

Perancangan, Optimasi dan Analisis *High Isolation Dual-Band* MIMO 5G Antena untuk Implementasi pada *Smartphone*

RIZCKY GANDARRITYAZ, MUHAMMAD FAUZAN EDY PURNOMO,
FAKHRIY HARIO PARTIANSYAH

Departemen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya, Indonesia
Email: rizcky.gandar@gmail.com, rizckyg@student.ub.ac.id

Received 11 Mei 2022 | *Revised* 10 Juni 2022 | *Accepted* 14 Juli 2022

ABSTRAK

Pemerintah telah menyiapkan kandidat spektrum frekuensi 700 MHz, 2,3 GHz dan 26 GHz/28 GHz untuk teknologi 5G di Indonesia. Dibutuhkan desain antena dengan isolasi tinggi, mampu bekerja secara MIMO dengan struktur yang ringkas agar tidak menghabiskan ruang yang besar pada sirkuit smartphone. Pada penelitian ini dilakukan perancangan dan optimasi elemen antena folded monopole meander line dengan dimensi 31,5 x 16 mm yang dapat bekerja secara dual-band yaitu pada frekuensi 700 MHz dan 2,3 GHz. Kemudian diimplementasikan dalam dua rancangan konfigurasi 8 ports MIMO antena yang berbeda posisi penempatannya. Hasil simulasi menunjukkan konfigurasi 1 memiliki isolasi tinggi dan kinerja lebih optimal dibandingkan dengan konfigurasi 2, di mana $RL < -10$ dB pada kedua frekuensi kerja, isolasi tinggi tanpa adanya tambahan elemen decoupling yaitu $>20,64$ dB dan $>16,94$ dB pada frekuensi 700 MHz dan 2,3 GHz secara berurutan, $ECC < 0,1$ dan efisiensi antena mencapai 71,4% dan 84,6% pada frekuensi 700 MHz dan 2,3 GHz secara berurutan.

Kata kunci: 5G, antena, MIMO, dual-band, 700 MHz, 2,3 GHz, isolasi tinggi

ABSTRACT

The Indonesian government has prepared frequency spectrum candidates for 5G technology at 700 MHz, 2.3 GHz and 26 GHz/28 GHz. It takes antenna design with high isolation, MIMO and compact structure. In this research, the design and optimization of an antenna element with a folded monopole meander line geometric shape with dimensions of 31.5 x 16 mm which can work in dual-band at frequency 700 MHz and 2.3 GHz. The antenna design implemented in two configuration of 8 ports MIMO antenna with different port placement positions. The simulation results show that configuration 1 has high isolation and more optimal performance than configuration 2, where $RL < -10$ dB at both frequencies, $ECC < 0.1$, high isolation without additional decoupling elements at >20.64 dB and >16.94 dB and antenna efficiency reached 71.4% and 84.6% at frequency 700 MHz and 2.3 GHz, respectively.

Keywords: 5G, MIMO, dual-band, 700 MHz, 2.3 GHz, high isolation

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan zaman yang pesat khususnya di Indonesia, kebutuhan masyarakat terhadap internet yang meningkat harus diimbangi dengan kecepatan akses data yang dapat memenuhi kebutuhan internet yang semakin hari semakin bertambah. Pengguna internet saat ini menginginkan kecepatan data yang lebih cepat dan layanan yang lebih andal. Berdasarkan hal tersebut lahirlah teknologi *5th Generation* (5G). Dengan 5G, pengguna seharusnya dapat mengunduh film definisi tinggi dalam waktu kurang dari satu detik (tugas yang dapat memakan waktu 10 menit pada 4G LTE). Teknologi ini nantinya juga akan mendorong perkembangan teknologi baru lainnya, seperti kendaraan otonom, *virtual reality*, dan *Internet of Things* (IoT) **(Nordrum & Clark, 2017)**.

Pemerintah Indonesia telah menyiapkan kandidat spektrum frekuensi 700 MHz (lapisan frekuensi rendah), 2,3 GHz (lapisan frekuensi menengah) dan 26 GHz/28 GHz (lapisan frekuensi tinggi) untuk teknologi 5G di Indonesia. Apabila Indonesia telah efektif melakukan ASO (*Analog Switch Off*) dan beralih ke TV Digital pita frekuensi 700 MHz sebanyak 328 MHz hanya akan terpakai 176 MHz dan cadangan 40 MHz (478-694 MHz), sementara 112 MHz (694-806 MHz) sisanya dapat dialokasikan untuk keperluan lain termasuk penerapan jaringan 5G di Indonesia. Kementerian Komunikasi dan Informatika (Kominfo) beberapa waktu lalu membuka lelang penggunaan pita frekuensi 2,3 Ghz pada rentang 2.360 - 2.390 Mhz. Frekuensi tersebut dapat digunakan untuk mendorong adopsi jaringan 5G oleh operator seluler **(Burhan, 2020)**.

Antena yang diimplementasikan pada *smartphone* semakin berkembang dengan mengutamakan bentuknya yang ringkas sehingga lebih efisien dan tidak memakan banyak ruang namun tetap memiliki kehandalan yang tinggi. Desain antena mikrostrip mampu memenuhi kebutuhan hal tersebut. Selain karena bentuknya yang ringkas, antena mikrostrip dapat dioptimasi sesuai dengan kebutuhan pengguna dan juga memiliki biaya pembuatan yang relatif murah. Desain antena mikrostrip yang dapat bekerja pada lebih dari satu pita frekuensi juga lebih dapat menghemat ruang pada *smartphone*. Mendesain antena yang dapat bekerja pada lebih dari satu frekuensi kerja (*dual-band* atau *multi-band*) dan memiliki isolasi antena yang tinggi serta bentuk yang ringkas menjadi salah satu fokus yang akan dikembangkan oleh banyak peneliti saat ini. **(Desai, dkk, 2020) (Gong, dkk, 2019) (Satyanarayana, dkk, 2019) (Yuan, dkk, 2020)**

Penggunaan frekuensi rendah (<1 GHz) akan berakibat pada ukuran antena yang cukup besar, dikarenakan rancangan antena akan digunakan pada *smartphone* yang memiliki ruang yang terbatas maka penggunaan antena *monopole* dengan teknik miniaturisasi berupa melipat (*folding*) atau bisa juga disebut dengan *meander line* antena diharapkan dapat menjadi solusi. *Meander line* antena telah banyak digunakan pada penelitian sebelumnya sebagai solusi untuk meringkas dimensi antena *monopole* $\lambda/4$ konvensional, terutama pada penggunaannya untuk frekuensi rendah. Penggunaan antena *monopole* relatif lebih banyak digunakan selain bentuknya yang sederhana dan dapat dimodifikasi sedemikian rupa sehingga memiliki dimensi yang lebih ringkas, antena ini juga dapat dimodifikasi untuk bekerja secara *dual-band*. **(Alzayed & Shameena, 2016) (Choi, dkk, 2018) (Paga, dkk, 2018)**

Dibutuhkan desain antena yang mampu bekerja secara MIMO (*Multiple Input Multiple Output*). MIMO adalah salah satu teknologi yang menjanjikan untuk teknologi jaringan 5G. Sistem MIMO ini terdiri dari satu atau lebih elemen antena yang dapat bekerja sebagai *transmitter* dan *receiver*, sehingga dapat meningkatkan kapasitas kanal (*channel capacity*) serta kecepatan data (*data rate*) dengan pengiriman dan penerimaan informasi secara paralel dan *multipath*. Selain itu dibutuhkan struktur yang ringkas agar tidak menghabiskan ruang yang besar pada

sirkuit *smartphone*. Namun, jika beberapa antena diletakkan pada posisi yang berdekatan dapat menimbulkan *mutual coupling* yang menurunkan efisiensi dan kualitas parameter antena. **(Chen, dkk, 2018) (Nirmal, dkk, 2017)**

