

Perancangan Dan Simulasi Antena *Massive MIMO Patch Ellipse 3,5 Ghz* Untuk Komunikasi 5g

1st Raymondus Kevin
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
raymondusk@gmail.com

2nd Rina Pudji Astuti
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
rinapudjiastuti@telkomuniversity.ac.id

3rd Levy Olivia Nur
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
levyolivia@telkomuniversity.ac.id

Abstrak— Teknologi 5G adalah generasi seluler terbaru yang menawarkan efisiensi dan kapasitas data yang lebih besar, *bandwidth* yang lebih tinggi dan transfer data yang lebih cepat, serta konsumsi daya yang lebih rendah daripada sebelumnya. Salah satu fitur utamanya adalah sistem antena *Massive MIMO*, yang menggunakan banyak antena untuk mempercepat transfer data dan memperluas kapasitas. Proyek ini berfokus pada perancangan antena *Massive MIMO* 64 elemen yang beroperasi pada frekuensi 3,5 GHz, dengan spesifikasi yang didasarkan pada persyaratan untuk komunikasi 5G (*bandwidth* minimum 10 MHz, *gain* minimum 5 dBi, nilai *return loss* -10 dB, dan nilai *VSWR* kurang dari 2). Hasil simulasi desain antena *Massive MIMO* menunjukkan penguatan 13,60 dBi, polarisasi *directional*, dan *bandwidth* 102.859 MHz, dengan nilai *Mutual Coupling* tertinggi dan terendah masing-masing -20,035 dB dan -68,175 dB. Antena ini dapat digunakan sebagai referensi untuk layanan 5G *enhanced Mobile Broadband* (eMBB).

Kata kunci— Antena *Microstrip Patch Ellipse*, 64 elemen *Massive MIMO*, 5G

I. PENDAHULUAN

Teknologi komunikasi nirkabel saat ini berkembang pesat, hal ini menyebabkan penggunaan smartphone semakin meningkat dan tentunya membutuhkan sistem komunikasi yang lebih berkualitas, berkapasitas besar, efisien, dan lebih cepat dibanding sebelumnya, agar setiap data yang dikirim dapat diterima dengan baik oleh penerima[1]. Salah satu teknologi yang dapat mengatasi permasalahan tersebut adalah 5G. 5G hadir untuk memecahkan permasalahan tersebut dengan cara menawarkan efisiensi dan kapasitas data yang ditingkatkan, dan memiliki *bandwidth* yang tinggi dengan kecepatan transfer data hingga 1 Gbps dengan daya konsumsi yang lebih rendah, kecepatan data yang sangat besar tentunya didukung oleh kapasitas yang besar dan jaringan yang luas.

Salah satu solusi yang paling menjanjikan untuk permasalahan di atas adalah teknologi antena *Massive MIMO* pada 5G. *Massive MIMO* (*Multiple Input Multiple Output*) adalah perkembangan dari sistem MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) yang merupakan sistem antena yang memiliki banyak jumlah antena penerima maupun pengirim, hal ini memungkinkan data dapat melewati banyak jalur sinyal pada waktu yang bersamaan. Pada umumnya MIMO, memiliki jumlah antena sebanyak 4 elemen (2 x 2) ataupun 8 elemen (4 x 4)[2], sedangkan pada *Massive MIMO* pada

umumnya berjumlah 64 elemen antena atau lebih[3]. Semakin banyak jumlah antena akan membuat jaringan dapat mengendalikan lalu lintas data yang semakin banyak, sehingga dapat menghasilkan transfer data yang lebih cepat dan lebih efisien[4]. Frekuensi 5G terbagi menjadi 2 rentang frekuensi. Rentang frekuensi yang pertama dari 450 MHz hingga 6 GHz, rentang frekuensi yang kedua 24,25 GHz hingga 52,6 GHz dengan menggunakan jenis gelombang sinyal *mmWave* (*millimeter wave*)[5]. *Bandwidth* yang diperlukan untuk frekuensi 5G setidaknya 10 MHz hingga 400 MHz[6].

