

Perancangan dan Simulasi Antena Mikrostrip Patch Array 2x2 untuk 5G Sub-6 GHz pada Prototipe gNodeB Berbasis SDR

M. Fhadli Haryadi¹, Lindawati^{2*}, dan Sopian Soim³

^{1,2,3}Teknik Telekomunikasi, Politeknik Negeri Sriwijaya

Jl. Srijaya Negara, Bukit Lama, Kec. Ilir Bar. I, Kota Palembang, Sumatera Selatan 30128

e-mail: lindawati@polsri.ac.id

Abstrak— Guna menjawab kebutuhan akan antena *directional* dengan *gain* tinggi pada frekuensi *sub-6 GHz*, penelitian ini merancang dan mensimulasikan antena mikrostrip *patch array* 2×2 berbasis substrat FR4 untuk prototipe gNodeB 5G menggunakan *Software Defined Radio* (SDR) USRP B210. Antena ini menggunakan jaringan pencatu *corporate feed* dua tingkat berbasis *Wilkinson Power Divider* untuk mendistribusikan daya secara merata ke empat elemen *patch*. Simulasi dilakukan pada interval frekuensi 2–4 GHz menggunakan perangkat lunak CST Studio Suite 2025. Hasil simulasi menunjukkan bahwa antena beresonansi pada frekuensi 3,39 GHz dengan *return loss* (S11) sebesar –11 dB, VSWR 1,7, dan *gain* maksimum 9,808 dBi. Pola radiasi yang dihasilkan bersifat *directional* dan sesuai untuk aplikasi gNodeB 5G *sub-6 GHz*. Efisiensi total tercatat sebesar –8,846 dB, yang sangat dipengaruhi oleh rugi-rugi substrat FR4. Berdasarkan hasil tersebut, rancangan antena ini menunjukkan performa yang memadai untuk implementasi sistem SDR.

Kata kunci: *antena mikrostrip patch array, 5G sub-6 GHz, gNodeB, SDR, CST Studio Suite*

Abstract— To address the need for high-gain directional antennas at sub-6 GHz frequencies, this study designed and simulated a 2×2 microstrip patch array antenna based on an FR4 substrate for a 5G gNodeB prototype using a Software Defined Radio (SDR) USRP B210. The antenna utilizes a two-stage corporate feed network based on a Wilkinson Power Divider to distribute power uniformly to the four patch elements. The simulation was conducted over the 2–4 GHz frequency range using CST Studio Suite 2025 software. Simulation results show that the antenna resonates at 3.39 GHz with a return loss (S11) of –11 dB, a VSWR of 1.7, and a maximum gain of 9.808 dBi. The resulting radiation pattern is directional and suitable for sub-6 GHz 5G gNodeB applications. The total efficiency was recorded at –8.846 dB, which is highly influenced by the FR4 substrate losses. Based on these results, the proposed antenna design demonstrates adequate performance for SDR system implementation.

Keywords: *microstrip patch array antenna, 5G sub-6 GHz, gNodeB, SDR, CST Studio Suite*

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi komunikasi nirkabel generasi kelima (5G) menuntut infrastruktur jaringan dengan kapasitas tinggi dan latensi rendah. International Telecommunication Union (ITU) mendefinisikan tiga skenario layanan 5G: Enhanced Mobile Broadband (eMBB), Ultra-Reliable Low-Latency Communication (URLLC), dan massive Machine-Type Communication (mMTC)[1]. Salah satu komponen kritis dalam memenuhi tuntutan tersebut adalah antena pada sisi *gNodeB* (base station generasi 5G).

Antena omni-directional yang lazim digunakan pada generasi jaringan sebelumnya memiliki keterbatasan fundamental pada sistem 5G. Radiasi yang tersebar ke segala arah menyebabkan pemborosan daya dan peningkatan interferensi ko-kanal, sehingga tidak efisien untuk deployment 5G pada band n78 (3,3–3,8 GHz) dengan

kepadatan pengguna tinggi[2], [3]. Pita n78 menjadi salah satu spektrum 5G mid-band yang paling banyak diimplementasikan karena memberikan keseimbangan antara kapasitas data dan cakupan layanan. Antena mikrostrip patch array menawarkan solusi yang lebih tepat melalui karakteristik *directional*, *gain* lebih tinggi, dan profil planar yang mudah difabrikasi dengan teknologi PCB berbiaya rendah[4].

Di sisi implementasi, platform *Software Defined Radio* (SDR) USRP B210 telah menjadi pilihan utama komunitas riset untuk membangun prototipe gNodeB 5G. Ekosistem perangkat lunak open-source srsRAN dan Open5GS memungkinkan implementasi jaringan 5G Standalone yang fungsional di lingkungan laboratorium dengan biaya terjangkau [5]. Namun, sebagian besar implementasi SDR tersebut masih menggunakan antena omni-directional bawaan USRP, sehingga belum memanfaatkan potensi

penuh antena array untuk meningkatkan kualitas komunikasi [5].

