JITE (Journal of Informatics and Telecommunication Engineering)

Available online <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jite> DOI : 10.31289/jite.v5i2.5699

Received: 24 August 2021

Accepted: 14 December 2021

Published: 26 January 2022

Design of 2x2 Wide Bandwidth MIMO Antenna For LTE And 5G Sub-6GHz

Dian Rusdiyanto 1)*, Dian Widi Astuti 2), Muslim 3), Syah Alam 4) & Yohanes Galih Adhiyoga 5)

1,2,3) Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana, Indonesia

4) Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti, Indonesia

5) Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Indonesia

*Corresponding Email:

Abstrak

Pada penelitian ini, perancangan antenna mikrostrip MIMO 2X2 diajukan untuk aplikasi LTE dan 5G Sub-6GHz. Antena dirancang agar dapat mempunyai bandwidth lebar yang beroperasi pada rentang frekuensi 2300 MHz sampai 3600 MHz. Material antenna menggunakan substrat FR4 yang mana mempunyai konstanta dielektrik 4,6 dan ketebalan 1,6 mm. Untuk mencapai bandwidth yang lebar, maka dilakukan pemotongan pada panjang ground. Sedangkan untuk mencapai frekuensi resonansi menggunakan metode slot persegi pada elemen radiator. Perancangan antenna diawali dengan mendesain bentuk elemen tunggal, kemudian merancang antenna MIMO 2x2. Hasil simulasi antenna MIMO2x2 menunjukkan nilai koefisien refleksi dan koefisien isolasi tiap antenna telah berada di bawah -10 dB. Hasil koefisien refleksi tiap antenna menunjukkan besar bandwidth yang dicapai lebih dari 2 GHz. Pada frekuensi 2300 MHz, gain terendah bernilai 2,98 dBi, sedangkan gain tertinggi bernilai 3,10 dBi. Gain terendah dan tertinggi pada frekuensi 3600 MHz bernilai 3,83 dBi dan 3,87 dBi. Secara keseluruhan, antenna ini telah mencapai tujuan yang diinginkan, yaitu mempunyai bandwidth lebar dan dapat beroperasi pada frekuensi LTE dan 5G.

Kata Kunci: MIMO 2x2, bandwidth, LTE, 5G

Abstract

In this study, the design of a 2X2 MIMO microstrip antenna was proposed for LTE and 5G Sub-6GHz applications. The antenna is designed to have a wide bandwidth operating in the frequency range of 2300 MHz to 3600 MHz. The antenna material uses FR4 substrate which has a dielectric constant of 4.6 and a thickness of 1.6 mm. To achieve a wide bandwidth, the ground length is cut. Meanwhile, to achieve the resonant frequency using the square slot method on the radiator element. Antenna design begins with designing a single element shape, then designing a 2x2 MIMO antenna. The results of the MIMO2x2 antenna simulation show that the reflection coefficient and isolation coefficient of each antenna are below -10 dB. The results of the reflection coefficient of each antenna show that the bandwidth achieved is more than 2 GHz. At a frequency of 2300 MHz, the lowest gain is 2.98 dBi, while the highest gain is 3.10 dBi. The lowest and highest gains at a frequency of 3600 MHz are 3.83 dBi and 3.87 dBi. Overall, this antenna has achieved the desired goal, which is to have a wide bandwidth and be able to operate on LTE and 5G applications.

Keywords: MIMO 2x2, bandwidth, LTE, 5G

How to Cite: Rusdiyanto, D., Astuti, D. W., Muslim, Alam, S., & Adhiyoga, Y. G. (2022). Design of 2x2 Wide Bandwidth MIMO Antenna For LTE And 5G Sub-6GHz. *JITE (Journal of Informatics and Telecommunication Engineering)*, 5 (2), 225-237.