Beberapa metode telah digunakan untuk meningkatkan isolasi antena antara lain dengan menambahkan elemen *decoupling*, *orthogonal polarization* **(Parchin, dkk, 2019)**, *neutralization line* **(Wong, dkk, 2016)**, DGS (*Defected Ground Structure*) **(Ghalib & Sharawi, 2017)**, *electromagnetic band gap (EBG)* **(Ma & Zhao, 2014)**, *multimode decoupling* **(Xu, dkk, 2017)**, *two asymmetrically mirrored gap* **(Wong, dkk, 2017)** dan lain-lain, namun sebagian besar dari metode tersebut dikembangkan hanya untuk sistem dengan dua elemen antena saja, yang mana hal tersebut tidak dapat bekerja dengan baik untuk sistem MIMO dengan memiliki elemen antena lebih banyak dalam satu baris. Selain itu, beberapa metode tersebut menggunakan tambahan elemen isolasi yang menyebabkan efisiensi antena menurun secara signifikan **(Zhao & Ren, 2019)**.

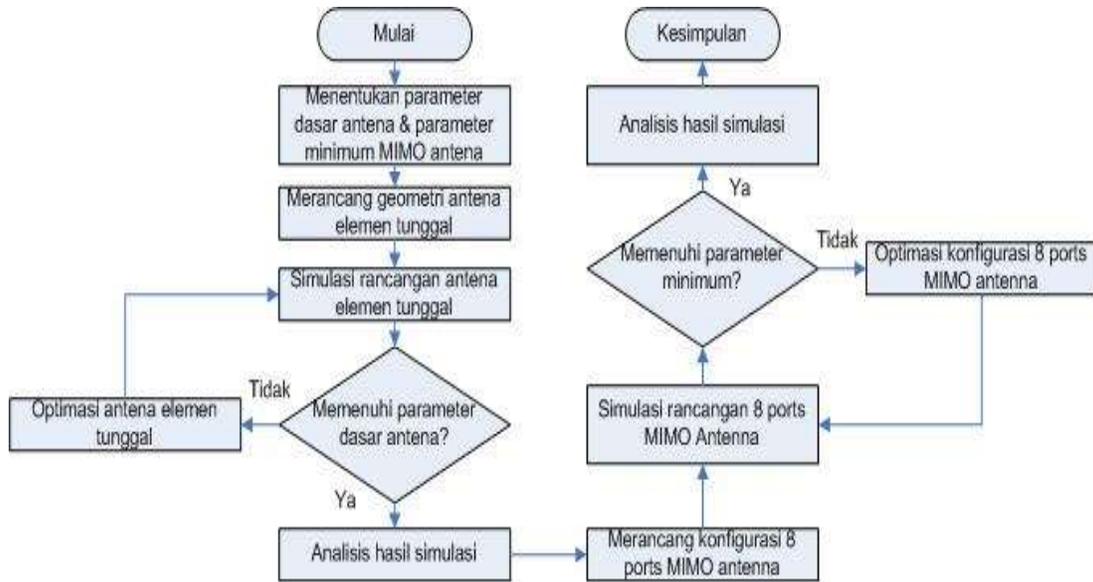
Sedangkan salah satu metode *decoupling* yang lebih konvensional dan tidak adanya tambahan elemen isolasi adalah optimasi jarak dan konfigurasi antar elemen antena. Beberapa penelitian telah dilakukan terkait perancangan model 8 *ports* antena MIMO 5G dengan bentuk geometri *folded monopole* yang dapat bekerja secara *dual-band* dengan rentang frekuensi 3,5 – 6 GHz dan menggunakan optimasi jarak dan konfigurasi antena sebagai *decoupling method*. **(Gong, dkk, 2019) (Satyanarayana, dkk, 2019) (Yuan, dkk, 2020) (Zabetiakmal, dkk, 2019)**

Saat ini masih sedikit penelitian mengenai model antena yang menggabungkan bentuk yang ringkas, dapat beroperasi secara *dual-band* dan juga memiliki isolasi antena yang tinggi terutama yang bekerja pada frekuensi 700 MHz dan 2,3 GHz. Oleh sebab itu, pada penelitian ini diusulkan susunan 8 *ports* MIMO antena mikrostrip *folded monopole meander line* yang dapat bekerja secara *dual-band* pada frekuensi 700 MHz dan 2,3 GHz dengan melakukan optimasi jarak dan konfigurasi antar elemen sebagai *decoupling method* memanfaatkan *spatial diversity*, *angle diversity* dan *polarization diversity* untuk meningkatkan isolasi antena dan meminimalkan efek *mutual coupling* antar elemen antena **(Molisch, 2011)**. Diharapkan antena yang diusulkan ini selain memiliki isolasi antena yang tinggi juga akan memiliki bentuk yang ringkas sehingga tidak menghabiskan ruang yang besar pada sirkuit *smartphone*. Parameter minimum yang harus dipenuhi pada rancangan MIMO antena ini yaitu: $VSWR \leq 2$, $RL < -10$ dB, $ECC < 0,3$, Efisiensi antena $> 50\%$ dan koefisien isolasi antena > -15 dB.

2. PERANCANGAN ANTENA

2.1 Diagram Alir Metode Penelitian

Perancangan *High Isolation Dual-Band* MIMO 5G antena untuk implementasi pada *smartphone* dilakukan berdasarkan studi literatur dan referensi yang diperoleh dari hasil studi pustaka. Hasil rancangan kemudian dilakukan simulasi dan optimasi menggunakan simulator *CST Studio Suite* untuk mengetahui parameter antena. Jika simulasi dan optimasi sudah mendekati parameter yang diharapkan, maka dilanjutkan dengan analisis dan perbandingan hasil dengan antena lain yang memiliki kesamaan. Setelah itu akan diambil kesimpulan. Berikut adalah diagram alir tahapan penelitian:



Gambar 1. Diagram Alir Tahapan Penelitian

2.2 Perancangan Geometri Antena Elemen Tunggal

Antena *monopole* seperempat gelombang banyak digunakan pada telepon seluler dan alat komunikasi nirkabel lainnya karena karakteristiknya dan mudah dibuat. Persamaan untuk menentukan panjang dan lebar elemen peradiasi antena *monopole* adalah sebagai berikut (Paga, dkk, 2018):

$$L = \frac{\lambda_g}{4} \quad (1)$$

$$\lambda_g = \frac{c}{f_r} \quad (2)$$

$$W_f = \frac{7.48 \times h}{3.9484} - 1.25 \times t \quad (3)$$

Dimana,

- c = Kecepatan cahaya di ruang hampa 3×10^8 m/s
- f_r = Frekuensi resonansi
- λ_g = Panjang gelombang datang
- ϵ_r = Permittivitas relatif
- L = Panjang elemen peradiasi antena (mm)
- W_f = Lebar saluran pencatu
- h = ketebalan substrat (mm)
- t = ketebalan tembaga (mm)

Pada perancangan ini parameter dasar antena yang harus dipenuhi antara lain adalah nilai $VSWR \leq 2$ dan $return\ loss < -10$ dB, dan frekuensi kerja antena pada 700 MHz dan 2,3 GHz (*dual-band*) dengan *bandwidth* minimal 30 MHz, sesuai dengan frekuensi kerja komunikasi 5G di Indonesia yang telah ditentukan oleh Kominfo yaitu 2360 – 2390 MHz. FR4-Epoxy dengan $\epsilon_r = 4,3$; *loss tangen* 0,025 serta ketebalan substrat dan tembaga masing-masing 1,6 mm dan 0,035 mm digunakan sebagai substrat dielektrik karena lebih mudah didapat, harganya yang relatif murah, mudah dibentuk sesuai dengan rancangan dan memiliki kinerja yang relatif baik jika digunakan sebagai antena mikrostrip.

