

Artikel

Perancangan dan Analisis Antena Mikrostrip MIMO Dengan Elemen *Triangular* pada Frekuensi 2.35 GHz Untuk Aplikasi Sistem Komunikasi

Dinda Aprilia Kasda^{1*}, Fannush Shofi Akbar², dan Nilla Rachmaningrum³¹⁻³ Program Studi Teknik Telekomunikasi, Telkom University Surabaya, Surabaya, Indonesia*korespondensi : fannushakbar@telkomuniversity.ac.id

Received: 10 Februari 2024; Revised: 21 Februari 2024; Accepted: 15 Maret 2024

Abstrak: Penelitian ini membahas tentang Perancangan dan Analisis Antena Mikrostrip MIMO *Triangular* yang akan di aplikasikan pada sistem komunikasi dengan frekuensi yang mampu bekerja pada band N40 dan memiliki rentang frekuensi 2.3 GHz sampai 2.4 GHz serta antena ini memiliki *patch* yang berbentuk *triangular* dan pencatuan dengan teknik *insert feeding*. Proses perancangan antenna dimulai dengan perhitungan teori dimensi antenna 1 elemen, lalu penyusunan antenna MIMO dengan menggunakan 3 skenario atau metode yaitu antenna MIMO 4 elemen sejajar, antenna MIMO 4 elemen berhadapan, dan antenna MIMO 4 elemen menyilang. Dari ketiga metode penyusunan tersebut di dapatkan hasil yang cukup optimal pada antenna MIMO 4 elemen berhadapan. Perancangan tersebut berada pada frekuensi 2.35 GHz, polarisasi yang dihasilkan ialah *circular* juga pola radiasi yang dihasilkan ialah *directional* dan *bi directional* serta *gain* terbaik sebesar 5 dBi dengan efisiensi sebesar 23%, mutual kopleng lebih kecil dari -20 dB, *return loss* juga lebih kecil dari -10 dB, dan *VSWR* yang kurang dari 2.

Kata kunci: Mikrostrip; *insert feeding*; MIMO; Sistem Komunikasi; *Triangular*

1. Pendahuluan

Seiring berjalannya waktu, berbagai teknologi yang menunjang sumber daya manusia yang tangguh akan bermunculan dan semakin canggih, tanpa terikat oleh kecanggihan teknologi saat ini. Dimulai dengan adanya 1G, 2G, 3G, 4G bahkan 5G, perkembangan tersebut telah menunjukkan dampak yang signifikan terhadap aktivitas manusia sehari-hari dan sangat penting bagi kemajuan teknologi baik di Indonesia maupun dunia. Sejalan dengan teknologi mutakhir, kita perlu peka terhadap perkembangan teknologi agar dapat mengembangkan teknologi yang dapat mengubah kehidupan masyarakat, sehingga dapat dimanfaatkan secara tepat dan mendukung aktivitas manusia [1].

Dalam jangka panjang, 5G diharapkan menyediakan konektivitas yang disesuaikan untuk memenuhi permintaan khusus dari berbagai kelompok pengguna, termasuk industri tertentu [2].

1.1. MIMO

Antena MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) merupakan teknologi yang menggunakan banyak antena baik pada sisi pengirim maupun penerima. Teknologi ini dapat digunakan untuk meningkatkan kapasitas dan kinerja sistem komunikasi nirkabel. Pada aplikasi 5G, antena MIMO digunakan untuk meningkatkan kapasitas jaringan dengan cara memungkinkan lebih banyak pengguna untuk menggunakan bandwidth yang sama secara bersamaan. Antena

MIMO juga dapat digunakan untuk meningkatkan kinerja jaringan dengan cara mengurangi efek *multipath fading* [3].