Kontribusi utama penelitian ini adalah perancangan antena mikrostrip patch array 2x2 berbasis *corporate feed* untuk implementasi prototipe gNodeB 5G menggunakan platform SDR USRP B210 dengan pendekatan simulasi yang realistis dan berbiaya rendah. Antena dirancang pada frekuensi 3,5 GHz (band n78) menggunakan substrat FR4 dan disimulasikan menggunakan CST Studio Suite 2025. Sebagai arah pengembangan, arsitektur phased array 4x4 berbasis substrat Rogers RO4350B diusulkan untuk penelitian selanjutnya.

II. STUDI PUSTAKA

A. Antena Mikrostrip Patch

Antena mikrostrip patch adalah antena planar yang Antena planar yang terdiri dari elemen peradiasi berbentuk persegi panjang yang dicetak di atas substrat dielektrik dengan bidang ground di sisi bawahnya disebut antena mikrostrip patch. Model transmisi digunakan untuk menghitung dimensi patch berdasarkan frekuensi resonansi dan konstanta dielektrik substrat[4]. Dengan profil rendah, bobot ringan, biaya fabrikasi rendah, dan kompatibilitas penuh dengan teknologi PCB, ini adalah pilihan terbaik untuk antena 5G sub-6 GHz[6][7].

B. Konfigurasi Array dan Corporate Feed

Dengan menyusun beberapa elemen *patch* secara teratur, antena array dapat meningkatkan *gain*. *Gain array* 2x2 ($N = 4$ elemen) meningkat secara teoritis sebesar $10 \cdot \log_{10}(N) \approx 6$ dBi dari satu elemen [4]. Untuk memastikan bahwa panjang lintasan sinyal menuju setiap elemen tetap sama, jaringan pencatu *corporate feed* berbasis topologi H-tree digunakan. Hal ini menghasilkan distribusi amplitudo dan fase yang lebih seimbang. Untuk mengurangi rugi refleksi dan *mismatch* impedansi, *Wilkinson Power Divider* (WPD) mengubah impedansi dari saluran utama 50 Ω menuju cabang quarter-wave sebesar 70,71 Ω [8], [9]. Konfigurasi *corporate feed* ini mampu mendistribusikan daya secara lebih merata ke seluruh elemen array, sehingga meningkatkan kestabilan pola radiasi dan *gain* antena.

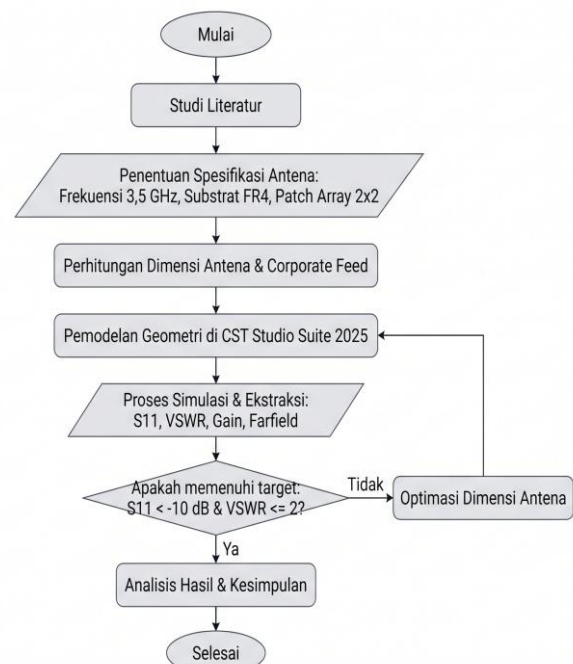
C. Parameter Kinerja Antena

Untuk mengevaluasi kinerja sebuah antena, terdapat beberapa parameter kunci yang dijadikan acuan. Parameter tersebut mencakup return loss (S11) yang berfungsi untuk mengetahui besaran daya yang memantul kembali ke arah sumber, dengan standar kelayakan pada nilai $S_{11} < -10$ dB. Selain itu, digunakan pula parameter Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) yang mensyaratkan batas nilai ambang ≤ 2 . Parameter lainnya adalah gain (dalam satuan dBi) yang menjadi indikator kemampuan antena dalam memusatkan energi radiasinya, serta pola radiasi farfield yang memetakan arah pancaran daya tersebut berdasarkan sudutnya [4], [6].