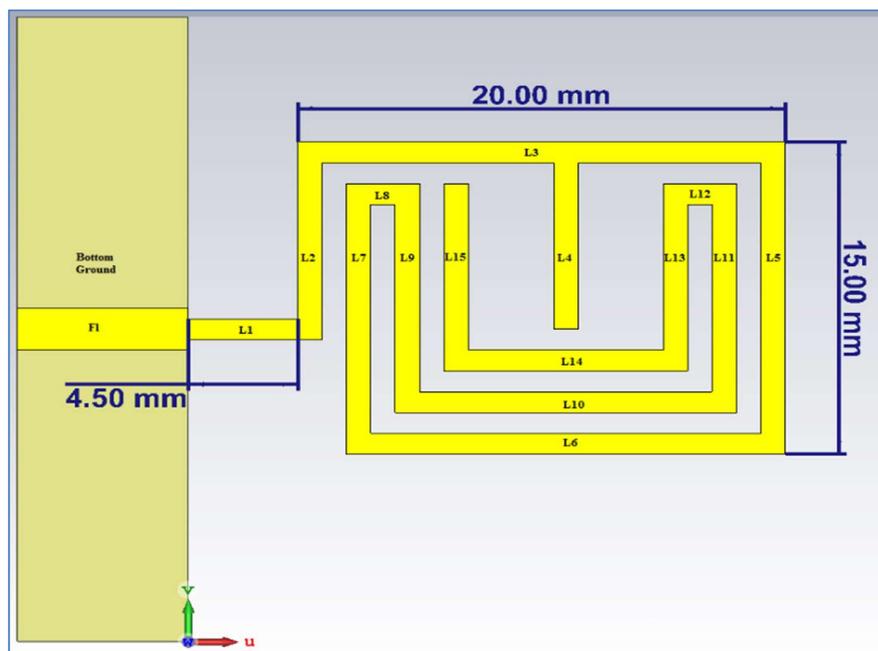
Sesuai persamaan di atas dan jenis substrat yang digunakan dapat dihitung panjang elemen peradiasi antena *monopole* seperempat gelombang untuk frekuensi kerja 700 MHz dan 2,3 GHz dan lebar saluran pencatunya yaitu:

$$L_{700 \text{ MHz}} = \frac{c}{4 \times f_r} = \frac{3 \times 10^8}{4 \times (7 \times 10^5)} = 107,14 \text{ mm} \quad (4)$$

$$L_{2,3 \text{ GHz}} = \frac{c}{4 \times f_r} = \frac{3 \times 10^8}{4 \times (2,3 \times 10^6)} = 32,61 \text{ mm} \quad (5)$$

$$W_f = \frac{7,48 \times h}{3,9484} - 1,25 \times t = \frac{7,48 \times 1,6}{3,9484} - 1,25 \times 0,035 = 2,98 \text{ mm} \quad (6)$$

Umumnya, panjang elemen peradiasi untuk antena *monopole* seperempat gelombang sederhana yang memiliki panjang *ground* ideal $\lambda/4$ membutuhkan panjang konduktor 107 mm untuk menghasilkan resonansi pada 700 MHz sedangkan panjang sekitar 33 mm untuk 2,3 GHz. Sebuah cabang yang ditempatkan pada elemen peradiasi yang lebih panjang sehingga memiliki panjang dari ujung saluran pencatu hingga ujung cabangnya sekitar 33 mm juga dapat menghasilkan resonansi pada 2,3 GHz. Konsep yang sama diadopsi dalam perancangan antena pada penelitian ini, namun pemanfaatan *ground* yang lebih pendek akan mengakibatkan penggunaan elemen peradiasi yang lebih panjang (daripada antena *monopole* seperempat gelombang sederhana) untuk menghasilkan resonansi pada frekuensi rendah yang diinginkan (**Choi, dkk, 2018**), yaitu pada penelitian ini total menjadi 134 mm. Dimensi antena tersebut relatif besar untuk ruang pada *smartphone* yang terbatas. Oleh sebab itu akan dilakukan miniaturisasi untuk memperkecil dimensi antena sehingga lebih ringkas agar dapat diimplementasikan pada *smartphone* yaitu dengan melipat elemen antena (*folded monopole*) dengan metode *meander line*. Berikut adalah ilustrasi bentuk geometri rancangan elemen antena tunggal sesuai perhitungan di atas:



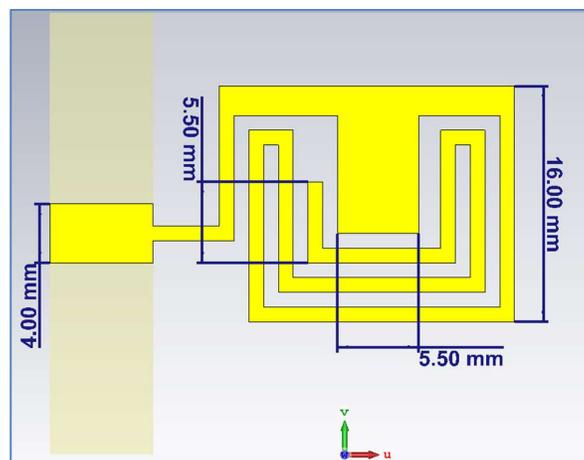
Gambar 2. Geometri Elemen Antena Tunggal Sesuai Perhitungan

Dimensi antenna elemen tunggal tersebut secara keseluruhan adalah $31,5 \times 15$ mm. Berikut adalah detail dimensi antenna sesuai dengan Gambar 2:

Tabel 1. Dimensi Elemen Antena Sesuai Perhitungan

Nama	Dimensi (mm)	Nama	Dimensi (mm)	Nama	Dimensi (mm)
FI	5	L8	3	Lebar elemen	1
L1	4.5	L9	11	Lebar FI	3
L2	9.5	L10	14	Lebar Substrat	28
L3	20	L11	9	Panjang Substrat	30
L4	8	L12	3	Tebal Substrat	1,6
L5	15	L13	8	Tebal Tembaga	0,035
L6	18	L14	10	Lebar <i>Ground</i>	5
L7	13	L15	9	Panjang <i>Ground</i>	28

Rancangan antenna elemen tunggal di atas kemudian akan disimulasikan dan kemudian dilakukan analisis pada S-Parameter dan VSWR lalu dilakukan optimasi agar memenuhi parameter dasar antenna yang telah ditentukan dan memiliki kinerja yang optimal. Optimasi dilakukan dengan iterasi perubahan dimensi elemen peradiasi antenna dengan mempertimbangkan distribusi arus listrik dan medan elektrik disepanjang elemen peradiasi. Gambar 3 adalah ilustrasi bentuk geometri rancangan elemen antenna tunggal hasil optimasi:



Gambar 3. Geometri Elemen Antena Tunggal Hasil Optimasi

Beberapa perubahan dimensi yang dilakukan pada antenna elemen tunggal jika dibandingkan dengan antenna elemen tunggal sesuai perhitungan berdasarkan proses iterasi beberapa bagian elemen peradiasi yaitu sebagai berikut:

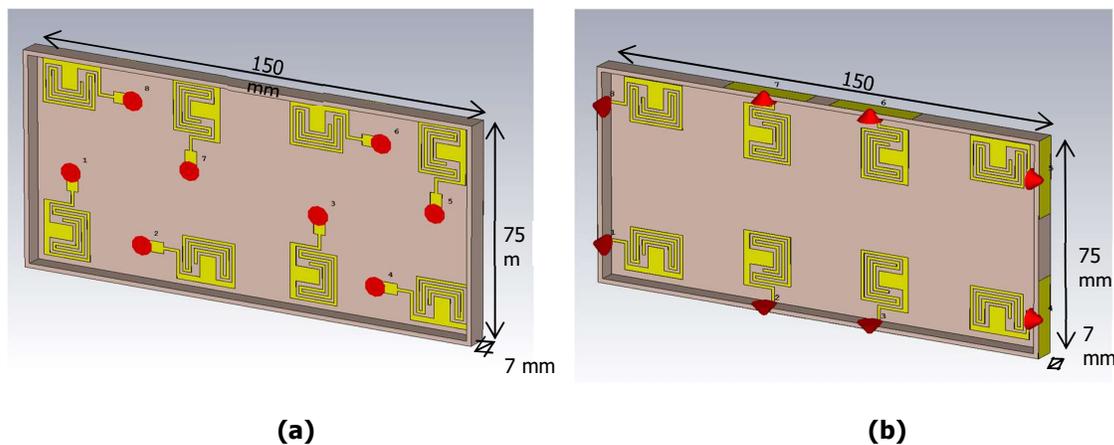
- Lebar elemen peradiasi L3 semula 1 mm diubah menjadi 2 mm
- Lebar elemen peradiasi L4 semula 1 mm diubah menjadi 5,5 mm
- Panjang elemen peradiasi L15 semula 9 mm diubah menjadi 5,5 mm
- Lebar *Feedline* (FI) semula 3 mm diubah menjadi 4 mm

Dengan adanya beberapa perubahan tersebut dimensi antenna elemen tunggal hasil optimasi secara keseluruhan menjadi $31,5 \times 16$ mm.

2.3 Perancangan Konfigurasi 8 *Ports* MIMO Antena

Antena elemen tunggal hasil optimasi kemudian diimplementasikan pada perancangan konfigurasi 8 *ports* MIMO antenna pada papan sirkuit (PCB) *smartphone* dengan dimensi 150

mm x 75 mm x 1.6 mm dan tinggi bingkai tepi 7 mm di mana merupakan dimensi standar untuk *smartphone* 5,5 inch pada umumnya. Substrat dielektrik untuk papan sirkuit utama dan bingkai tepi adalah FR-4 Epoxy. Rancangan konfigurasi MIMO antena menggunakan metode optimasi jarak dan konfigurasi antar elemen sebagai *decoupling method* dan tidak ada tambahan elemen *decoupling*. Optimasi dilakukan dengan menitikberatkan pada pemanfaatan *spatial diversity*, *angle diversity* dan *polarization diversity* untuk meningkatkan isolasi antena dan meminimalkan efek *mutual coupling* antar elemen antena yang berdekatan, yaitu mengatur jarak antar elemen antena. Selain itu juga dapat dioptimasi dengan cara mengubah posisi elemen antena, yaitu dengan merotasi elemen antena sejauh kelipatan 90° dan/atau mencerminkannya secara horizontal atau vertikal dengan mempertimbangkan polarisasi dan pola radiasi dari masing-masing elemen antena sehingga tidak saling menginterferensi dan menurunkan isolasi dan efisiensi antena. Berikut konfigurasi 8 *ports* antena MIMO yang akan diuji:



Gambar 4. Konfigurasi 8 Ports MIMO Antena (a) Konfigurasi 1 (b) Konfigurasi 2

Jarak antara elemen antena yang saling berdekatan pada konfigurasi 1 adalah:

Tabel 2. Jarak Antara Elemen Antena Yang Saling Berdekatan Konfigurasi 1

Elemen Antena	Jarak (mm)	Elemen Antena	Jarak (mm)
1-2	25	5-6	25
2-3	24	6-7	24
3-4	25	7-8	25
4-5	35	1-8	35
3-6	35	2-7	35

Jarak antara elemen antena yang saling berdekatan pada konfigurasi 2 adalah:

Tabel 3. Jarak Antara Elemen Antena Yang Saling Berdekatan Konfigurasi 2

Elemen Antena	Jarak (mm)	Elemen Antena	Jarak (mm)
1-2	21	5-6	21
2-3	24	6-7	24
3-4	21	7-8	21
4-5	38	1-8	38
3-6	26	2-7	26

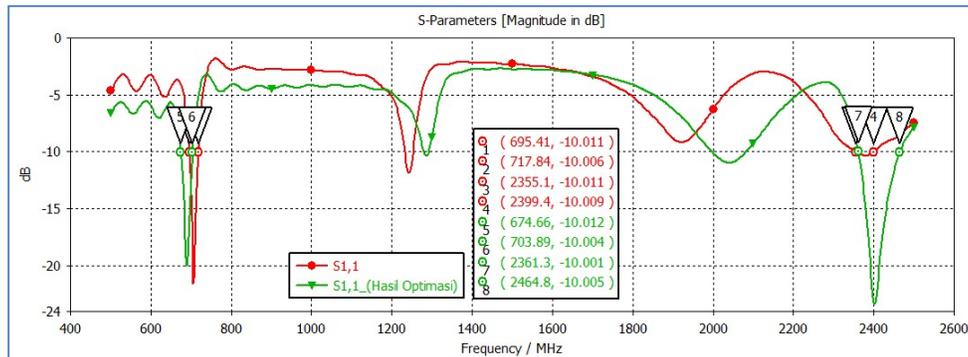
Perbedaan kedua konfigurasi di atas adalah pada konfigurasi 1 seluruh elemen antena ditempatkan pada sisi bagian atas papan sirkuit dan *port* dihubungkan dengan *ground* melalui lubang *via* pada substrat, dengan konfigurasi ini diharapkan elemen antena dapat dirotasi

maupun dicerminkan sebagai optimasi dalam meningkatkan isolasi antar elemen antenna dengan mempertimbangkan pola radiasi masing-masing elemen antenna. Sedangkan pada konfigurasi 2, elemen antenna diletakkan lebih ke tepi dan saluran pencatu diletakkan pada sisi bagian dalam dari bingkai, dengan begitu diharapkan jarak antar antenna dapat dioptimalkan. Kedua konfigurasi kemudian disimulasikan untuk melihat konfigurasi mana yang memenuhi parameter yang telah ditentukan dan memiliki kinerja lebih optimal.