1.2. Antena Mikrostrip *Triangular*

Antena mikrostrip terdiri dari tiga komponen utama, yaitu konduktor yang membentuk pola radiasi, substrat dielektrik yang mendukung pola radiasi, dan lapisan penggantung (*ground plane*) yang berada di bawah substrat. Antena ini umumnya memiliki bentuk yang datar dan dapat diintegrasikan dengan mudah dalam perangkat elektronik [4]. Hal ini memungkinkan cakupan yang lebih merata dan kuat dalam mentransmisikan atau menerima sinyal, sehingga dapat memberikan kinerja komunikasi yang lebih baik. Bentuk segitiga pada antena *triangular* memberikan kekuatan struktural yang baik [5].

Jaringan 4G, juga dikenal sebagai, adalah generasi sebelumnya dari teknologi nirkabel yang digunakan secara luas di seluruh dunia. Diperkenalkan pada awal 2010-an, 4G memiliki kecepatan data yang lebih tinggi dari pada pendahulunya, yaitu 3G, dan menyediakan kinerja yang lebih baik untuk *streaming* video, pengunduhan *file*, dan aplikasi berat data lainnya [6]. Sedangkan 5G menghadirkan teknologi seperti *network slicing*, *massive MIMO (Multiple-Input Multiple-Output)*, dan *edge computing* yang memberikan kemampuan jaringan yang lebih canggih untuk mendukung berbagai aplikasi seperti *Internet of Things (IoT)*, mobil otonom, *augmented reality (AR)*, dan *virtual reality (VR)* [7].

Karena geometri dasar antena mikrostrip yang berbeda-beda, antena patch segitiga ini masih jarang digunakan sebagai objek, namun memiliki beberapa keunggulan dibandingkan bentuk antena lainnya. Artinya, ia dapat berfungsi sebaik bentuk dasar lainnya, area tambalan menjadi lebih besar. Karena ukurannya yang kecil, dan masih banyak peluang untuk mengeksplorasi antena ini [8]. *Ground plane* biasanya terbuat dari bahan konduktif yang sama dengan patch [9]. Bidang tanah bertindak sebagai reflektor untuk memantulkan sinyal yang tidak diinginkan [10]. Untuk menentukan dimensi awal antena mikrostrip segitiga yang akan disimulasikan, maka harus diketahui parameter bahan yang akan digunakan yaitu ketebalan dielektrik (h) dan konstanta dielektrik *relative* (ϵ_r). Untuk mengetahui ukuran *patch* pada antena *triangular*, maka dapat di cari dengan persamaan 1 [11] :

$$a = \frac{2c}{3f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

Dimana,

a = Sisi patch

c = Kecepatan cahaya (3×10^8)

f_r = Frekuensi kerja antenna (Hz)

ϵ_r = konstanta dielektrik *relative*

Untuk mengetahui lebar dan panjang *ground plane* serta *substrate* pada antena *triangular*, maka dapat di cari dengan persamaan 2

$$W_g = 6h + a \quad (2)$$

Dimana,

W_g atau L_g = Lebar ground

h = ketebalan dielektrik

a = Sisi *patch*

1.3. Pencatuan *Insert Feeding*

Feed line mikrostrip juga merupakan strip konduktif, biasanya lebarnya jauh lebih kecil daripada patch. Umpan jalur mikrostrip mudah dibuat, mudah diatur dengan mengontrol lokasi penyisipan, dan cukup mudah untuk dimodelkan. Namun, peningkatan ketebalan

substrat akan meningkatkan gelombang permukaan dan emisi palsu, yang membatasi bandwidth (biasanya 2–5%). Untuk mengetahui ukuran dari pencatutan pada antenna mikrostrip *insert feeding*, maka dapat di cari dengan persamaan 3.