I. PENDAHULUAN

Teknologi seluler merupakan salah satu bidang yang berkembang secara signifikan. Sejak tahun 1985 sampai saat ini telah terjadi perubahan pada teknologi tersebut yang dikenal sebagai teknologi generasi pertama (1G) hingga generasi kelima (5G) (Suryanegara, Andriyanto, & Winarko, 2017). Perkembangan ini

didasari pada kebutuhan manusia untuk dapat menjangkau segala objek tanpa batasan jarak dan waktu. Aspek-aspek yang menonjol pada setiap pengembangannya dapat dilihat dari sisi efisiensi bandwidth, kecepatan data, dan fitur-fitur menarik yang dapat diakses hanya dari genggam tangan manusia.

Saat ini, akses internet pada seluler banyak menggunakan teknologi Long Term Evolution (LTE) yang termasuk pada teknologi generasi keempat (4G). Keunggulan LTE dari generasi sebelumnya salah satunya mempunyai akses kecepatan data yang tinggi yang mampu mencapai lebih dari 200 Mbps (Gopal & Kuppusamy, 2015). Layanan internet ultra broadband dapat mendukung fitur-fitur digital yang dapat meningkatkan produktivitas. Walaupun demikian, teknologi 4G terus ditingkatkan sampai munculah teknologi generasi kelima (5G). Teknologi 5G menjanjikan kecepatan data lebih dari 10 Gbps, kurang lebih 20 kali kecepatan 4G. Perangkat ini sangat mendukung perangkat lain untuk saling terkoneksi pada jarak yang jauh dengan menggunakan internet atau yang disebut dengan Internet of Things (IoT) (Ejaz, Imran, & Jo, 2016).

Untuk mendukung teknologi LTE dan 5G, salah satu perangkat yang diperlukan adalah antenna. Antena berperan penting pada sistem transmisi nirkabel yang mengubah gelombang listrik menjadi gelombang elektromagnetik, dan juga sebaliknya (Alaydrus, 2009). Jenis antenna yang dapat digunakan untuk mendukung teknologi tersebut salah satunya antenna mikrostrip. Antena mikrostrip mempunyai beberapa keunggulan, diantaranya bentuk yang minimalis, mudah dipabrikasi, murah dan cocok digunakan pada perangkat portabel. Antena mikrostrip terdiri dari tiga elemen utama, diantara elemen peradiasi/radiator (patch), substrat dan ground, seperti yang terlihat pada Gambar 1 (Garg, Bhartia, Bahal, & Ittipiboon, 2001).

Gambar 1. Elemen Utama Antena Mikrostrip

Penelitian mengenai antenna mikrostrip telah dilakukan dalam bermacam-macam metode. Metode untuk meningkatkan gain, dapat dilakukan dengan menggunakan array antenna (Rusdiyanto, 2021), menambahkan komponen aktif (Rusdiyanto & Zulkifli, 2019), menambahkan electromagnetic bandgap (Alam, Misran, Yatim, & Islam, 2013), dan lain-lain (Kumar & Gupta, 2016). Sedangkan untuk memperlebar bandwidth dapat menggunakan modifikasi pada patch antenna seperti defected ground structure (DGS) (Rusdiyanto, Apriono, & Astuti, 2021) dan integrasi substrat dengan waveguide (SIW) (Astuti, Megahari, & Rusdiyanto, 2021). Selain itu, antenna mikrostrip juga mudah dimodifikasi ke dalam Multiple Input Multiple Output (MIMO) yang bertujuan untuk meningkatkan keragaman dan jangkauan pada sistem transmisi di antenna (Harris et al., 2017).

Penelitian ini berfokus pada perancangan antenna mikrostrip MIMO 2x2 yang beroperasi pada jaringan LTE dan 5G. Antena ini mempunyai bandwidth yang lebar karena menggunakan metode modifikasi pada ground dan pengaturan resonansi frekuensi menggunakan slot pada patch. Frekuensi kerja yang dicapai berada pada LTE 2300 dan 5G Sub 6 GHz yang beroperasi pada frekuensi 3600 MHz. Material antenna menggunakan substrat FR4 dengan konstanta dielektrik 4,6 yang mempunyai ketebalan 1,6 mm.