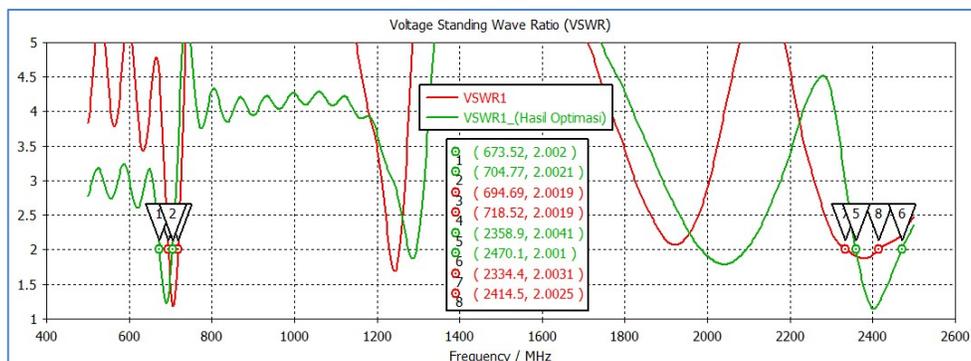
3. HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

3.1 Hasil Simulasi dan Analisis Antena Elemen Tunggal

Rancangan antenna elemen tunggal dengan bentuk geometri *folded monopole meander line* harus memenuhi parameter dasar antenna antara lain adalah nilai $VSWR \leq 2$ dan $return\ loss < -10\ dB$, dan frekuensi kerja antenna pada 700 MHz dan 2,3 GHz (*dual-band*) dengan *bandwidth* minimal 30 MHz, sesuai dengan frekuensi kerja komunikasi 5G di Indonesia yang telah ditentukan oleh Kominfo yaitu 2360 – 2390 MHz. Berikut adalah perbandingan S-Parameter dan VSWR dari antenna elemen tunggal hasil perhitungan dibandingkan dengan setelah dilakukan optimasi:



(a)



(b)

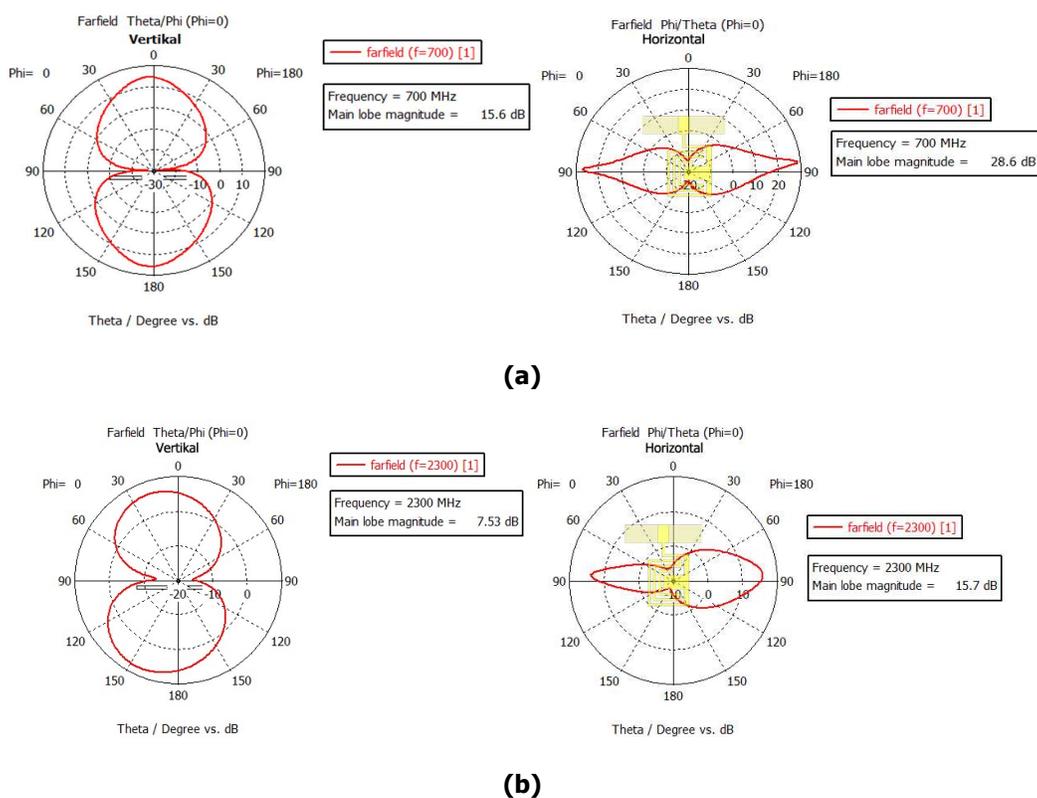
Gambar 5. Perbandingan Parameter Antena Elemen Tunggal Hasil Perhitungan dan Hasil Optimasi (a) Grafik S-Parameter (b) Grafik VSWR

Sesuai analisis pada kedua Gambar 5 dapat dilihat bahwa antenna hasil optimasi dapat bekerja secara *dual-band* dan telah memenuhi parameter dasar yang telah ditentukan serta memiliki kinerja yang lebih optimal.

Berikut rincian parameter antena sesuai Gambar 5 :

Tabel 4. Perbandingan Parameter Antena Hasil Perhitungan dan Hasil Optimasi

Parameter	Parameter Dasar	Antena Hasil Perhitungan	Antena Hasil Optimasi
Frekuensi Kerja (<i>Low Band</i>)	670 - 700 MHz	695 – 718 MHz	674 – 705 MHz
Frekuensi Kerja (<i>High Band</i>)	2360 -2390 MHz	2355 – 2399 MHz	2359 – 2470 MHz
<i>Bandwidth (Low Band)</i>	30 MHz	23 MHz	31 MHz
<i>Bandwidth (High Band)</i>	30 MHz	44 MHz	111 MHz
<i>Return Loss (Low Band)</i>	-10 dB	-21,541 dB pada 706 MHz	-20,014 dB pada 690 MHz
<i>Return Loss (High Band)</i>	-10 dB	-10,349 dB pada 2378 MHz	-23,367 dB pada 2402 MHz
<i>VSWR (Low Band)</i>	≤ 2	1,18 pada 706 MHz	1,221 pada 690 MHz
<i>VSWR (High Band)</i>	≤ 2	1,87 pada 2378 MHz	1,146 pada 2402 MHz