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{4\sqrt{1 + \frac{12h}{a}}} \quad (3)$$

Dimana,

ϵ_{eff} = konstanta dielektrik efektif
 ϵ_r = konstanta dielektrik *relative*
 h = ketebalan dielektrik
 a = Sisi patch

Untuk menentukan lebar saluran pencatu (W) pada antenna mikrostrip *insert feeding*, maka dapat di cari dengan persamaan 4.

$$W = \frac{2h}{\pi} \left\{ \beta - 1 - \ln(2\beta - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(\beta - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (4)$$

Dimana,

W = lebar saluran pencatu
 ϵ_r = konstanta dielektrik *relative*
 h = ketebalan dielektrik
 β = nilai beta

dan untuk menentukan nilai beta (β) dari nilai impedensi 50 Ω menggunakan persamaan 5.

$$\beta = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (5)$$

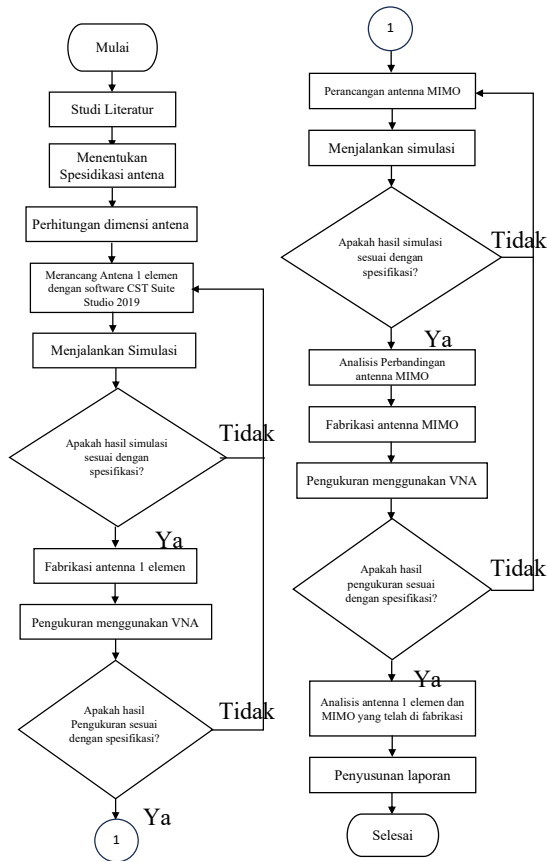
Dimana,

Z_0 = impedansi input
 ϵ_{eff} = konstanta dielektrik efektif

2. Perancangan dan Simulasi

2.1 Alur Penelitian

Pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa sebelum membuat desain antenna mikrostrip *MIMO*, peneliti terlebih dahulu melakukan studi literatur tentang topik apa yang akan diteliti lalu menentukan spesifikasi antenna yang akan di gunakan dalam penelitian ini, setelah itu barulah mulai menghitung dimensi antenna dan di terapkan pada perancangan di *software CST suite studio 2019*, perancangan tersebut lalu disimulasikan dan dilihat hasilnya apakah telah sesuai dengan spesifikasi atau tidak, jika belum maka di haruskan melakukan optimasi pada perancangan, jika sudah sesuai maka bisa dilanjutkan dengan memfabrikasi antenna 1 elemen kemudian diukur menggunakan *VNA* dan dilihat lagi hasilnya, jika hasil tidak memenuhi spesifikasi maka diperlukan optimasi pada perancangan di *software CST suite studio 2019*, jika telah memenuhi maka bisa dilanjutkan dengan merancang antenna *MIMO* 4 elemen dengan 3 skenario yaitu; antenna *MIMO* 4 elemen sejajar, antenna *MIMO* 4 elemen berhadapan, dan antenna *MIMO* 4 elemen menyilang. Ketiga perancangan tersebut lalu di simulasikan juga dan dilihat hasilnya, lalu di analisis manakah yang lebih baik dan akan difabrikasi. Setelah antenna di fabrikasi antenna selanjutnya akan di ukur menggunakan *VNA* dan dilihat hasilnya lagi.