II. METODE PENELITIAN

A. Perancangan Antena

Tahapan perancangan antenna dapat dilihat pada diagram alir seperti Gambar 2. Untuk menghitung dimensi patch, terlebih dahulu ditentukan frekuensi kerja yang diinginkan. Antena dirancang untuk dapat beroperasi pada frekuensi kerja 2300 MHz dan 3600 MHz, Untuk itu, penentuan dimensi antenna mengambil frekuensi terendah agar mempunyai performa maksimal pada frekuensi tersebut. Selanjutnya, dilakukan modifikasi struktur untuk mendapatkan resonansi frekuensi 3600 MHz. Hasil perhitungan kemudian dituangkan dalam proses simulasi menggunakan Software CST Microwave Studio. Untuk mencapai hasil simulasi yang maksimal, dilakukan proses iterasi dimana perubahan parameter dilakukan secara berkala. Hasil akhir perancangan ini berupa bentuk MIMO antenna 2x2 yang menampilkan parameter koefisien refleksi, koefisien isolasi, gain dan bandwidth antenna. Hasil ini kemudian dianalisa untuk mengetahui variabel-variabel nilai pada struktur antenna.

Gambar 2. Diagram Alir Perancangan Antena

B. SPESIFIKASI MATERIAL ANTENA

Material antenna mempengaruhi performa dan kualitas antenna, seperti dimensi antenna, rugi-rugi radiasi, gain, dan bandwidth. Pada penelitian ini, material utama dalam perancangan antenna menggunakan susbtrat Epoxy FR-4, sedangkan patch dan ground menggunakan tembaga. Pada saluran pencatu, metode yang digunakan yaitu microstrip line dengan penghubung konektor tipe SMA dengan nilai impedansi sebesar 50 Ohm. Karakteristik material antenna dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Material Antena

Karakteristik Material	Nilai
Konstanta dielektrik (ϵ_r)	4,6
Loss tangen ($\tan\delta$)	0,02
Ketebalan substrat	1,6 mm
Ketebalan tembaga	0,035 mm

C. Perhitungan Dimensi Antena

Penelitian ini menggunakan bentuk persegi panjang sebagai model awal perancangan. Dengan nilai-nilai yang diberikan oleh material antena, maka dapat ditentukan dimensi lebar W dan panjang L antena. Nilai W didapat dengan menggunakan (1), dimana v_0 adalah kecepatan cahaya dan f_r frekuensi resonansi (Balanis, 2005).

$$W = \frac{v_0}{2f_r \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (1)$$

Dengan menggunakan frekuensi resonansi 2300 MHz, hasil (1) menunjukkan nilai W sebesar 38,95 mm. Selanjutnya, panjang dimensi dapat dicari menggunakan (2-5).

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

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

$$L = \frac{v_0}{2f_r \sqrt{\epsilon_{reff}}} - 2\Delta L \quad (4)$$

$$L_e = L + 2\Delta L \quad (5)$$

Menggunakan persamaan (2-5), didapat nilai L sebesar 30,06 mm. Langkah selanjutnya adalah menghitung lebar saluran pencatu W_f yang menggunakan metode microstrip line. Nilai W_f ditentukan dengan menggunakan (6).

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

Dimana, nilai B dapat dicari menggunakan (7)

$$B = \frac{60 \pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (7)$$

Dari hasil (6-7) didapat nilai W_f sebesar 2,92 mm, dengan menggunakan impedansi saluran pencatu Z_0 sebesar 50 Ohm. Nilai perhitungan ini menjadi nilai referensi untuk menentukan dimensi antena. Untuk dimensi *ground*, mengikuti dimensi substrat dengan seluruh lapisan tembaga pada sisi bawah substrat, seperti yang terlihat pada gambar 3.