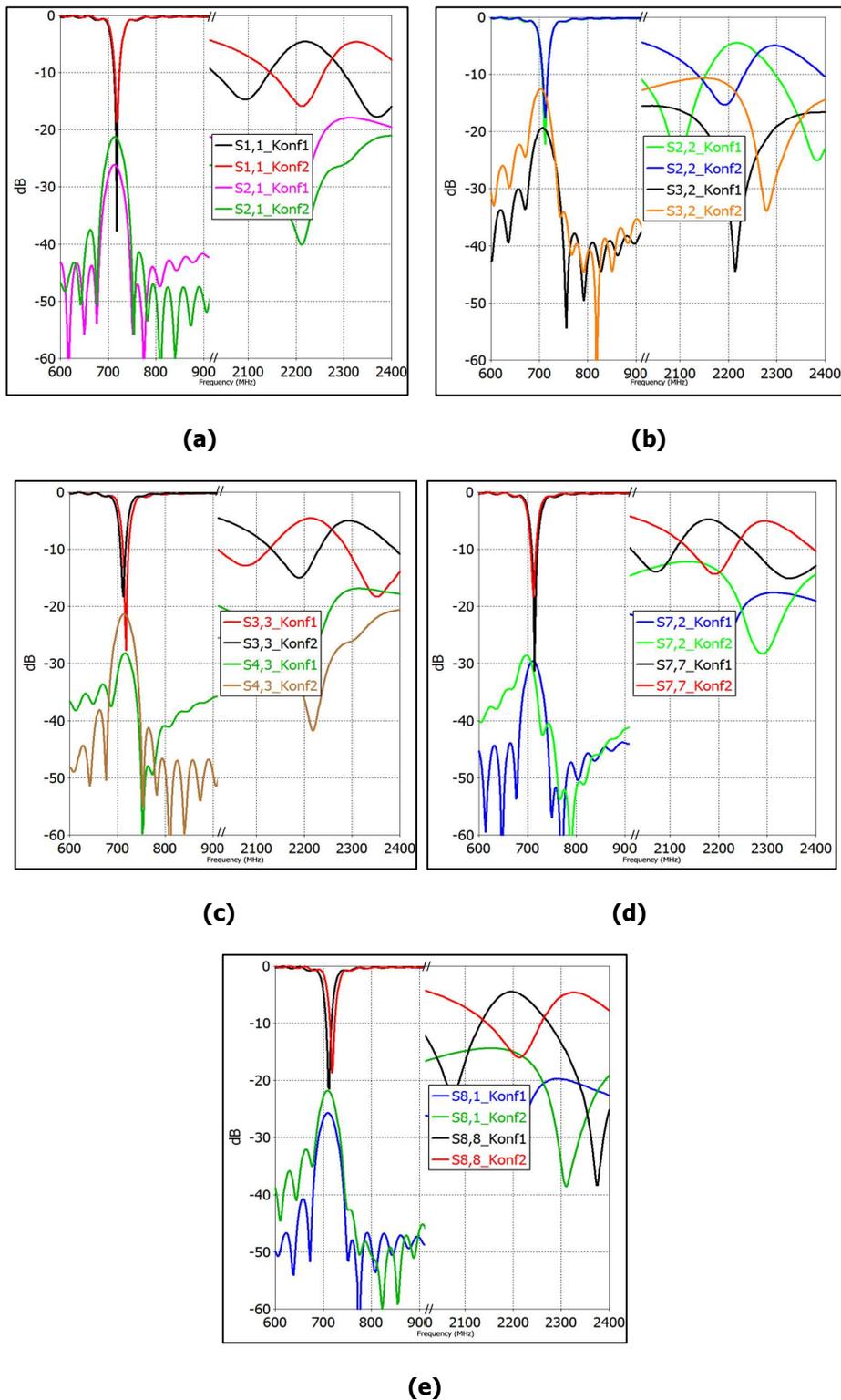


Gambar 7. Pola Radiasi dan *Gain* Antena (a) Frekuensi 700 MHz (b) Frekuensi 2,3 GHz

Sesuai dengan Gambar 7, rancangan antena elemen tunggal memiliki pola radiasi *omnidirectional* dan polarisasi linear.

3.2 Hasil Simulasi dan Analisis Konfigurasi 8 *Ports* MIMO Antena

Parameter yang diamati yaitu S-Parameter, ECC, Efisiensi dan isolasi untuk elemen antena yang berdekatan yaitu antara antena 1 dan antena 2 (S_{21}), antena 2 dan antena 3 (S_{32}), antena 3 dan antena 4 (S_{43}), antena 2 dan antena 7 (S_{72}), serta antena 1 dan antena 8 (S_{81}). Berikut adalah grafik perbandingan S-Parameter Konfigurasi 1 dan Konfigurasi 2 MIMO Antena:



Gambar 8. Perbandingan S-Parameter Konfigurasi 1 Dan Konfigurasi 2 MIMO Antena
(a) Isolasi Antena 1-2 (b) Isolasi Antena 2-3 (c) Isolasi Antena 3-4
(d) Isolasi Antena 2-7 (e) Isolasi Antena 1-8

S-Parameter di atas menggambarkan baik *Return Loss* (RL) maupun isolasi antena dari kedua konfigurasi MIMO antena. RL antena 1 – antena 8 seluruhnya memenuhi parameter minimum yaitu $RL < -10$ dB pada kedua frekuensi kerja 700 MHz dan 2,3 GHz walaupun terdapat sedikit pergeseran frekuensi akibat interaksi antara antena yang saling berdekatan. Tabel 5 adalah tabel perbandingan isolasi antena pada kedua konfigurasi sesuai yang digambarkan pada grafik S-Parameter di atas:

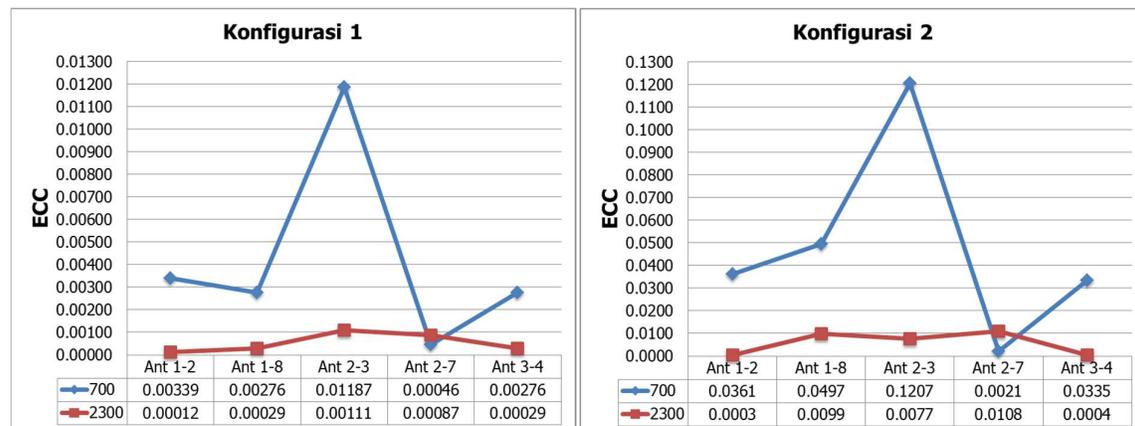
Tabel 5. Perbandingan Nilai Isolasi Antena Konfigurasi 1 dan Konfigurasi 2

Elemen Antena	Kurva	Isolasi Antena (dB)			
		Konfigurasi 1		Konfigurasi 2	
		700 MHz	2,3 GHz	700 MHz	2,3 GHz
Antena 1 dan Antena 2	(S_{21})	-26,13	-18,28	-21,26	-21,04
Antena 2 dan Antena 3	(S_{32})	-25,68	-20,25	-21,88	-18,97
Antena 3 dan Antena 4	(S_{43})	-20,64	-16,94	-13,63	-14,29
Antena 1 dan Antena 8	(S_{81})	-30,42	-18,15	-31,37	-14,26
Antena 2 dan Antena 7	(S_{72})	-28,70	-17,10	-21,38	-20,69

Isolasi antena pada konfigurasi 1 cukup tinggi, di mana seluruhnya bernilai di bawah – 15 dB. Sedangkan pada konfigurasi 2, terdapat isolasi antena dengan nilai di atas – 15 dB, yaitu pada S_{32} yaitu -13,63 dB dan -14,26 dB pada frekuensi 700 MHz dan 2,3 GHz secara berurutan. Hal tersebut karena kedua elemen antena tersebut diposisikan memiliki arah yang sama dan jaraknya sangat dekat (24 mm) sehingga pola radiasi kedua elemen antena saling berinterferensi.

Secara umum isolasi antena pada konfigurasi 1 lebih tinggi dibandingkan pada konfigurasi 2 dikarenakan untuk meningkatkan isolasi antena, selain dapat mengatur jarak antar elemen antena (*spatial diversity*), optimasi juga dapat dilakukan dengan merotasi dan mencerminkan elemen antena dengan mempertimbangkan arah polarisasi dan pola radiasi antena yang berdekatan sehingga tidak berinterferensi (*angle diversity* dan *polarization diversity*).