D. SDR dan USRP B210

Perangkat USRP B210 buatan Ettus Research merupakan platform SDR ringkas yang ditenagai oleh chipset Analog Devices AD9361. Perangkat keras ini mampu beroperasi pada rentang frekuensi antara 70 MHz hingga 6 GHz, menawarkan bandwidth sebesar 56 MHz untuk setiap kanalnya, serta telah mendukung konfigurasi antena 2x2 MIMO. Spesifikasi teknis tersebut menjadikannya sangat ideal untuk penerapan teknologi 5G NR sub-6 GHz, khususnya yang bekerja pada pita frekuensi n78 (3,5 GHz) [5]. Dalam skala penelitian laboratorium, integrasi antara perangkat keras USRP B210 ini dengan tumpukan perangkat lunak (software stack) open-source seperti srsRAN dan Open5GS telah terbukti sukses dalam merealisasikan prototipe gNodeB 5G Standalone yang beroperasi secara fungsional [5].

III. METODE



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

A. Perancangan Elemen Patch

Proses perancangan antena ini mengimplementasikan material substrat FR4 yang memiliki spesifikasi konstanta dielektrik (ϵ_r) sebesar 4,4, loss tangent ($\tan \delta$) 0,02, dan ketebalan (h) 1,6 mm, yang dikalibrasi untuk bekerja pada target frekuensi resonansi 3,5 GHz [10]. Substrat jenis ini dipilih dengan mempertimbangkan harganya yang ekonomis, ketersediaannya yang meluas di pasaran, serta kompatibilitasnya terhadap metode pabrikan PCB standar untuk keperluan pembuatan prototipe skala laboratorium. Kendati menawarkan berbagai kepraktisan, perlu dicatat bahwa material FR4 memiliki karakteristik rugi-rugi (loss tangent) yang cukup besar pada rentang frekuensi sub-6 GHz, yang berpotensi menurunkan tingkat efisiensi radiasi dari antena. Untuk mendapatkan ukuran fisik dari setiap elemen patch, dilakukan perhitungan analitik berbasis pendekatan persamaan Hammerstad.

Perhitungan lebar patch (W) dirumuskan sebagai:

$$W = \frac{c}{2f_0} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (1)$$

Nilai konstanta dielektrik efektif (ϵ_{reff}) diperoleh melalui:

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{W} \right)^{-0.5} \quad (2)$$

Selanjutnya, kalkulasi koreksi panjang (ΔL) dan panjang patch aktual (L) ditentukan dengan:

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

$$L = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} - 2\Delta L \quad (4)$$

Pada deretan persamaan di atas, parameter c merepresentasikan laju rambat cahaya di ruang hampa (3×10^8 m/s), f_0 merupakan target frekuensi kerja, dan ϵ_r adalah nilai permitivitas relatif substrat. Rincian hasil perhitungan untuk dimensi elemen *patch* beserta spesifikasi saluran pencatu (*feed*) disajikan secara lengkap pada Tabel berikut.

Tabel 1. Dimensi dan Parameter Antena

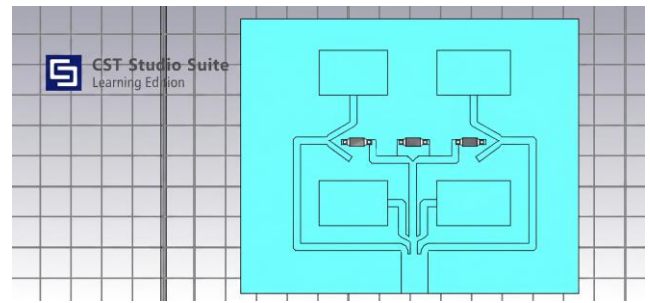
Parameter	Nilai	Satuan
Substrat	FR4	–
Konstanta dielektrik (ϵ_r)	4,4	–
Loss tangent ($\tan \delta$)	0,02	–
Ketebalan substrat (h)	1,6	mm
Lebar patch (W)	~26	mm
Panjang patch (L)	~21	mm
Lebar feedline 50 Ω	~3,0	mm
Impedansi arm WPD	70,71	Ω
Spacing antar elemen	$\lambda_0/2 \approx 43$	mm
Jumlah elemen	4 (2×2)	–
Frekuensi target	3,5	GHz

Sistem pencatutan pada desain antenna ini menerapkan topologi *corporate feed* dua tingkat. Berdasarkan mekanisme *Wilkinson Power Divider*, saluran utama yang berimpedansi 50 Ω ditransformasikan menuju cabang-cabang *quarter-wave transformer* dengan nilai impedansi sebesar 70,71 Ω . Geometri lintasan pencatu tersebut dirancang sepenuhnya simetris guna menjamin keselarasan fase sinyal saat mencapai masing-masing elemen *patch array*. Penerapan arsitektur jaringan ini sangat krusial untuk memastikan pemerataan distribusi daya, sekaligus secara efektif menekan potensi terjadinya *mismatch* impedansi pada keseluruhan elemen peradiasi.