Gambar 3. Geometri Antena Tunggal

III. HASIL SIMULASI DAN PEMBAHASAN

A. Perancangan Geometri Antena Tunggal

Gambar 4 menunjukkan geometri antena tunggal dengan tampilan tampak depan dan belakang. Antena telah dimodifikasi dari bentuk awal. Geometri tersebut memiliki perubahan pada bentuk patch dan ground. Pada radiator, terdapat slot berbentuk persegi panjang yang berguna untuk memperkecil dimensi antena. Sedangkan pemotongan dimensi ground melebihi sepertiga dari bentuk awal bertujuan untuk mendapatkan bandwidth yang lebar.

Gambar 4. Geometri Antena Tunggal

Variabel dimensi antena pada Gambar 4 mempunyai ukuran seperti yang terlihat pada tabel 2. Apabila dibandingkan dengan perhitungan awal menggunakan *patch* persegi, ukuran dimensi yang diajukan lebih kecil, bahkan mencapai kurang dari 50% dari bentuk awal.

Tabel 2. Dimensi Antena Tunggal

Parameter	Nilai (mm)
W	45
L	56
W_p	28
L_p	21
W_s	18
L_s	8
W_f	3
L_f	17,5
L_g	16

Hasil simulasi pada antenna tunggal dapat dilihat pada Gambar 5 dimana menampilkan nilai koefisien refleksi dari antenna tunggal. Nilai dari koefisien refleksi dapat menentukan lebar *bandwidth* antenna. Dengan nilai koefisien refleksi di bawah -10 dB, maka nilai *bandwidth* yang didapat sekitar 1923,8 MHz, yang berada pada frekuensi 2265,8 MHz sampai 4189,6 MHz. Hasil ini menunjukkan antenna telah mencapai *bandwidth* yang lebar. Pada frekuensi 2300 MHz, diketahui nilai koefisien refleksinya berada pada -11 dB, sedangkan frekuensi 3600 MHz mempunyai koefisien refleksi sekitar -28,6 dB.

Gambar 5. Koefisien Refleksi Antena Tunggal

Untuk mengetahui karakteristik dari tiap-tiap variabel, maka dilakukan proses iterasi dengan mencoba nilai atas dan bawah pada simulasi. Seperti yang terlihat pada Gambar 6, dimana panjang slot persegi panjang L_s dioptimasi. Gambar 6 menunjukkan *bandwidth* yang didapat pada saat nilai $L_s = 12$ mm mempunyai *bandwidth* yang lebih lebar, walaupun demikian, nilai koefisien refleksi terlihat semakin mengecil. Sedangkan pada saat $L_s = 4$ mm, nilai koefisien refleksi dan *bandwidth* tidak lebih baik dibanding dengan nilai $L_s = 8$ mm.

Gambar 6. Iterasi parameter L_s

Selanjutnya dilakukan iterasi pada parameter lebar *slot* persegi panjang W_s . Hasil iterasi ditunjukkan pada Gambar 7 dimana nilai W_s terbaik berada pada nilai 18 mm. Perubahan nilai W_s pada saat 14 mm dan 22 mm menghasilkan *bandwidth* yang lebih rendah dan koefisien refleksi yang lebih besar.

Gambar 7. Iterasi parameter W_s

Untuk mengetahui nilai optimasi yang dilakukan saat modifikasi dimensi ground, maka dilakukan pemotongan batas atas ground sampai titik tertentu. Perubahan variabel ini sangat sensitif karena menghasilkan bandwidth dan koefisien refleksi di bawah hasil yang diinginkan. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8, dimana pada saat nilai $L_g = 14$, bandwidth antenna menjadi lebih kecil dan mempunyai koefisien refleksi yang tinggi. Sedangkan pada saat $L_g = 18$, nilai S-Parameter terlihat seperti mempunyai dua band frekuensi utama dengan nilai tengah sekitar 2400 MHz dan 3700 MHz. Walaupun demikian, nilai koefisien refleksinya hanya mencapai lebih dari -15 dB. Untuk itu, nilai $L_g = 16$ masih menjadi nilai ideal pada perancangan antenna tunggal.