Envelope Correlation Coefficient (ECC) menunjukkan seberapa independen pola radiasi dua antena. ECC disimulasikan di antara dua elemen antena yang saling berdekatan yaitu antara antena 1 dan antena 2 (S_{21}), antena 1 dan antena 8 (S_{81}), antena 2 dan antena 7 (S_{72}), antena 2 dan antena 3 (S_{32}), serta antena 3 dan antena 4 (S_{43}). Gambar 9 adalah hasil simulasi ECC pada kedua konfigurasi:



(a)

(b)

Gambar 9. ECC (a) Konfigurasi 1 (b) Konfigurasi 2

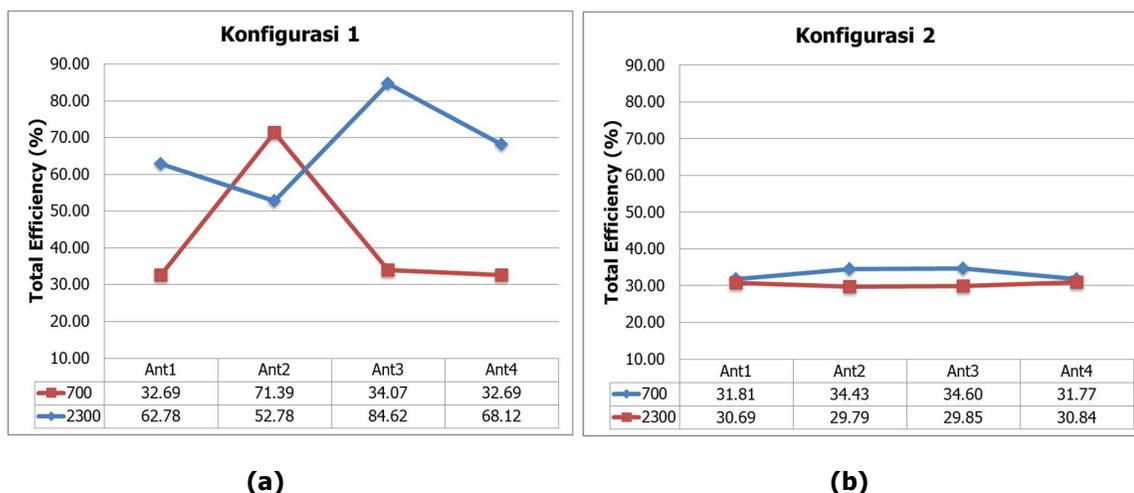
Sesuai Gambar 9, ECC bernilai cukup baik pada konfigurasi 1 dan konfigurasi 2 untuk kedua frekuensi kerja memiliki nilai di bawah 0,1 atau berada di bawah nilai minimum yang dapat diterima yaitu 0,3. Hanya pada antenna 2 – antenna 3 pada konfigurasi 2 untuk frekuensi kerja 700 MHz nilai ECC di atas 0,1, hal tersebut dikarenakan pola radiasi horizontal (Gambar 7.(a)) antar antenna pada arah tersebut saling berinterferensi.

Tabel 6. Perbandingan ECC Konfigurasi 1 dan Konfigurasi 2

Elemen Antena	ECC			
	Konfigurasi 1		Konfigurasi 2	
	700 MHz	2,3 GHz	700 MHz	2,3 GHz
Antena 1 dan Antena 2	0,0033	0,0001	0,0361	0,0003
Antena 1 dan Antena 8	0,0027	0,0003	0,0497	0,0099
Antena 2 dan Antena 3	0,0119	0,0001	0,1207	0,0077
Antena 2 dan Antena 7	0,0004	0,0009	0,0021	0,0108
Antena 3 dan Antena 4	0,0027	0,0003	0,0335	0,0004

Kedua konfigurasi memiliki nilai ECC yang baik, namun secara umum ECC pada konfigurasi 1 lebih baik dibandingkan pada konfigurasi 2, karena semakin nilai ECC mendekati nol maka dapat dikatakan pola radiasi elemen antena semakin independen dan tidak saling menginterferensi. Hal tersebut dikarenakan pada konfigurasi 1 optimasi dengan merotasi dan mencerminkan elemen antena menyebabkan pola radiasi antena yang berdekatan tidak saling menginterferensi (*angle diversity*).

Simulasi terhadap *total efficiency* (%) dilakukan hanya pada elemen antena yang berada pada posisi sejajar (antena 1 sampai dengan antenna 4), dikarenakan nilai efisiensi antena yang berada pada sisi yang berseberangan memiliki nilai yang relatif sama. Gambar 10 adalah hasil simulasi *total efficiency* (%) pada kedua konfigurasi:



Gambar 10. Total Efficiency (%) (a) Konfigurasi 1 (b) Konfigurasi 2;

Sesuai Gambar 10 dapat diamati bahwa konfigurasi 1 memiliki efisiensi antena bervariasi mulai 33% hingga 71% pada *Low Band* (LB) dan 53% hingga 85% pada *High Band* (HB). Sedangkan efisiensi antena pada konfigurasi 2 untuk kedua frekuensi kerja bernilai di bawah 50% atau di bawah parameter minimum yang ditentukan.

Tabel 7. Perbandingan ECC Konfigurasi 1 dan Konfigurasi 2

Elemen Antena	Efisiensi Antena (%)			
	Konfigurasi 1		Konfigurasi 2	
	700 MHz	2,3 GHz	700 MHz	2,3 GHz
Antena 1	32,69	62,78	31,81	30,69
Antena 2	71,39	52,78	34,43	29,79
Antena 3	34,07	84,62	34,60	29,85
Antena 4	32,69	68,11	31,77	30,84

Secara umum efisiensi antena pada konfigurasi 1 lebih tinggi dibandingkan pada konfigurasi 2. Konfigurasi 2 memiliki efisiensi antena yang relatif rendah dikarenakan pengaruh *mutual coupling* dengan antena yang berdekatan yang memiliki polarisasi sama dan pola radiasi yang saling berinterferensi. Selain itu, dikarenakan rancangan elemen antena yang diusulkan sensitif terhadap perubahan bentuk dan dimensi elemen antena, maka perubahan bentuk antena di mana posisi penempatan *ground* dan saluran pencatu yang tegak lurus dengan elemen peradiasi mengakibatkan pergeseran puncak frekuensi kerja dari yang diinginkan (700 MHz dan 2,3 GHz) sehingga pada frekuensi tersebut efisiensi antena kurang baik. perubahan bentuk tersebut juga meningkatkan koefisien refleksi antena yang juga menurunkan efisiensi antena.

