

MIMO Antenna Transmitter for Future Railway Mobile Communication Systems

1st Haris Azmil Masna
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

harisazmilmasna@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Rina Pudji Astuti
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

rinapudjiastuti@telkomuniversity.ac.id

3rd Levy Olivia Nur
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

levyolivia@telkomuniversity.ac.id

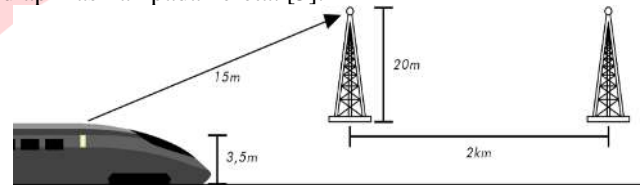
Abstrak — Penelitian ini secara mendalam mengeksplorasi penerapan teknologi *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) dalam *Future Railway Mobile Communication Systems* (FRMCS), bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan kehandalan komunikasi di lingkungan yang padat seperti jalur kereta api. Fokus utama adalah mengoptimalkan antenna MIMO pada frekuensi 1900 MHz, yang krusial dalam aplikasi FRMCS. Menggunakan *software simulink*, penelitian merancang dan menguji antenna mikrostrip dengan *array 2-patch* dalam substrat FR-4. Proses eksperimental mencakup pembuatan sinyal dasar, modulasi QPSK, dan penggunaan blok *High Power Amplifier* (HPA) untuk memastikan daya transmisi yang memadai sebelum sinyal dikirim ke *Software Defined Radio* (SDR) melalui antarmuka USB. Hasilnya menunjukkan bahwa antenna MIMO ini mencapai pola radiasi *unidirectional* dengan polarisasi elips dan *gain* 5,256 dBi, memenuhi persyaratan frekuensi kerja dan menawarkan kinerja yang stabil dalam lingkungan dinamis operasional kereta api. Penemuan ini diharapkan memberikan kontribusi penting dalam pengembangan sistem komunikasi FRMCS, menyediakan solusi yang lebih efisien dan handal untuk mendukung keselamatan serta efisiensi operasional kereta api di masa depan.

Kata kunci— *Future Railway Mobile Communication Systems* (FRMCS), MIMO, antenna mikrostrip, Simulink, Software Defined Radio

I PENDAHULUAN

Future Railway Mobile Communication Systems (FRMCS) dirancang sebagai pengganti sistem GSM-R yang akan usang pada tahun 2030 [1] karena keterbatasan kecepatan transmisi dan kapasitas. FRMCS menggunakan frekuensi 1900 MHz [2] untuk mengatasi kepadatan pengguna, mengurangi interferensi, dan memanfaatkan teknologi terbaru seperti LTE dan 5G. Dalam FRMCS, penggunaan antenna MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) [3] meningkatkan kapasitas, kecepatan komunikasi, dan keandalan sistem, khususnya dalam operasi kereta. Dalam praktik implementasi sistem antenna pada kereta dapat menggunakan antenna mikrostrip. Antena mikrostrip merupakan pilihan umum dalam sistem telekomunikasi karena kemudahannya dalam integrasi dengan komponen elektronik lainnya [4]. Struktur antenna mikrostrip terdiri dari tiga lapisan bahan yang mencakup *patch*, substrat, dan

ground plane. Antena mikrostrip memiliki berbagai keunggulan, termasuk kemudahan dalam proses pembuatan, bobot yang ringan, dan bentuk yang kompak dan sesuai untuk diaplikasikan pada kereta. [5].



GAMBAR 1.1
Visualisasi Jarak Kereta dengan Base Station

II KAJIAN TEORI

Pada bagian ini akan dibahas konsep-konsep dasar yang mendukung antenna untuk aplikasi FRMCS. Pengetahuan mendalam mengenai antenna dan teknologi terkait sangat penting untuk memahami bagaimana sistem ini dapat meningkatkan efisiensi dan keandalan komunikasi dalam operasi kereta modern.