Gambar 8. Iterasi parameter L_g

Parameter lain yang dapat dilihat dari hasil simulasi antenna tunggal ialah pola radiasi, gain, dan half power beamwidth (HPBW). Gambar 9 menunjukan variabel medan jauh antenna tunggal pada saat $\Phi = 90^\circ$. Pada frekuensi 2300 MHz, nilai gain yang dihasilkan sebesar 1,5 dBi. Sedangkan nilai HPBW dan arah lobe utamanya berada pada $83,4^\circ$ dan 178° . Pada frekuensi 3600 MHz, gain antenna mencapai 3,21 dBi, nilai HPBW $73,8^\circ$ dan arah lobe utama mencapai 174° .

Gambar 9. Hasil simulasi variabel medan jauh

B. Perancangan Antena MIMO 2x2

Hasil simulasi antena tunggal telah sesuai dengan yang tujuan yang diinginkan, yaitu mempunyai *bandwidth* yang lebar dengan nilai koefisien refleksi pada frekuensi 2300 MHz dan 3600 MHz di bawah -10 dB. Maka langkah selanjutnya merancang antena MIMO dengan model 2x2. Geometri antena MIMO yang dirancang terdiri dari 2 elemen pada posisi atas dan 2 elemen di posisi bawah, seperti yang ditampilkan pada Gambar 10. Tiap *ground* masing-masing elemen terpisah. Spasi antar jarak elemen pada bidang horizontal diberi symbol d , sedangkan bidang vertikal menggunakan simbol b . Setiap antena diberi nama (Antena 1 – Antena 4). Oleh karena itu, port yang tersedia pada MIMO 2x2 ini berjumlah 4 buah.

Gambar 10. Geometri antena MIMO 2x2

Untuk mencari nilai b dan d , menggunakan (8) (Firmansyah, Praptodiyono, Aribowo, & Alam, 2019). Dari hasil perhitungan tersebut didapat 13,04 mm. Setelah melakukan proses optimasi, nilai optimum untuk $b = 15$ mm dan nilai $d = 19$ mm.

$$d = b = \frac{1}{2}\lambda \quad (8)$$

Dimensi dari struktur patch tidak ada yang berubah kecuali besar substrat W_m dan L_m yang bertambah seiring dengan penambahan radiator antena. Begitu pula dengan lebar ground yang memiliki

ukuran seperti substrat sebelumnya, sebesar 45 mm dan panjang 16 mm. Dimensi antenna MIMO dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Dimensi Antena MIMO 2x2

Parameter	Nilai (mm)
W_m	92
L_m	92
d	19
b	15
L_g	18
W_g	8

Proses simulasi antenna MIMO memiliki beberapa tahapan perancangan, terutama pada penentuan jarak b dan d. Gambar 11 menunjukkan nilai koefisien refleksi S11 dengan perubahan variabel d. Pada saat nilai d = 17 mm, nilai koefisien refleksinya lebih tinggi. Sedangkan pada saat d = 21 mm, nilai koefisien refleksinya tidak lebih baik jika dibandingkan d = 19 mm. Hasil simulasi lebar Bandwidth pun sedikit lebih kecil.

Gambar 11. Hasil iterasi d

Karakteristik variabel b dapat dilihat pada gambar 12, dimana secara umum tidak terlalu jauh perbedaan tiap nilai variabel. Hanya saja terjadi sedikit perbedaan koefisien refleksi di beberapa frekuensi dan juga mempengaruhi sedikit perbedaan *bandwidth*. Oleh karena itu, nilai b = 15 digunakan sebagai variabel ini karena lebih mendekati nilai frekuensi 2300 MHz dan 3600 MHz serta mempunyai *bandwidth* dan koefisien refleksi yang lebih baik.