Gambar 1 Alur Penelitian

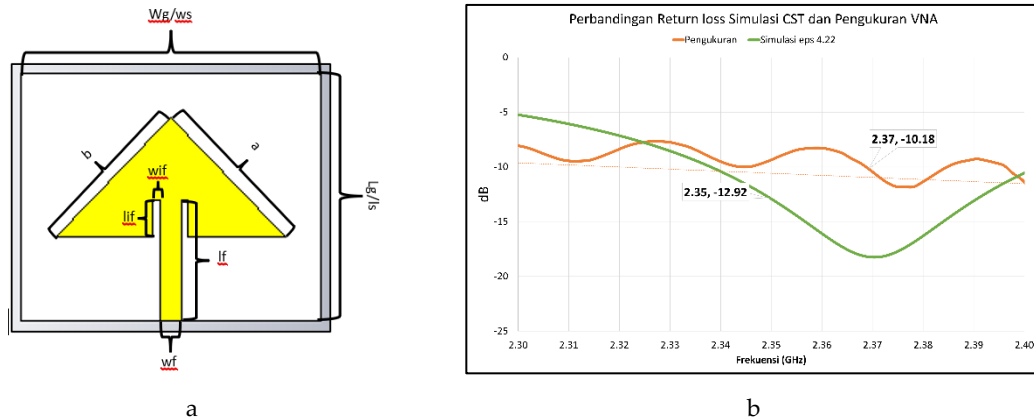
2.2 Spesifikasi Antena

Antena yang akan di desain pada penelitian ini ialah antena *MIMO* yang menggunakan antena mikrostrip *triangular* yang nantinya akan bekerja pada frekuensi 5G di Indonesia. Berikut adalah spesifikasi yang diharapkan dipenuhi pada penelitian ini.

Tabel 1 Spesifikasi Antena

Jenis Spesifikasi	Nilai / Bahan
Frekuensi	2.35 GHz
Band Frekuensi	2.3 GHz – 2.4 GHz
VSWR	≤ 2
Return Loss	≤ -10 dB
Gain	≥ 5 dBi
Mutual Coupling	< - 20 dB
Pola Radiasi	Directional
Bahan Substrate	Fr-4
Jarak Antar Elemen Antena	1 λ

2.3 Perancangan Antena 1 Elemen



Gambar 2 (a) desain pada *software CST*, (b) Grafik Perbandingan S1.1

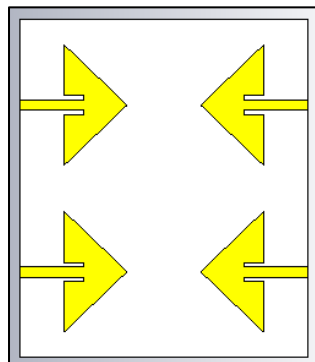
Tabel 2 Hasil Perancangan pada Software CST Suite Studio 2019

Jenis Spesifikasi	Hasil Simulasi
S1,1	-17.985699 dB
VSWR	1.2885913
Gain	-0.0397 dBi
Bandwidth	63.7 MHz
Directivity	5.963 dBi

Setelah membuat perhitungan seperti sub bab di atas, selanjutnya ialah memasukkan hasil tersebut kedalam perancangan antenna yang di buat pada *Software CST Suite Studio 2019*. Setelah proses perancangan selesai selanjutnya ialah menjalankan simulasi, dan karena hasil simulasi tidak sesuai dengan spesifikasi maka di perlukan optimasi. Pada gambar 2 (a) merupakan desain antenna pada *Software CST suite Studio 2019*, sedangkan gambar 2 (b) merupakan grafik perbandingan S-Parameter dari desain simulasi dan pengukuran.