B. Pemodelan dan Simulasi CST

Tahap pemodelan struktur geometri antenna dieksekusi menggunakan perangkat lunak *CST Studio Suite 2025 Learning Edition*. Proses komputasi numeriknya

mengandalkan pendekatan algoritma *Finite Integration Technique* (FIT) yang beroperasi melalui *Time Domain Solver*. Sebagai antarmuka eksitasi daya, sebuah *discrete port* diaplikasikan pada pangkal saluran *feedline* utama. Simulasi ini dijalankan pada rentang sapuan frekuensi (*frequency sweep*) antara 2 hingga 4 GHz. Guna mencapai resolusi kalkulasi yang akurat, pembagian ruang grid ditetapkan sebesar 94.248 *meshcells* dengan kerapatan raster 10.000. Selanjutnya, parameter pancaran dievaluasi dengan mengatur monitor *farfield* pada tiga titik frekuensi uji, yaitu 3,0 GHz, 3,5 GHz, dan 4,0 GHz. Adapun visualisasi menyeluruh dari rancangan antenna di dalam lingkungan kerja simulator tersebut dapat dilihat secara detail pada gambar dibawah ini.

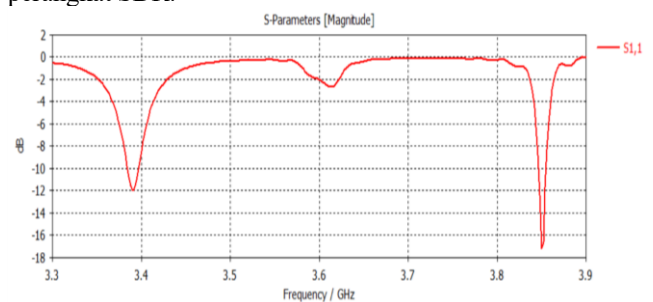


Gambar 2. Desain antenna array 2×2 dengan corporate feed

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Return Loss (S11)

Berdasarkan hasil ekstraksi parameter, Gambar 3 mengilustrasikan kurva return loss (S11) pada interval frekuensi 2 hingga 4 GHz. Karakteristik antenna memperlihatkan titik resonansi fundamental di frekuensi 3,39 GHz dengan pencapaian nilai S11 minimum sebesar -11 dB. Angka tersebut telah memenuhi ambang batas standar kelayakan yaitu $S_{11} < -10$ dB, yang secara praktis merepresentasikan tingkat matching impedansi yang sudah memadai [4]. Menariknya, hasil simulasi juga mendeteksi kemunculan resonansi lain yang lebih dalam di sekitar frekuensi 3,85 GHz dengan nilai S11 mencapai sekitar -17 dB. Meskipun resonansi pada 3,85 GHz memiliki nilai rugi-rugi pantulan yang lebih minim, frekuensi 3,39 GHz tetap ditetapkan sebagai titik kerja operasional yang efektif bagi rancangan antenna ini. Hal ini dikarenakan frekuensi 3,39 GHz masuk secara presisi ke dalam spektrum pita frekuensi n78 (3,3–3,8 GHz), yang menjadi target utama implementasi jaringan komunikasi 5G sub-6 GHz berbasis perangkat SDR.

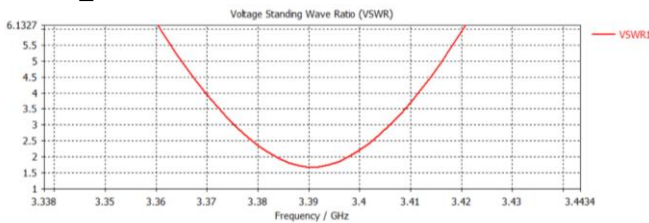


Gambar 3. Kurva hasil simulasi return loss (S11) antenna array 2x2

Terjadinya deviasi atau pergeseran titik resonansi dari target awal 3,5 GHz menjadi 3,39 GHz sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor fisis. Faktor-faktor tersebut meliputi fenomena fringing effect, tingkat toleransi parameter dielektrik pada material substrat FR4 yang cenderung lebih fluktuatif dibandingkan material RF khusus, hingga adanya tambahan reaktansi yang bersumber dari dimensi panjang saluran pencatu (feed) terhadap total impedansi masukan [6]. Kecenderungan pergeseran frekuensi serupa juga telah dilaporkan dalam studi literatur lain terkait fabrikasi antena FR4 di pita 3,5 GHz, yang umumnya turut dipengaruhi oleh toleransi fabrikasi mekanik dan efek penyolderan konektor SMA [11]. Walaupun mengalami deviasi, frekuensi kerja 3,39 GHz yang dihasilkan dalam simulasi ini masih sepenuhnya tercakup di dalam spektrum pita frekuensi n78. Dengan demikian, rancangan antena ini tetap sangat relevan dan dapat diandalkan untuk kebutuhan implementasi jaringan komunikasi 5G sub-6 GHz yang berbasis perangkat SDR.