Rancangan konfigurasi MIMO antena konfigurasi 1 yang memiliki isolasi antena yang relatif tinggi dan efisiensi antena yang cukup baik jika dibandingkan dengan MIMO antena referensi penelitian sebelumnya. Tabel 8 adalah tabel perbandingan dengan MIMO antena referensi:

Tabel 8. Perbandingan MIMO Antena Usulan Dengan MIMO Antena Referensi

Referensi	Dimensi (mm x mm)	Frekuensi Kerja	Isolasi (dB)	ECC	Efisiensi (%)
(Yuan, dkk, 2020)	6,9 x 6,6	3,5 GHz 5 GHz	>14,5	<0,2	LB: 42 HB: 50
(Gong, dkk, 2019)	21,6 x 6,0 19,6 x 5,2	3,5 GHz 5 GHz	>11	<0,17	LB: 60-70 HB: 52-60
(Satyanarayana, dkk, 2019)	12,5 x 6,0	3,5 GHz 4,9 GHz	>13-22	<0,1	LB: 76 HB: 49
(Zabetiakmal, dkk, 2019)	26,0 x 8	3,5 GHz 5,5 GHz	>15	<0,1	LB: 60 HB: 80
Antena Usulan	31,5 x 16,0	700 MHz 2,3 GHz	>17-30	<0,01	LB: 33-71 HB: 53-85

4. KESIMPULAN

Rancangan elemen antena dan konfigurasi antena yang diusulkan dapat dijadikan kandidat untuk diimplementasikan pada *smartphone* 5G khususnya di Indonesia. Rancangan antena elemen tunggal dengan bentuk geometri *folded monopole meander line* dengan dimensi 31,5 x 16 mm dapat bekerja secara *dual-band* yaitu pada frekuensi 700 MHz dan 2,3 GHz. Antena tersebut memenuhi parameter dasar yang telah ditentukan yaitu *return loss* < 10 dB, VSWR < 2, dan *bandwidth* > 30 MHz.

Rancangan antena tersebut kemudian diimplementasikan dalam dua konfigurasi 8 *ports* MIMO antena. Hasil simulasi menunjukkan konfigurasi 1 memiliki isolasi tinggi dan kinerja lebih optimal dibandingkan dengan konfigurasi 2, di mana *return loss* < -10 dB pada kedua frekuensi kerja, isolasi tinggi (*high isolation*) yaitu >20,64 dB dan >16,94 dB pada frekuensi 700 MHz dan 2,3 GHz secara berurutan tanpa adanya tambahan elemen *decoupling*, ECC < 0,1 dan efisiensi antena mencapai 71,4% dan 84,6% pada frekuensi 700 MHz dan 2,3 GHz secara berurutan.

Merotasi dan mencerminkan elemen antena dengan memperhatikan pola radiasi dan polarisasi antena (*angle diversity* dan *polarization diversity*) lebih efektif meningkatkan isolasi antena dan menurunkan efek *mutual coupling* antara elemen antena yang berdekatan dibandingkan dengan hanya mengatur atau memperlebar jarak antar elemen antena (*spatial diversity*), terutama pada sirkuit *smartphone* yang terbatas.

DAFTAR RUJUKAN

- Al-zayed, A. S., & Shameena, V. A. (2016). Planar Dual-Band Monopole Antenna with an Extended Ground Plane for WLAN Applications. *Hindawi Publishing Corporation International Journal of Antennas and Propagation*, 2016, 10.
- Burhan, F. A. (2020). Menteri Kominfo Ungkap Progres Pengembangan 5G di Indonesia. https://www.kominfo.go.id/content/detail/31384/menteri-kominfo-ungkap-progres-pengembangan-5g-di-indonesia/0/sorotan_media
- Chen, X., Zhang, S., & Li, Q. (2018). A Review of Mutual Coupling in MIMO Systems. *IEEE Access*, 6(June), 24706–24719. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2830653>
- Choi, S., Sheikh, F. A., Choi, I., & Kim, H. D. (2018). Small-Size Modified Meander Line Antenna for Dual-Band (433 . 92MHz and 2 . 45GHz) Operation. *Proceedings of 2018 IEEE International RF and Microwave Conference*, (pp.135–138).
- Desai, A., Patel, R., Upadhyaya, T., Kaushal, H., & Dhasarathan, V. (2020). Multiband inverted E and U shaped compact antenna for Digital broadcasting, wireless, and sub 6 GHz 5G applications. *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, 123, 153296. <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2020.153296>
- Ghalib, A., & Sharawi, M. S. (2017). TCM Analysis of Defected Ground Structures for MIMO Antenna Designs in Mobile Terminals. *IEEE Access*, 5, 19680–19692.
- Gong, X. Q., Ban, Y. L., Wang, X. Y., & Zheng, J. W. (2019). Dual-band eight-element antenna array for 5G smartphone applications. *2019 International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium-China, ACES 2019*, 5, 5–6.
- Ma, N., & Zhao, H. (2014). Reduction of the mutual coupling between aperture coupled microstrip patch antennas using EBG structure. *2014 IEEE International Wireless Symposium, IWS 2014*, 4–7. <https://doi.org/10.1109/IEEE-IWS.2014.6864201>
- Molisch, A. F. (2011). Wireless Communications: Second Edition. In *IEEE Wireless Communications* (Vol. 19, Nomor 1). Wiley, IEEE.
- Nirmal, P., Nandgaonka, A. B., & Nalbalwa, S. L. (2017). A MIMO antenna : Study on reducing mutual coupling and improving isolation. *2016 IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information and Communication Technology, RTEICT 2016*, (pp.

- 1736–1740).
- Nordrum, A., & Clark, K. (2017). *Everything You Need to Know About 5G*. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. <https://spectrum.ieee.org/video/telecom/wireless/everything-you-need-to-know-about-5g>
- Paga, P., Nagaraj, H. C., & Rukmini, T. S. (2018). Design and analysis of a Dual band Monopole Antenna for resonating between Wi - Fi & Wi - Max Applications. *Research India Publications, 13*(16), 12570–12581.
- Parchin, N. O., Al-Yasir, Y. I. A., Noras, J. M., & Abd-Alhameed, R. A. (2019). Dual-Polarized MIMO Antenna Array Design Using Miniaturized Self-Complementary Structures for 5G Smartphone Applications. *13th European Conference on Antennas and Propagation, EuCAP 2019, EuCAP*, (pp. 11–14).
- Satyanarayana, B., Srivastava, S. K., & Meshram, M. K. (2019). Eight-element dual-band MIMO antenna system for Sub-6 GHz 5G smartphone applications. *2019 IEEE Indian Conference on Antennas and Propagation, InCAP 2019, 1*, (pp. 4–7).
- Wong, K.-L., Lu, J. Y., Chen, L.-Y., Li, W. Y., & Ban, Y. (2016). 8-Antenna And 16-Antenna Arrays Using The Quad-Antenna Linear Array As A Building Block For The 3.5-GHz LTE MIMO Operation In The Smartphone. *Microwave and Optical Technology Letters, 55*(11), 2562–2568. <https://doi.org/10.1002/mop>
- Wong, K. L., Tsai, C. Y., & Lu, J. Y. (2017). Two Asymmetrically Mirrored Gap-Coupled Loop Antennas as a Compact Building Block for Eight-Antenna MIMO Array in the Future Smartphone. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 65*(4), 1765–1778.
- Xu, H., Zhou, H., Gao, S., Wang, H., & Cheng, Y. (2017). Multimode Decoupling Technique with Independent Tuning Characteristic for Mobile Terminals. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 65*(12), 6739–6751.
- Yuan, X. T., Chen, Z., Li, J., & Yuan, T. (2020). A Compact Dual-Band and High-Isolation MIMO Antenna System for 5G Smartphone Applications. *2020 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Advanced Materials and Processes for RF and THz Applications, IMWS-AMP 2020*, (pp. 58–60).
- Zabetiakmal, M., Moradi, G., Sohrabi, M., Jamshidi, K., & Plettemeir, D. (2019). Design side-edge frame dual-band 8 × 8 MIMO antenna array for 5G mobile phone. *IEEE 5G World Forum, 5GWF 2019*, (pp. 496–501).
- Zhao, A., & Ren, Z. (2019). Size Reduction of Self-Isolated MIMO Antenna System for 5G Mobile Phone Applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 18*(1), 152–156. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2018.2883428>