Optimasi dilakukan karena tidak sesuainya hasil simulasi dengan spesifikasi yang diharapkan, pada desain sebelum optimasi terdapat spesifikasi yang tidak dapat diabaikan, berikut hasil setelah optimasi:

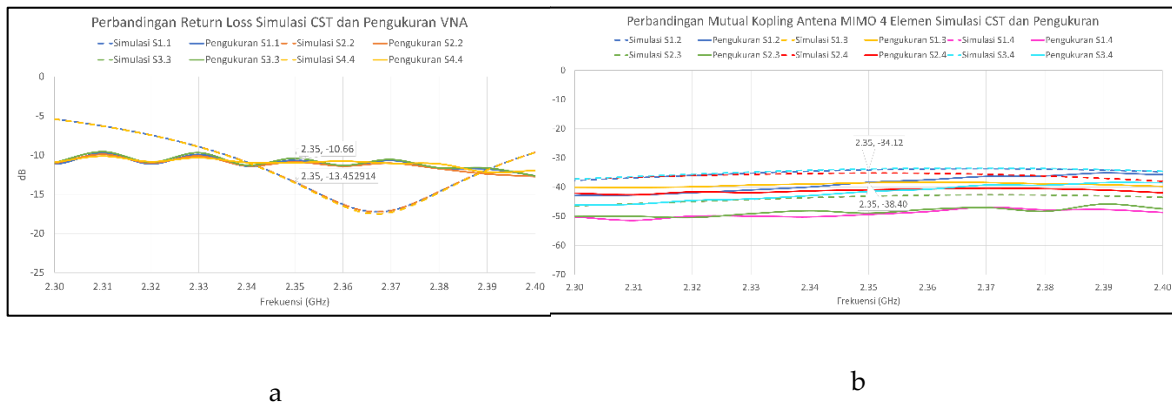
2.4 Perancangan Antena MIMO 4 elemen



Gambar 3 Desain Antena MIMO 4 Elemen

Tabel 3 Hasil Simulasi

Jenis Spesifikasi	Hasil Simulasi
S1,1	-17.985699 dB
VSWR	1.2885913
Bandwidth	63.7 MHz



Gambar 4 (a) Grafik Perbandingan *Return Loss*, (b) Grafik Perbandingan Mutual Kopling

Bisa dilihat dari gambar 3 merupakan desain antenna *MIMO* 4 elemen dengan posisi berhadapan, Antenna tersebut disusun dari antenna 1 elemen yang di *duplicate* dan *transform* ke sisi kanan dan ke sisi atas, serta *ground plane* yang digabung hingga menjadi 1, dimana jarak antar elemen antenna ialah 1λ (lambda) atau 127 mm ke kanan dan ke atas. Dari simulasi yang dilakukan pada *Software CST Studio Suite 2019*. Dari gambar 4 (a) dapat dilihat perbandingan S-Parameter simulasi dan pengukuran dari masing masing port sedangkan pada gambar 4 (b) merupakan perbandingan mutual kopling dari antenna *MIMO* 4 Elemen pada simulasi *CST* dan Pengukuran *VNA*.

Ketika telah menentukan perancangan yang akan di fabrikasi, selanjutnya ialah mengukur antenna mikrostrip *triangular* satu elemen dengan *Vector Network Analyzer* untuk mengetahui apakah antenna tersebut memiliki hasil yang masih sesuai dengan spesifikasi atau tidak.

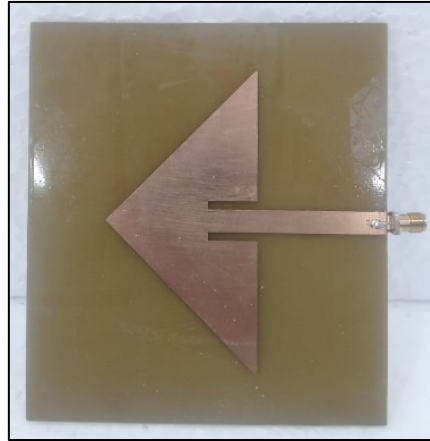
3. Hasil dan Analisis

Antenna yang telah difabrikasi atau dicetak selanjutnya akan di ukur menggunakan *VNA*, untuk mengukur S-parameter, *VSWR* serta *bandwidth*nya. Setelah itu untuk mengukur polarisasi dan pola radiasi, antenna diletakkan pada rotator antenna yang telah di hubungkan oleh antenna horn sebagai antenna pengukurnya dengan *VNA* dengan jarak antar antenna yang telah di tentukan sebelumnya [15].