B. VSWR

Analisis performa dilanjutkan dengan mengevaluasi karakteristik Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) yang divisualisasikan pada Gambar 4. Dalam rentang observasi antara 3,338 hingga 3,443 GHz, antena mencatatkan nilai VSWR terendah di angka 1,7 tepat pada frekuensi kerjanya, yaitu 3,39 GHz. Perolehan angka ini sangat ideal karena telah sukses memenuhi ambang batas kelayakan operasional untuk sistem komunikasi nirkabel, yakni $VSWR \leq 2$.



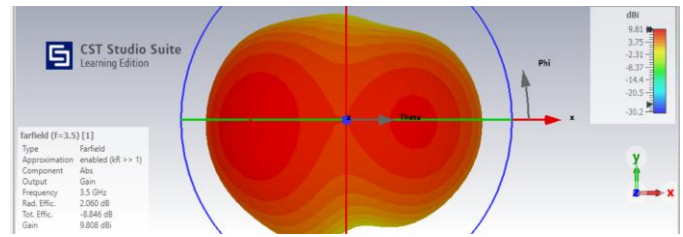
Gambar 4. Grafik VSWR Antena Array 2x2

Lebih jauh, rasio VSWR 1,7 tersebut memiliki korelasi langsung dengan besaran koefisien refleksi ($|\Gamma|$). Berdasarkan perhitungan matematis, nilai koefisien refleksinya berada di angka sekitar 0,26. Angka tersebut mengindikasikan bahwa tingkat efisiensi transmisi antena tergolong sangat prima, di mana estimasi sebesar 93% dari total daya masukan (input power) berhasil diradiasikan ke udara tanpa memantul kembali ke arah sumber. Di samping itu, terbentuknya profil kurva VSWR yang mulus di sekitar area resonansi menjadi indikator kuat bahwa perancangan arsitektur jaringan pencatu (feed network) memiliki stabilitas impedansi yang sangat baik.

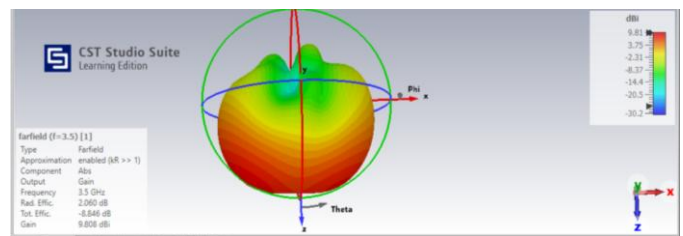
C. Gain dan Pola Radiasi Farfield

Visualisasi pola pancaran ruang bebas (farfield) 3D pada frekuensi pengujian 3,5 GHz direpresentasikan melalui Gambar 5 dan Gambar 6 dari dua perspektif yang berbeda. Ekstraksi data simulasi farfield mencatatkan nilai efisiensi radiasi (radiation efficiency) sebesar 2,060 dB dan efisiensi total (total efficiency) pada angka -8,846 dB, dengan perolehan gain maksimum mencapai 9,808 dBi. Pencapaian gain sebesar 9,808 dBi ini sangat sejalan dengan landasan

teoretis antena array 2×2 . Secara matematis, penambahan empat elemen peradiasi akan mendongkrak penguatan sebesar $10 \log_{10}(4) \approx 6$ dB jika dibandingkan dengan antena berelemen tunggal [4], [6].



Gambar 5. Pola radiasi farfield 3D pada 3,5 GHz (tampak atas)



Gambar 6. Pola radiasi farfield 3D pada 3,5 GHz (tampak samping)

Tinjauan terhadap pola radiasi tersebut membuktikan adanya sifat directional (searah) yang sangat tegas, ditandai oleh terbentuknya main lobe (kuping pancaran utama) yang terpusat. Profil pancaran semacam ini sepenuhnya selaras dengan spesifikasi antena gNodeB pada jaringan 5G. Infrastruktur tersebut mendesak penggunaan antena bersudut pancar terarah guna memperluas jangkauan layanan secara optimal, sekaligus memitigasi risiko terjadinya interferensi antarkanal (co-channel interference) [2], [12]. Tingginya gain maksimum yang diraih dalam studi ini mengonfirmasi bahwa penerapan arsitektur array 2×2 sukses melipatgandakan kinerja radiasi secara signifikan, menjadikannya jauh lebih superior dibandingkan model patch tunggal atau antena omni-directional bawaan standar dari perangkat SDR [5].