Gambar 12. Iterasi parameter b

Perbandingan hasil koefisien refleksi masing-masing antenna dapat dilihat pada gambar 13, dimana hasil simulasinya tidak jauh berbeda dari masing-masing antenna. Dari sisi bentuk grafik koefisien refleksi memiliki bentuk yang serupa. Walaupun demikian, sedikit perbedaan terjadi nilai koefisien refleksi di beberapa titik frekuensi. Hal ini tidak berpengaruh sama sekali karena nilai frekuensi kerja yang diinginkan masih tetap di bawah -10dB

Gambar 13. Perbandingan koefisien refleksi masing-masing port

Parameter lain yang menjadi faktor penting dalam perancangan suatu antenna MIMO yaitu koefisien isolasi, dimana antar antenna tidak saling menginterferensi. Nilai isolasi antar port pada frekuensi tertentu harus berada di bawah -10 dB. Jika nilai koefisien refleksi di atas -10 dB, maka berpotensi mengganggu resonansi dan gain pada tiap antenna.

Gambar 14. Iterasi parameter W_s

Gambar 14 menunjukkan nilai koefisien refleksi yang dari antara port 1 dan port lainnya. Gambar tersebut menunjukkan nilai koefisien isolasi masing-masing percobaan memenuhi nilai di bawah -10 dB pada hampir sepanjang bandwidth antenna. Parameter S21, pada frekuensi 2300 MHz dan 3600 MHz mempunyai nilai koefisien isolasi kurang lebih mencapai -15 dB. Sedangkan pada simulasi S31, nilai koefisien lebih rendah dari percobaan yang lain, dimana pada frekuensi 2300 MHz dan 3600 MHz mempunyai nilai -26 dB dan -22 dB. Pada pengamatan S41, frekuensi 2300 MHz mempunyai nilai koefisien refleksi -16 dB dan pada frekuensi 3600 MHz bernilai -14 dB. Secara keseluruhan, nilai koefisien refleksi hasil simulasi masing-masing percobaan telah berada di bawah -10 dB, maka dapat dikatakan masing-masing port mempunyai independensi antar port lainnya.

Gain antenna MIMO 2x2 untuk frekuensi 2300 MHz dapat dilihat pada gambar 15. Masing-masing antenna mempunyai nilai gain tersendiri. Pada gambar 15 terlihat nilai masing-masing gain tidak berbeda

jauh, hanya berbeda 0,02 dBi. Gain tertinggi terdapat pada Antena 3 dan Antena 4 dengan nilai 3,01 dBi. Sedangkan Antena 1 dan Antena 2 mempunyai gain sebesar 2,98 dBi.

Gambar 15. Gain antenna MIMO pada frekuensi 2300 MHz

Nilai gain simulasi pada frekuensi 3600 MHz ditunjukkan pada gambar 16, dimana perbedaan gain masing-masing antenna tidak terlalu jauh. Gain tertinggi dan terendah hanya berbeda 0,04 dBi. Nilai gain tertinggi dimiliki oleh antenna 2 dengan nilai 3,87 dBi. Sedangkan gain terendah dimiliki oleh antenna 3, yang mencapai 3,83 dBi.

Gambar 16. Gain antenna MIMO pada frekuensi 3600 MHz

C. Analisa Hasil Simulasi dan Diskusi

Hasil simulasi menunjukkan perancangan antenna MIMO 2x2 telah memenuhi tujuan yang diinginkan, dimana hasil koefisien refleksi dan koefisien isolasi masing-masing antenna telah berada di bawah -10 dB. Beberapa hal yang perlu dianalisa dan didiskusikan pada bagian ini diantaranya terkait dengan dimensi antenna, koefisien refleksi, koefisien isolasi, *bandwidth*, dan gain antenna.