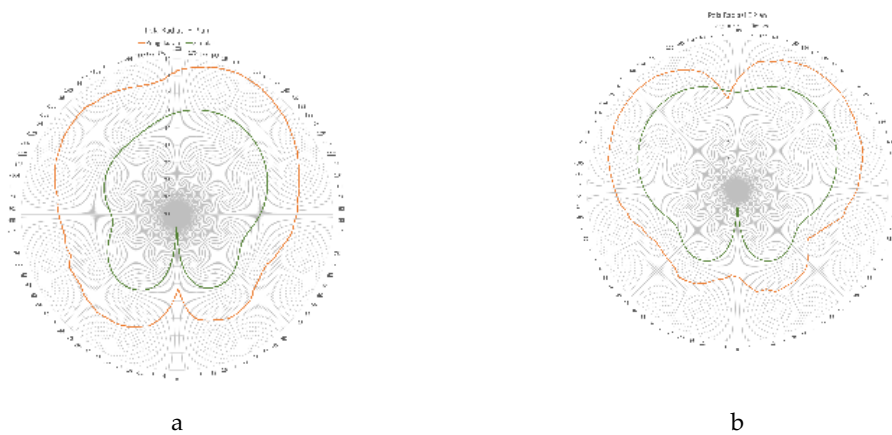
Bagian ini dapat dibagi dengan subjudul. Ini harus memberikan gambaran yang ringkas dan tepat dari hasil percobaan, interpretasinya serta kesimpulan percobaan yang dapat ditarik.

3.1 Realisasi Antenna *Microstrip Triangular* Satu Elmen

Antenna yang telah difabrikasi merupakan bahan yang akan di gunakan untuk di ukur menggunakan *VNA* (*vector network analyzer*). Dibawah ini ialah gambar antenna yang telah difabrikasi dan akan di ukur:



Gambar 5. Antena 1 Elemen setelah difabrikasi



Gambar 6. H Plane Antena 1 Elemen (a) dan E Plane Antena 1 Elemen (b)

Tabel 4. Hasil Pengukuran dari Antena 1 Elemen yang Telah Difabrikasi

Frekuensi	S1.1	VSWR	Bandwidth	Gain	Dir.
2.35 GHz	-12.905372 dB	1.5851182	63.1 MHz	-0.4776 dBi	5.855 dBi

Gambar 5 dan 6 merupakan antenna microstrip satu elemen dengan Panjang 12 cm dan tinggi 10 cm yang berbahan FR-04 pada substratnya. Perbandingan hasil dari simulasi dan pengukuran menggunakan VNA dapat dilihat pada gambar 2 dan tabel 3 berikut hasil pengukuran dari antenna 1 elemen yang telah difabrikasi:

Dari tabel 4 dapat dilihat bahwa hasil pengukuran dari antenna 1 elemen semua parameternya telah memenuhi spesifikasi kecuali nilai parameter *gain*, dan dari gambar 3.2 juga bisa di lihat bahwa pola radiasi yang dihasilkan oleh antenna 1 elemen ini, antenna *triangular* 1 elemen ini pada H *plane* (a) memiliki polarisasi linear sedangkan untuk E *plane* (b) memiliki polarisasi *circular*.

Tabel 6. Hasil Mutual Kopling Antena MIMO 4 Elemen

Parameter	Mutual Kopling
S1.2	-38.40 dB
S.13	-38.51 dB
S1.4	-49.39 dB
S2.3	-48.96 dB
S2.4	-40.95 dB
S3.4	-41.53 dB

Gambar 8 merupakan desain *antenna MIMO* 4 elemen yang menggunakan ukuran *patch* yang telah di optimasi kemudian di *duplicate* dan di *rotate* sehingga menjadi 4 elemen berhadapan, ukuran *substrate* dan *ground* yang di gunakan pada perancangan ini ialah tinggi 25.7 cm dan lebar 22 cm. Antena *triangular MIMO* 4 elemen yang telah di fabrikasi kemudian di ukur menggunakan *VNA* untuk mengetahui beberapa hal seperti pada tabel 6.