A. Antena MIMO

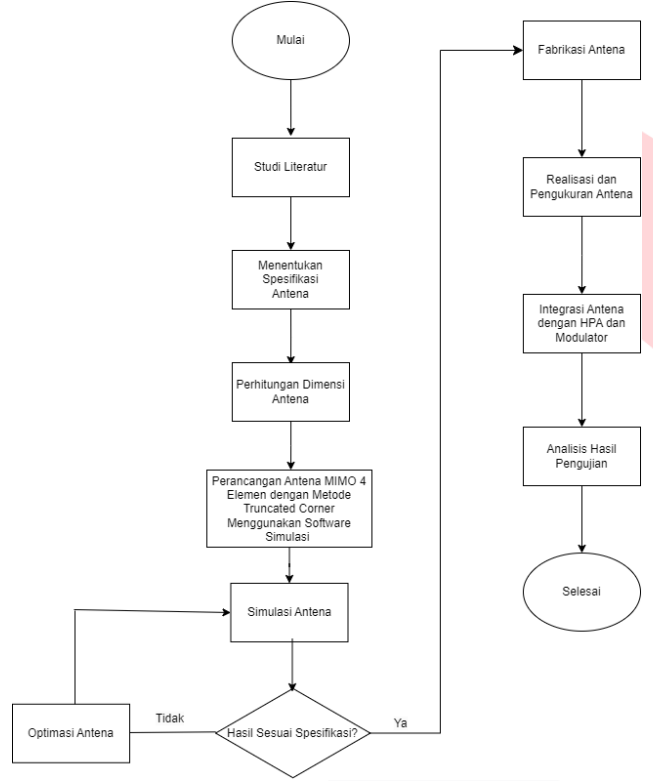
Antena MIMO adalah teknologi dalam komunikasi nirkabel yang menggunakan banyak antenna untuk mentransmisikan dan menerima sinyal secara bersamaan. Dengan memanfaatkan *multiple input* dan *multiple output*, antenna MIMO dapat meningkatkan efisiensi penggunaan spektrum frekuensi, mempercepat transmisi data, dan meningkatkan stabilitas serta cakupan jaringan secara keseluruhan. Teknologi ini sangat penting dalam mendukung konektivitas yang lebih handal dan cepat di era digital saat ini.

B. Array

Antena *array* menggunakan multiple elemen untuk meningkatkan *gain*, *directivity*, dan kontrol pola radiasi. Dengan mengatur elemen-elemen ini secara teratur, antenna dapat mengirim dan menerima sinyal lebih efisien serta mengurangi interferensi, cocok untuk aplikasi komunikasi nirkabel.

III METODE

Pada proses perancangan antenna MIMO untuk *Future Railway Mobile Communication System* (FRMCS), langkah pertama yang krusial adalah melakukan perhitungan untuk menentukan nilai awal dari dimensi *patch* antenna dan jalur transmisi. Setelah dimensi awal ditentukan, maka dilakukan optimasi agar hasil parameter antenna sesuai dengan kebutuhan spesifikasi FRMCS. Parameter yang dioptimalkan meliputi *gain*, *return loss*, *bandwidth*, dan pola radiasi. Berikut merupakan diagram alir dari proses perancangan antenna.



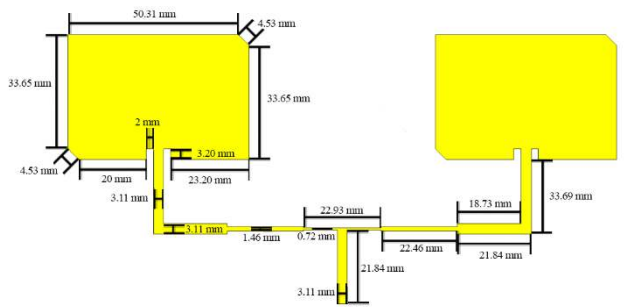
GAMBAR 3.1
Diagram Alir Proses Desain Antena

Setelah dimensi awal dari antenna dihitung, parameter yang dihasilkan masih belum optimal. Berikut merupakan tabel perbandingan dari dimensi awal antenna dan dimensi antenna setelah dioptimasi.