Pada perancangan antenna tunggal, dimensi antenna berhasil diminiaturisasi dengan presentase mencapai 50% dari ukuran sebelumnya. Hasil ini terjadi karena modifikasi pada *ground* dan *slot* yang ditambahkan pada *patch* persegi, Selain itu, perubahan dari kedua variabel tersebut membuat *bandwidth* semakin lebar. Walaupun demikian, hasil ini berbanding terbalik dengan nilai gain yang menjadi lebih kecil. Berdasarkan pengamatan dan percobaan simulasi, proses miniaturisasi antenna menyebabkan nilai gain menjadi lebih kecil. Untuk itu, perlu diambil pilihan yang menjadi prioritas dari tujuan perancangan dengan mengedepankan miniaturisasi atau gain (Carver & Mink, 1981).

Hasil koefisien refleksi pada masing-masing model antenna telah menunjukkan nilai yang baik, yaitu di bawah -10 dB. Apabila diperhatikan, nilai koefisien refleksi memiliki nilai yang tinggi di luar frekuensi 2300 MHz dan 3600 MHz. Hal ini disebabkan karena pilihan untuk bisa memenuhi kedua frekuensi tersebut pada nilai koefisien yang standar. Selain itu, nilai *bandwidth* juga berpengaruh apabila titik terbaik pada koefisien refleksi bergeser pada frekuensi kerja.

Dari sisi parameter koefisien isolasi, nilai S31 menunjukkan nilai yang lebih baik dibanding parameter lainnya. Hal ini disebabkan posisi antenna 3 yang berlawanan cukup jauh dengan antenna 1. Sebaliknya dengan posisi antenna 2 dan antenna 4 yang bersampingan dan berhadapan, sehingga nilai koefisien isolasi antar dua antenna itu lebih tinggi dibanding antenna 3. Jarak spasi antar antenna berpengaruh pada koefisien refleksi tersebut. Untuk memaksimalkannya dapat memperlebar substrat dan mengatur jarak spasi antar elemen antenna. Konsekuensinya, ukuran antenna menjadi lebih besar. Walaupun demikian, cara ini dapat meningkatkan gain antenna.

Perbandingan hasil simulasi dan karakteristik dari masing-masing model dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Simulasi Antena

Parameter	Frekuensi LTE 2300 MHz	Frekuensi 5G 3600 MHz
Antena Tunggal		
Koefisien Refleksi	-11 dB	-28 dB
Gain	1,5 dBi	3,21 dBi
Bandwidth	1923,8 MHz	
Dimensi Substrat	45 mm x 56 mm	
Dimensi Patch	28 mm x 21 mm	
MIMO 2x2		
Koefisien Refleksi Antena 1	-11,2 dB	-23,5 dB
Koefisien Refleksi Antena 2	-11,2 dB	-23,5dB
Koefisien Refleksi Antena 3	-11,7 dB	-22,5 dB
Koefisien Refleksi Antena 4	-11,7 dB	-22,5 dB
Koefisien Isolasi S21	-15 dB	- 15,3 dB
Koefisien Isolasi S31	-26 dB	-22 dB
Koefisien Isolasi S41	-16 dB	-14 dB
Gain Antena 1	2,98 dBi	3,86 dBi
Gain Antena 2	2,98 dBi	3,87 dBi
Gain Antena 3	3,01 dBi	3,83 dBi
Gain Antena 4	3,01 dBi	3,84 dBi
Bandwidth antenna 1	2033,1 MHz (2134,2 MHz – 4167,3 MHz)	
Bandwidth antenna 1	2033,1 MHz (2134,2 MHz – 4167,3 MHz)	
Bandwidth antenna 1	2024 MHz (2124,4 MHz – 4148,4 MHz)	
Bandwidth antenna 1	2024 MHz (2124,4 MHz – 4148,4 MHz)	
Dimensi Substrat	92 mm x 92 mm	