Dari hasil pengukuran *VNA* untuk S-parameter dan *VSWR* bernilai memenuhi spesifikasi namun untuk *bandwidth*nya mengalami penyempitan. Kemudian untuk hasil polarisasi yang di dapatkan *antenna MIMO* 4 elemen ini adalah *circular* sedangkan untuk pola radiasinya ialah *directional* dan *bi directional* seperti pada gambar 9.

Polarisasi antena pada arah tertentu didefinisikan sebagai polarisasi gelombang yang diradiasikan ketika antena berperan sebagai pemancar, dan polarisasi gelombang yang menghasilkan daya yang sama dengan port antena ketika antena berperan sebagai penerima sebuah gelombang [12].

Mutual kopling yang dihasilkan dapat dilihat pada table 3.3, Jumlah elemen terhadap kinerja antenna menggunakan desain *MIMO* memiliki kelebihan yaitu meningkatkan kinerja dari *directivity gain* sebesar 2 dBi. Pengaruh mutual kopling dengan *antenna MIMO* yaitu dapat memaksimalkan parameter kerja jarak antar antenna jika nilai mutual kopling tersebut dibawah -20 dB.

3.3 Analisis

Dapat dianalisis bahwa antenna microstrip *MIMO* triangular berada pada frekuensi 2.35 GHz, polarisasi yang dihasilkan ialah *circular* juga pola radiasi yang dihasilkan ialah *directional* dan *bi directional* serta gain terbaik sebesar 12.2 dBi dengan efisiensi sebesar 23%, mutual kopling lebih kecil dari -20 dB, return loss juga lebih kecil dari -10 dB, dan *VSWR* yang kurang dari 2. Pengaruh jumlah elemen terhadap kinerja antenna menggunakan desain *MIMO* memiliki kelebihan yaitu meningkatkan kinerja dari gain sebesar 2 dBi. Saat elemen antena bertambah akan mempengaruhi nilai gain dan mutual koplingnya, sedangkan untuk nilai return loss dan *VSWR* tidak terlalu berubah secara signifikan dari hasil antena 1 elemen. Pengaruh mutual

kopling dengan antenna MIMO yaitu dapat memaksimalkan parameter kerja jarak antar antenna jika nilai mutual kopling tersebut dibawah -20 dB.

4. Kesimpulan

Beberapa hasil pengukuran dari perancangan antenna microstrip MIMO triangular pada frekuensi 2.35 GHz untuk aplikasi sistem komunikasi tidak dapat memenuhi spesifikasi antenna untuk sistem komunikasi itu sendiri, namun antenna MIMO tersebut telah berada pada frekuensi 2.35 GHz, hanya saja perbandingan daya radiasi atau gain dan lebar pitanya atau bandwidth belum memenuhi spesifikasi antenna untuk aplikasi sistem komunikasi. Hasil optimasi desain antena 1 elemen dengan menggunakan software CST studio suite 2019 mendapatkan hasil yang lebih baik dari sebelum optimasi, begitu juga dengan antenna MIMO 4 elemen. Jumlah elemen terhadap kinerja antenna menggunakan desain MIMO memiliki kelebihan yaitu meningkatkan kinerja dari gain sebesar 2 dBi. Pengaruh mutual kopling dengan antenna MIMO yaitu dapat memaksimalkan parameter kerja jarak antar antenna jika nilai mutual kopling tersebut dibawah -20 dB. Polarisasi yang dihasilkan ialah circular yang memiliki keunggulan membantu mengatasi tantangan NLOS karena polarisasi circular memiliki toleransi yang lebih baik terhadap variasi orientasi antena dan pantulan sinyal. Juga pola radiasi yang dihasilkan ialah directional dan bi directional serta gain 0.08843 dBi dan 0.1066 dBi, mutual kopling lebih kecil dari -20 dB, return loss juga lebih kecil dari -10 dB, dan VSWR yang kurang dari 2.