TABEL 3.1
Dimensi Antena Sebelum dan Sesudah Optimasi

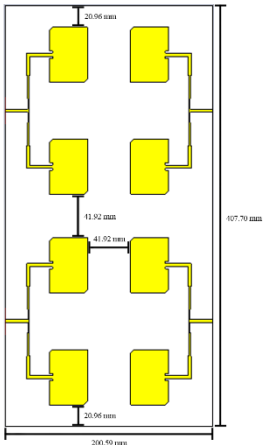
Parameter Antena	Variabel	Nilai Sebelum Optimasi (mm)	Nilai Sesudah Optimasi (mm)
Lebar <i>patch</i>	wp	48,5	53,50
Panjang <i>patch</i>	lp	33,4	36,84
Lebar <i>groundplane</i>	wg	108,50	420,8
Panjang <i>groundplane</i>	lg	83,90	160,29
Tebal <i>patch</i>	t	0,035	0,035
Tebal <i>substrat</i>	h	1,6	1,6
Panjang <i>feedline</i>	lf	21,84	21,84
Panjang <i>feedline</i>	lf2	22,46	22,46
Panjang <i>feedline</i>	lf3	22,93	22,93
Lebar <i>Feedline</i>	wf	3,11	3,11
Lebar <i>Feedline</i>	wf2	1,46	1,46
Lebar <i>Feedline</i>	wf3	0,72	0,72
Lebar Slot	x0	2	2
Panjang Slot	y0	7,8	3,2

Berdasarkan **tabel 3.1** merupakan detail dimensi dari desain *patch* antenna yang telah dioptimasi.



GAMBAR 3.2
Detail Dimensi dari Elemen Antena Susunan Array 2-Patch.

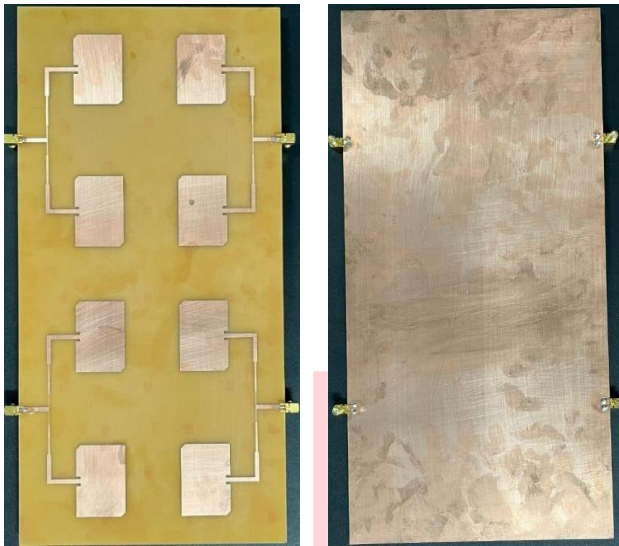
Setelah detail dari *patch* ditentukan, berikut merupakan desain dari keseluruhan antenna dengan jarak yang disesuaikan untuk mengatasi permasalahan *mutual coupling*.



GAMBAR 3.3
Penempatan Keseluruhan Antena MIMO 4 Elemen Array 2-Patch.

Berdasarkan proses simulasi dilakukan dan memberikan hasil yang optimal, maka tahapan selanjutnya adalah proses fabrikasi, dimana antenna dicetak menggunakan bahan yang

sama dengan dimensi yang telah dioptimasi. Berikut merupakan antenna hasil fabrikasi dimana memiliki dimensi keseluruhan 410 mm × 200 mm.



GAMBAR 3.4

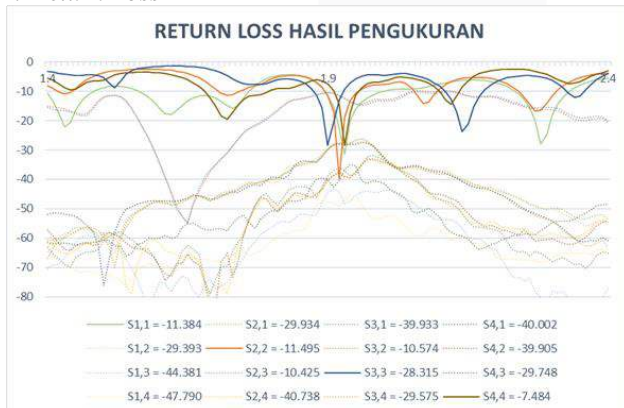
Antena yang Telah Difabrikasi

Pada antenna yang difabrikasi terdapat sedikit ketidakpresisian. Hal ini bisa disebabkan karena proses fabrikasi alat yang digunakan memiliki tingkat ketidakakuratan yang tinggi.