IV. SIMPULAN

Perancangan antenna MIMO 2x2 untuk aplikasi LTE 2300 MHz dan 5G 3600 MHz telah berhasil disimulasikan. Hasil simulasi menunjukkan nilai bandwidth antenna MIMO mencapai lebih dari 2 GHz. Koefisien refleksi dan isolasi masing-masing antenna telah berada di bawah -10 dB. Perancangan antenna dengan memotong panjang ground dan menambahkan slot pada radiator terbukti dapat memperlebar bandwidth antenna dan juga mengurangi dimensi patch antenna sebesar 50%. Dari hasil simulasi tersebut dapat disimpulkan bahwa antenna ini dapat bekerja pada frekuensi LTE dan 5G serta mempunyai bandwidth yang lebar.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Universitas Mercu Buana yang telah mendukung penuh penelitian ini melalui hibah penelitian internal tahun 2020/2021.

DAFTAR PUSTAKA

- Alam, S., Misran, N., Yatim, B., & Islam, M. T. (2013). Development of Electromagnetic Band Gap Structures in the Perspective of Microstrip Antenna Design. 2013.
- Alaydrus, M. (2009). Saluran Transmisi Telekomunikasi.
- Astuti, D. W., Megahari, M., & Rusdiyanto, D. (2021). Perancangan Antena Diplexing Menggunakan Metode Half Mode SIW dengan Metode Cavity Back Slot Sebagai Matching Impedansi. 11(1), 1–14.
- Balanis, C. A. (2005). Antenna Theory; Analysis And Design. In A John Wiley & Son, INC. Publication (Thrid Edit). <https://doi.org/10.1109/proc.1984.12959>
- Carver, K., & Mink, J. (1981). Microstrip Antenna Technology. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 29(1), 2–24. <https://doi.org/10.1109/TAP.1981.1142523>
- Ejaz, W., Imran, M. A., & Jo, M. (2016). Internet of Things (IoT) in 5G Wireless Communications. (March 2017). <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2646120>
- Firmansyah, T., Praptodiyono, S., Aribowo, D., & Alam, S. (2019). Bandwidth enhancement and miniaturization of circular-shaped microstrip antenna based on beveled half-cut structure for MIMO 2 x 2 application. 9(2), 1110–1121. <https://doi.org/10.11591/ijece.v9i2.pp.1110-1121>
- Garg, R., Bhartia, P., Bahal, I., & Ittipiboon, A. (2001). Artech - Microstrip Antenna Design Handbook.pdf. London: Artech House.
- Gopal, B. G., & Kuppusamy, P. G. (2015). A Comparative Study on 4G and 5G Technology for Wireless Applications. 10(6), 67–72. <https://doi.org/10.9790/2834-10636772>
- Harris, P., Hasan, W. B., Brice, H., Chitambira, B., Beach, M., Mellios, E., ... Doufexi, A. (2017). An Overview of Massive MIMO Research at the University of Bristol.
- Kumar, A., & Gupta, N. (2016). Gain and Bandwidth Enhancement Techniques in Microstrip Patch Antennas Gain and Bandwidth Enhancement Techniques in Microstrip Patch Antennas-A Review. (August). <https://doi.org/10.5120/ijca2016911207>
- Rusdiyanto, D. (2021). Comparison Of Eight Elements Array Structure Design For Coastal Surveillance Radar. 567–571.
- Rusdiyanto, D., Apriono, C., & Astuti, D. W. (2021). BANDWIDTH AND GAIN ENHANCEMENT OF MICROSTRIP ANTENNA USING DEFECTED GROUND STRUCTURE AND. 25(2), 153–158.
- Rusdiyanto, D., & Zulkifli, Y. (2019). Antenna Integrated with Low Noise Amplifier Operating at L1 GPS Application. 2019–2021.
- Suryanegara, M., Andriyanto, F., & Winarko, B. (2017). What Changes After Switching to 4G-LTE ? Findings From the Indonesian Market. 5.