Terbentuknya main lobe yang solid dan terarah ini dipengaruhi secara langsung oleh kinerja jaringan pencatu corporate feed. Topologi tersebut menjamin tingkat pemerataan distribusi daya yang sangat presisi menuju setiap elemen peradiasi. Selain itu, integrasi prinsip Wilkinson Power Divider terbukti krusial dalam menekan ketidakseimbangan (mismatch) antar-cabang saluran pencatu. Kombinasi rekayasa arsitektur ini pada akhirnya menghasilkan pola pancaran gelombang yang sangat stabil dan mempertahankan sifat directional-nya pada titik frekuensi kerja 3,5 GHz.

D. Analisis Efisiensi dan Pengaruh Substrat FR4

Capaian total efficiency pada level -8,846 dB memperlihatkan indikasi adanya disipasi energi yang cukup masif. Faktor penyumbang kerugian daya terbesar ini berasal dari tingginya nilai loss tangent yang melekat pada material substrat FR4 ($\tan \delta = 0,02$). Karakteristik disipasi dari material tersebut tercatat sekitar lima kali lipat melebihi spesifikasi substrat khusus frekuensi radio (RF) seperti Rogers RO4350B ($\tan \delta = 0,0037$). Akibatnya, sebagian porsi daya masukan (input power) justru terserap oleh lapisan dielektrik dan gagal dikonversi menjadi radiasi

gelombang elektromagnetik [13]. Walaupun memiliki keterbatasan dalam hal performa efisiensi, penggunaan material FR4 tetap dipertahankan pada studi ini. Keputusan ini dilandasi oleh pertimbangan ketersediaan material yang melimpah, kemudahan dalam proses fabrikasi mekanik, serta nilai keekonomisan yang sangat rasional untuk menunjang pembuatan purwarupa riset berskala laboratorium.

Sebagai bentuk penyempurnaan pada tahapan riset ke depannya, substitusi material dasar menggunakan Rogers RO4350B diproyeksikan mampu mendongkrak metrik total efficiency secara substansial. Langkah transisi material ini juga dirancang untuk memantapkan stabilitas seluruh parameter teknis antenna saat dioperasikan secara spesifik di frekuensi 3,5 GHz. Rencana pembaruan spesifikasi substrat tersebut telah ditetapkan sebagai agenda krusial dalam peta jalan penelitian lanjutan (future work), yang nantinya akan dikombinasikan secara langsung dengan usulan pengembangan arsitektur antenna phased array berdimensi 4×4.

E. Rekapitulasi Hasil Simulasi

Berdasarkan serangkaian komputasi numerik dan evaluasi parameter yang telah diuraikan pada sub-bab sebelumnya, keseluruhan metrik performa dari rancangan antenna mikrostrip *patch array* 2×2 dirangkum secara komprehensif pada Tabel 2. Rekapitulasi ini mencakup parameter-parameter krusial yang menentukan kelayakan antenna, meliputi *return loss* (S11), VSWR, serta karakteristik *farfield* (*gain* dan efisiensi radiasi).

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Simulasi Antena *Array* 2x2

Parameter	Nilai	Ket.
Frekuensi resonansi	3,39 GHz	Band n78
Return Loss (S11)	-11 dB	< -10 dB ✓
VSWR	1,7	≤ 2 ✓
Gain Maksimum	9,808 dBi	Farfield
Rad. Efficiency	2,060 dB	–
Total Efficiency	-8,846 dB	FR4 loss
Substrat	FR4	ε _r =4,4
Jaringan Pencatu	Corporate Feed	WPD 2-tingkat
Meshcells	94.248	CST 2025

Berdasarkan keseluruhan parameter komputasi yang dirangkum pada Tabel 2, dapat disintesis bahwa rancangan antenna mikrostrip *patch array* 2×2 telah beroperasi sesuai dengan target spesifikasi yang diharapkan. Secara keseluruhan, hasil evaluasi performa ini membuktikan bahwa antenna yang diusulkan sangat memadai dan relevan untuk diimplementasikan sebagai infrastruktur fisik pada sistem komunikasi 5G sub-6 GHz (pita n78) berbasis perangkat SDR.

F. Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Guna meninjau tingkat keunggulan serta kontribusi teknis dari desain yang diusulkan, Tabel 3 menguraikan studi komparatif antara antenna hasil rancangan ini dengan sejumlah literatur terdahulu.