Referensi

- [1] A. Wijaya and U. P. Indonesia, "Perkembangan teknologi 5G," *Jurnal Sains dan Teknologi Universitas Pendidikan Indonesia*, vol. 8, no. 2001619, pp. 5–7, 2016, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/348307461_PERKEMBANGAN_TEKNOLOGI_5G
- [2] M. K. Adityo and I. Krisnadi, "Tinjauan Frekuensi 5G Di Indonesia," *Jurnal Sains dan Teknologi Elektro Institut Teknologi Sepuluh November*, vol. 17, pp. 1–4, 2018.
- [3] O. S. Baskoro, I. P. Ardana, P. K. Sudiarta, S. Teknik, and I. T. Bandung, "Karakterisasi Antena Susun Mikrostrip Patch Sirkular untuk Komunikasi Long Term Evolution Frekuensi 1 , 8GHz," *Seminat Nasional Microwave, Antena dan Ppropagasi*, vol. 10, pp. 37–42, 2018.
- [4] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, 4th ed. Hoboken, New Jersey: Don Fowley, 2011.
- [5] C. A. Balanis, *ANTENNA THEORY ANALYSIS AND DESIGN*, 4th ed., vol. 4. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2016.
- [6] G. Dileep, "A survey on smart grid technologies and applications," *Renew Energy*, vol. 146, pp. 2589–2625, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.08.092.
- [7] J. G. Andrews *et al.*, "What will 5G be?," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 32, no. 6, pp. 1065–1082, 2014, doi: 10.1109/JSAC.2014.2328098.
- [8] D. Medianto and M. Y. Hardiman, "Rancang Bangun Antena Mikrostrip Patch Triangular Metode Parasitic untuk Aplikasi LTE di Frekuensi 2,3 GHz," *Jurnal Teknologi Elektro, Universitas Mercu*

- Buana, vol. 9, no. 2, pp. 109–116, 2018, [Online]. Available: <https://jte.mercubuana.ac.id/publications/327297/>
- [9] E. Sumpena, Mochamad Rizal, Hanny Madiawati, “Desain dan Realisasi Antena Mikrostrip Rectangular Patch 4x2 Untuk Aplikasi 5G,” in *Prosiding The 11th Industrial Research Workshop and National Seminar*, Bandung: IRWNS, 2020, pp. 26–27.
- [10] M. Anthoni, R. S. Asthan, A. Pascawati, D. Maryopi, and M. R. K. Aziz, “Perancangan dan Simulasi Antena Mikrostrip MIMO 4x4 Rectangular Patch dengan Double U-Slot dan DGS pada Frekuensi 26 GHz untuk Aplikasi 5G,” *Journal of Science and Applicative Technology*, vol. 5, no. 2, p. 371, 2021, doi: 10.35472/jsat.v5i2.336.
- [11] E. Cahyani and M. U. S. T, “RANCANG BANGUN ANTENA MIKROSTRIP MIMO TRIANGULAR PATCH FREKUENSI 2300 MHz UNTUK TEKNOLOGI 4G LTE (Long Term Evolution) DESIGN OF ANTENNA MICROSTRIP MIMO TRIANGULAR PATCH 2300 Long Term Evolution atau sering,” in *Prosiding SNITT Politeknik Negeri Balikpapan*, Balikpapan: SNITT- Politeknik Negeri Balikpapan, 2020, pp. 233–242.
- [12] A. S. Nugraha and Y. Christyono, “Perancangan dan Analisis Antena Mikrostrip dengan Frekuensi 850 MHz untuk Aplikasi Praktikum Antena,” *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Universitas Diponegoro*, vol. 13, no. 1, pp. 39–45, 2011.



© 2019 oleh penulis. Dikirim untuk kemungkinan publikasi akses terbuka di bawah syarat dan ketentuan lisensi Creative Commons Attribution (CC BY) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).