHz. Teknik planar seri *array* yang dikonfigurasi secara MIMO berhasil meningkatkan bandwidth dan gain sebesar 172.72% dan 160.83 % dibandingkan dengan antenna elemen tunggal. Penelitian ini sangat bermanfaat dan dapat diterapkan sebagai antenna penerima untuk sistem komunikasi 5G.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh Lembaga Penelitian Universitas Trisakti dan Kemenristek RI 2023 melalui hibah penelitian kompetitif dalam Skema Penelitian Fundamental, nomor kontrak 1440/LL3/AL.04/2023.

## DAFTAR RUJUKAN

- Abdullah, M., Ban, Y.-L., Kang, K., Li, M.-Y., & Amin, M. (2017). Compact four-port MIMO antenna system at 3.5 GHz. *2017 IEEE 2nd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC)*, (pp. 656–660). <https://doi.org/10.1109/IAEAC.2017.8054098>
- Admaja, A. F. S. (2018). Pemetaan Riset Teknologi 5G [5G Technology Research Mapping]. *Buletin Pos Dan Telekomunikasi*, *16*(1), 27. <https://doi.org/10.17933/bpostel.2018.160103>
- Alam, S., Surjati, I., Sari, L., Anindito, A., Putranto, A. Y., & Firmansyah, T. (2021). Bandwidth enhancement of array microstrip antenna using spiral stub for 5g communication system. *Przeglad Elektrotechniczny*, *97*(11), 40–44. <https://doi.org/10.15199/48.2021.11.07>
- Alam, S., Surjati, I., Sari, L., Hilyawan, M. R., Zakaria, Z., Shairi, N. A., Hikmaturokhman, A., & Firmansyah, T. (2022). Triple Band Notched Microstrip Antenna Using Planar Series 2x2 Element Array for 5G Communication System. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, *14*(1), 1–5. [https://doi.org/10.21272/jnep.14\(1\).01019](https://doi.org/10.21272/jnep.14(1).01019)
- An, W., Li, Y., Fu, H., Ma, J., Chen, W., & Feng, B. (2018). Low-Profile and Wideband Microstrip Antenna with Stable Gain for 5G Wireless Applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, *17*(4), 621–624. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2018.2806369>
- Biswas, A., & Gupta, V. R. (2020). Design and Development of Low Profile MIMO Antenna for 5G New Radio Smartphone Applications. *Wireless Personal Communications*, *111*(3), 1695–1706. <https://doi.org/10.1007/s11277-019-06949-z>
- Cai, Q., Li, Y., Zhang, X., & Shen, W. (2019). Wideband MIMO Antenna Array Covering 3.3-7.1 GHz for 5G Metal-Rimmed Smartphone Applications. *IEEE Access*, *7*, 142070–142084. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2944681>
- Fang, D. G. (2017). Antenna Theory and Microstrip Antennas. *Antenna Theory and Microstrip Antennas*, 1–299. <https://doi.org/10.1201/b10302>
- Hikmaturokhman, A., Ramli, K., & Suryanegara, M. (2018). Spectrum Considerations for 5G in Indonesia. *Proceeding - 2018 International Conference on ICT for Rural Development: Rural Development through ICT: Concept, Design, and Implication, IC-ICTRuDev 2018*, (pp. 23–28). <https://doi.org/10.1109/ICICTR.2018.8706874>

- Hobbs, S. (2018). *Valuing 5G Spectrum: Valuing the 3.5 GHz and C-Band Frequency Range*. February, 1–8.
- Hussain, R., Alreshaid, A. T., Podilchak, S. K., & Sharawi, M. S. (2017). Compact 4G MIMO antenna integrated with a 5G array for current and future mobile handsets. *IET Microwaves, Antennas and Propagation*, *11*(2), 271–279. <https://doi.org/10.1049/iet-map.2016.0738>
- Murugan, S. (2021). Compact MIMO Shorted Microstrip Antenna for 5G Applications. *International Journal of Wireless and Microwave Technologies*, *11*(1), 22–27. <https://doi.org/10.5815/ijwmt.2021.01.03>
- Parchin, N. O., Basherlou, H. J., Al-Yasir, Y. I. A., Ullah, A., Abd-Alhameed, R. A., & Noras, J. M. (2019). Multi-band MIMO antenna design with user-impact investigation for 4G and 5G mobile terminals. *Sensors (Switzerland)*, *19*(3). <https://doi.org/10.3390/s19030456>
- Pratiwi, A. R., Setijadi, E., & Hendrantoro, G. (2020). Design of Two-Elements Subarray with Parasitic Patch for 5G Application. *Proceedings - 2020 International Seminar on Intelligent Technology and Its Application: Humanification of Reliable Intelligent Systems, ISITIA 2020*, (pp. 311–316). <https://doi.org/10.1109/ISITIA49792.2020.9163785>
- Sandi, E., Djatmiko, W., & Putri, R. K. (2020). Desain U-slot Ganda untuk Meningkatkan Bandwidth Antena MIMO 5G Millimeter-wave. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, *8*(1), 150. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v8i1.150>
- Zhang, W., Weng, Z., & Wang, L. (2018). Design of a dual-band MIMO antenna for 5G smartphone application. *2018 International Workshop on Antenna Technology (IWAT)*, (pp. 1–3). <https://doi.org/10.1109/IWAT.2018.8379211>