Tabel 3. Studi Komparatif Kinerja Antena *Array* Pada Pita 5g Sub-6 Ghz

Referensi	Frek. (GHz)	Elemen	S11 (dB)	VSWR	Gain (dBi)	Substrat	Fabrikasi
Alwareth et al. [13]	3,5–5,8	1x4	-18,5	–	12,4	FR4 + FSS	Ya
Al-Gburi et al. [14]	3,5	1x8	< -10	–	6,938	–	Tidak
Ramdedović & Imeci [8]	5,53	2x2	< -10	< 2	13,55 (sim)	Rogers RO3006	Ya
Huang & Lee [15]	3,5 FR1	4 & 8	< -10	–	10–12	FR4	Tidak
Prasad et al. [16]	3,5	2x2	-23,27	–	7,3	FR4	Simulasi
Jiménez et al. [17]	3,5	4x4	-17,4	–	8,03	Rogers TMM10	Ya
Velip & Borkar [3]	3,42	4x4 MIMO	-19,2	1,25	13,8	FR4	Simulasi
Khayal & Elrouby [18]	3,5	4x4	≤ -10	–	14,9	Rogers RO4003C	Simulasi dan pengukuran
Siddiqui et al. [19]	3,8	8	< -20	–	14,5	–	Ya
Barad et al. [20]	3,45 & 3,87	64	≤ -20	–	23	–	Ya
Penelitian ini	3,39	2x2	-11	1,7	9,808	FR4	Simulasi

Berdasarkan komparasi pada Tabel 3, rancangan antenna pada penelitian ini sukses mencatatkan gain sebesar 9,808 dBi. Angka ini terbukti lebih superior dibandingkan hasil studi sebelumnya [14] yang hanya mencapai 6,938 dBi dengan jumlah elemen peradiasi yang lebih sedikit, sebuah pencapaian yang merupakan implikasi langsung dari tingginya efisiensi distribusi daya pada arsitektur corporate feed 2×2. Selanjutnya, jika disandingkan dengan riset rujukan [8] yang sama-sama menerapkan konfigurasi 2×2 namun beroperasi di frekuensi 5,53 GHz menggunakan material premium Rogers RO3006, rancangan ini tetap mampu menawarkan performa yang sangat kompetitif di pita frekuensi n78. Penggunaan substrat FR4 memberikan

keunggulan komparatif dari segi efisiensi biaya, sehingga menjadikan rancangan ini sebagai solusi yang sangat rasional dan realistis untuk mendukung pengembangan purwarupa SDR dalam skala laboratorium.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil merancang, memodelkan, dan mengevaluasi antenna mikrostrip *patch array* 2×2 berbahan substrat FR4 sebagai komponen fundamental untuk purwarupa gNodeB 5G sub-6 GHz berbasis Software Defined Radio (SDR). Melalui komputasi pada perangkat lunak CST Studio Suite 2025, desain antenna dengan jaringan

pencatu corporate feed yang mengintegrasikan Wilkinson Power Divider ini terbukti mampu beresonansi secara optimal pada frekuensi 3,39 GHz, tepat berada di dalam spektrum target pita n78. Karakteristik kinerja antena menunjukkan tingkat matching impedansi yang sangat memadai, ditandai dengan perolehan return loss sebesar -11 dB dan rasio VSWR 1,7.

Lebih lanjut, pencapaian gain maksimum hingga 9,808 dBi yang disertai dengan pembentukan pola radiasi directional mengonfirmasi bahwa konfigurasi array ini secara signifikan jauh lebih efektif dibandingkan model elemen tunggal maupun antena omni-directional standar. Kinerja tersebut secara teknis menegaskan kelayakan antena ini untuk diimplementasikan pada perangkat keras SDR USRP B210. Meskipun demikian, metrik total efficiency yang berada pada level -8,846 dB masih menunjukkan adanya efek disipasi energi akibat loss tangent dari material FR4. Sebagai langkah penyempurnaan teknis pada riset lanjutan, keterbatasan ini akan ditanggulangi melalui transisi menggunakan material Rogers RO4350B yang diimplementasikan pada arsitektur phased array 4×4. Pembaruan tersebut diproyeksikan mampu mendorong gain serta efisiensi radiasi secara drastis, guna mewujudkan infrastruktur gNodeB 5G yang jauh lebih andal di masa mendatang.