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas secara mendalam hasil dari parameter antenna yang telah difabrikasi, serta analisis yang dilakukan terhadap sistem antenna MIMO *transmitter*.

A. Return Loss



GAMBAR 4.1

Return Loss Pengukuran

Pada gambar 4.1 terlihat bahwa terdapat beberapa titik di mana terjadi pergeseran frekuensi. Fenomena ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor yang mempengaruhi pengukuran *return loss*. Salah satu faktor yang berperan adalah kondisi lingkungan pengukuran. Nilai *S12* atau *S21* merupakan pengukuran dari seberapa banyak sinyal yang dipancarkan dari *port 1* yang diterima oleh *port 2*, dan sebaliknya. Hal ini menunjukkan *mutual coupling* antara *port 1* dan *port 2*. Demikian juga untuk Nilai *S13* ataupun *S31*, *S14* ataupun *S41*, *S23* ataupun *S32*, *S24* ataupun *S42*, dan *S34* maupun *S43*. Pada hasil pengukuran didapatkan seluruh nilai *mutual coupling* dibawah -20 dB, dengan demikian setiap antenna dapat bekerja dengan maksimal.

B. Bandwidth

TABEL 4.1
Rentang Frekuensi Kerja Hasil Pengukuran

Elemen	Frekuensi Bawah (MHz)	Frekuensi Atas (MHz)	Bandwidth (MHz)
Elemen 1	1895	2000	105
Elemen 2	1895	1965	70
Elemen 3	1875	1930	55
Elemen 4	1910	1955	45

Terlihat pada **tabel 4.1** setiap *port* antenna menunjukkan hasil yang berbeda. *Port 1* memiliki *bandwidth* terluas, yaitu 105 MHz, dalam rentang frekuensi dari 1,895 GHz hingga 2 GHz. *Port 2* menunjukkan *bandwidth* sebesar 70 MHz dalam rentang frekuensi dari 1,895 GHz hingga 1,965 GHz. *Port 3* memiliki *bandwidth* 55 MHz dalam rentang frekuensi dari 1,875 GHz hingga 1,93 GHz, sementara *Port 4* memiliki *bandwidth* tersempit, yaitu 45 MHz, dalam rentang frekuensi dari 1,91 GHz hingga 1,955 GHz.

C. Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

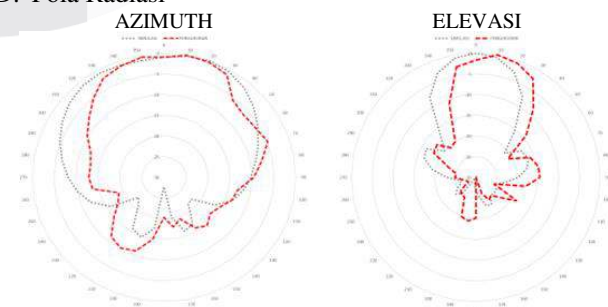


GAMBAR 4.2

Nilai VSWR Hasil Pengukuran

Pada **gambar 4.2** terdapat grafik dan nilai-nilai VSWR yang tercatat untuk frekuensi 1900 MHz. Nilai VSWR optimal untuk masing-masing *port* adalah sebagai berikut: *Port 1* (1,93) memiliki VSWR sebesar 1,166123483, *Port 2* (1,92) memiliki VSWR sebesar 1,16846947, *Port 3* (1,91) memiliki VSWR sebesar 1,343294919, dan *Port 4* (1,93) memiliki VSWR sebesar 1,185620467. Informasi ini penting untuk mengevaluasi kinerja antenna pada frekuensi yang ditentukan.