REFERENSI

- [1] M. A. Saeed and A. O. Nwajana, "A review of beamforming microstrip patch antenna array for future 5G/6G networks," 2023, *Frontiers Media SA*. doi: 10.3389/fmech.2023.1288171.
- [2] S. K. Ibrahim *et al.*, "Design, Challenges and Developments for 5G Massive MIMO Antenna Systems at Sub 6-GHz Band: A Review," Feb. 01, 2023, *MDPI*. doi: 10.3390/nano13030520.
- [3] K. B. Velip and S. Borkar, "Antenna Design for 4x4 MIMO 5G Communication," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, 2022, [Online]. Available: www.irjet.net
- [4] C. A. Balanis, *ANTENNA THEORY ANALYSIS AND DESIGN THIRD EDITION*. [Online]. Available: www.copyright.com.
- [5] N. R. Noviansyah, A. Aryanti, and S. Soim, "Implementation and Evaluation of 5G Standalone Network Using Open5GS, srsRAN, and USRP B210 for Research Purposes," *JITE*, vol. 9, no. 1, 2025, doi: 10.31289/jite.v9i1.15064.
- [6] D. M. . S. D. H. Pozar, "Microstrip Antennas: The Analysis and Design of Microstrip Antennas and Arrays," New York, 1995.
- [7] T. Olawoye and P. Kumar, "A High Gain Antenna with DGS for Sub-6 GHz 5G Communications."
- [8] A. Ramdedovic and S. T. Imeci, "High Gain Microstrip Quad Array Antenna for Sub-6 GHz 5G Applications," Feb. 08, 2023. doi: 10.21203/rs.3.rs-2522110/v1.
- [9] A. K. Sharma, V. Sharma, and S. Singh, "Design and Fabrication of Mutually Coupled Feed Based Cantor Fractal Patch Antenna Array for Satellite Communication," 2025.
- [10] Akande Ademola, Fawole Ayobami, Olayiwola Olanike. G, Kolawole Tolulope, and Adeniji Aderogba, "Investigation of FR4 Substrate Effects on Elliptical Patch Antenna Design for 5G Applications," *Int. J. Sci. Res. Comput. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 11, no. 2, pp. 423–431, Mar. 2025, doi: 10.32628/cseit2511143.
- [11] G. Immadi, M. V. Narayana, A. Navya, and P. Anusha, "Dual feed -shaped patch antenna for 5G applications,," 2021.
- [12] D. Tushar, N. Pradhan, and S. Singh, "A Design of 2 2 Element MIMO Antenna with Novel Gain for 28/38 GHz 5G Applications," in *International Conference on VLSI, Communication and Signal processing*, 2024, pp. 257–270.
- [13] H. Alwareth, I. M. Ibrahim, Z. Zakaria, A. J. A. Al-Gburi, S. Ahmed, and Z. A. Nasser, "A Wideband High-Gain Microstrip Array Antenna Integrated with Frequency-Selective Surface for Sub-6 GHz 5G Applications," *Micromachines*, vol. 13, no. 8, Aug. 2022, doi: 10.3390/mi13081215.
- [14] A. Jamal Abdullah Al-Gburi, I. Mohd Ibrahim, Z. Zakaria, and E. Bt Abdul Halim, "Microstrip Patch Antenna Arrays Design For 5G Wireless Backhaul Application At 3.5 GHz."
- [15] T. Y. Huang and Y. J. Lee, "Design of Microstrip Antenna Arrays with Rotated Elements Using Wilkinson Power Dividers for 5G Customer Premise Equipment Applications," *Int. J. Antennas Propag.*, vol. 2024, 2024, doi: 10.1155/2024/2945195.
- [16] K. Prasad, A. Jeevan Reddy, B. Vasavi, Y. Suguna Kumari, and K. Subramanyam Raju, "Design and simulation of 2x2 microstrip patch array antenna for 5G wireless applications," in *International Conference on Communications and Cyber Physical Engineering 2018*, 2023, pp. 451–461.
- [17] D. A. Jiménez, A. Reyna, L. I. Balderas, and M. A. Panduro, "Design of 4 × 4 Low-Profile Antenna Array for CubeSat Applications," *Micromachines*, vol. 14, no. 1, Jan. 2023, doi: 10.3390/mi14010180.
- [18] B. I. K. Khayal and A. Elrouby, "Broadband Dual-Polarized Aperture-Coupled Patch Antenna for 5G Applications," *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 10, no. 8, pp. 666–671, Aug. 2022, doi: 10.22214/ijraset.2022.46234.
- [19] S. I. Siddiqui, S. Bashir, A. Khan, S. Ghafoor, and I. Aziz, "A dual-band high-gain beam steering antenna array for 5G Sub-6 GHz base station," *Sci. Rep.*, vol. 14, no. 1, Dec. 2024, doi: 10.1038/s41598-024-75822-2.
- [20] D. Barad, J. C. Dash, D. Sarkar, and P. Srinivasulu, "Dual-band dual-polarized Sub-6 GHz phased array antenna with suppressed higher order modes," *Sci. Rep.*, vol. 14, no. 1, Dec. 2024, doi: 10.1038/s41598-024-56218-8.