D. Pola Radiasi



GAMBAR 4.3

Perbandingan Pola Radiasi Azimuth dan Elevasi pengukuran dengan simulasi

Gambar 4.3 menunjukkan hasil pola radiasi dari keempat elemen antenna, baik dari hasil simulasi maupun pengukuran langsung, menunjukkan karakteristik *unidirectional* yang kuat. Pada saat pengujian hasil yang didapatkan tidak sesuai dengan simulasi dikarenakan pengujian tidak dilakukan pada lingkungan yang optimal dan terdapat banyak benda yang dapat memantulkan gelombang elektromagnetik.

E. Gain

$$G_{rx} = P_{rx} + P_{tx} - G_{tx} - L_{tx} - L_{fs} - L_{rx}$$

$$G_{rx} = -33.217 + 0 - 9 - 1.536 - 45.933 - 0.0042$$

$$= -33.217 + 38.473 = 5,256 \text{ dBi} \quad (1)$$

Dari perhitungan di atas, *gain* penerima (*receive gain*) yang didapat adalah 5,256 dBi. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem antenna ini mampu meningkatkan daya sinyal yang diterima sebesar 5,256 dBi.

F. Polarisasi

Hasil pengukuran menunjukkan nilai *axial ratio* sebesar 7,335 dB pada bidang azimuth dan 11,004 dB pada bidang elevasi. Dengan demikian nilai *axial ratio* hasil pengukuran berada di dalam rentang $3 \leq AR < 40$, maka jenis polarisasi yang dihasilkan adalah polarisasi elips.

Hasil fabrikasi antenna MIMO *transmitter* dengan 4 elemen *array 2-patch* yang tidak sempurna dapat menimbulkan masalah signifikan dalam kinerja sistem transmisi. Salah satu masalah utamanya adalah pergeseran frekuensi, yang menyebabkan frekuensi operasi antenna tidak sesuai dengan desain awal dan mengurangi efisiensi transmisi sinyal. Namun, berdasarkan pengujian yang dilakukan, antenna ini dapat memenuhi kebutuhan untuk aplikasi FRMCS.

V KESIMPULAN

Berdasarkan analisis hasil pengujian menunjukkan bahwa, antenna MIMO 4 elemen *array 2-patch* yang dikembangkan menunjukkan performa yang baik untuk mendukung aplikasi FRMCS. Namun masih terdapat beberapa aspek parameter yang tidak sesuai. Ketidaksesuaian parameter ini dipengaruhi oleh ketidakpresisian ketika proses fabrikasi, serta alat ukur yang tidak terkalibrasi dengan sempurna. Dengan demikian diperlukan proses fabrikasi dengan ketelitian tinggi sehingga mendapatkan performa yang optimal, serta pengujian antenna dengan alat yang terkalibrasi sempurna dengan tempat pengujian yang lebih memadai tanpa adanya gangguan benda-benda yang dapat merefleksikan gelombang elektromagnetik.

REFERENSI

- [1] K. Anwar and M. H. S. Maulana, "Analysis on Doppler Effect for Future Railway Mobile Communications in Indonesia," no. July 2019, 2019, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/342163056>
- [2] A. Ridwanuddin and K. Anwar, "Study on Interferences Between Future Railway Mobile Communication System (FRMCS) and Cellular GSM in Indonesia," 2020, doi: 10.4108/eai.11-7-2019.2297385.
- [3] Y. Huang, Y. Li, H. Ren, J. Lu, and W. Zhang, "Multi-Panel MIMO in 5G," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 56, no. 3, pp. 56–61, 2018, doi: 10.1109/MCOM.2018.1700832.
- [4] I. Mujahidin, "A Compact 5.8 GHz CPW Double Square Edge Antenna With BPF Stepped Impedance Resonator," *PROTEK J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 7, no. 2, pp. 90–94, 2020, doi: 10.33387/protek.v7i2.2026.
- [5] B. W. Ziliwu, R. A. Rambung, and B. Demeianto, "ANTENA MIKROSTRIP BENTUK PERSEGI, 2 PATCH dan 2 ARRAY," no. 41, pp. 2–3, 2020.