Tugas Akhir ini akan berfokus pada perancangan antena *Massive MIMO* yang beroperasi pada frekuensi 3,5 GHz dengan parameter yang sesuai dengan kriteria antena 5G, jenis antena yang digunakan adalah jenis *microstrip* dengan bentuk *patch ellipse* sebanyak 64 elemen antena. Pemilihan bentuk *patch ellipse* karena bentuk *patch* tersebut memiliki efisiensi antena yang lebih baik dibandingkan jenis lainnya, hal ini diketahui berdasarkan penelitian terdahulu[7]. Antena *Massive MIMO* ini nantinya akan dianalisis dengan seluruh hasil simulasi yang dilakukan dimulai dari antena *microstrip ellipse* yang belum diterapkan teknologi *Massive MIMO*, agar dapat diketahui perbandingan yang signifikan diantara antena *microstrip single element* hingga antena *microstrip* dengan teknologi *Massive MIMO* sebanyak 64 elemen.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Teknologi 5G (*Fifth Generation*)

5G merupakan perkembangan teknologi seluler dari teknologi sebelumnya yaitu 4G. Pada saat ini 5G sudah diterapkan di berbagai negara. Indonesia sudah menyiapkan beberapa hal yang menunjang agar 5G dapat di realisasikan. Frekuensi *mid-band* yang telah disepakati oleh dunia untuk komunikasi 5G adalah pada frekuensi kerja 3,5 GHz. Sedangkan di Indonesia, Asosiasi Industri Perangkat Telekomunikasi Indonesia (AIPTI) mengatakan untuk permulaan akan diterapkan di frekuensi 2,3 GHz dan sekitar 3,5 GHz[8]. Kemudian dilanjutkan pada pita frekuensi atas yaitu 6 GHz keatas. Frekuensi 5G secara global dibagi menjadi beberapa kelas band frekuensi, pada Tugas Akhir ini band frekuensi yang dipakai adalah N78 dengan rentang frekuensi kerja diantara 3,3 GHz hingga 3,8 GHz, minimum *bandwidth* kanal pada N78 adalah 10 MHz dengan jenis *Duplex Mode* adalah *Time Division Duplex* (TDD)[9]. 5G dirancang untuk

menyediakan jenis layanan baru, yaitu : *enhanced Mobile Broadband* (eMBB), *Ultra-Reliable and Low Latency Communications* (URLLC), dan *Massive Machine-Type Communications* (mMTC). Adapun layanan dari 5G yang membutuhkan sistem antena *Massive MIMO* untuk menciptakan kecepatan data dan kapasitas jaringan yang tinggi adalah layanan eMBB[10]. Pada Tugas Akhir ini, frekuensi kerja teknologi 5G yang diambil adalah 3,5 GHz (N78) dengan *bandwidth* diatas 10 MHz dan nilai *gain* diatas 5 dBi sesuai pada salah satu persyaratan 5G dengan jenis layanan 5G yang difokuskan adalah eMBB[11].

B. Antena *Microstrip*

Antena merupakan alat transisi antara ruang bebas dengan saluran transmisi. Antena biasanya terbuat dari bahan logam dan dicatu dengan arus AC (bolak-balik), karena pada sumber listrik AC akan terdapat perbedaan fluks yang akan menimbulkan medan listrik dan medan magnet yang saling tegak lurus satu sama lain, hal ini akan menghasilkan gelombang elektromagnetik. Persamaan Maxwell menjelaskan bahwa listrik dan magnet dapat membangkitkan satu sama lain, hal itu yang menyebabkan gelombang elektromagnetik yang dihasilkan oleh antena akan tetap merambat di udara[12]. Antena *microstrip* adalah antena yang memiliki keuntungan pada massa yang ringan, mudah fabrikasi, kompatibel dengan komponen apapun, sehingga dapat ditempatkan hampir di semua perangkat telekomunikasi dibanding jenis lain.[13] Antena *microstrip* memiliki 3 bagian antara lain, *patch*, *substrate*, dan *ground*[14]. *Patch* terletak pada bagian paling atas antena dan memiliki jenis bahan konduktor seperti tembaga atau emas, yang berfungsi sebagai peradiasi gelombang elektromagnetik, *patch* mempunyai beberapa bentuk umum yaitu, bentuk persegi, segitiga, sirkular, elips, dan lainnya[15]. *Substrate* terletak diantara *patch* dan *ground* dan berperan sebagai penyalur gelombang elektromagnetik dari catuan menuju daerah dibawah *patch* antena. Bagian paling bawah adalah *ground*, *ground* memiliki peran sebagai reflektor pada antena *microstrip* untuk memantulkan gelombang elektromagnetik yang diradiasikan oleh *patch*[16]. *Ground* pada umumnya berbahan konduktor seperti tembaga[17].

C. *Patch Circular*

Pada Tugas Akhir ini, *patch* yang akan digunakan adalah jenis ellipse. Perhitungan *patch* jenis ellipse dapat menggunakan persamaan *patch circular*, adapun persamaan *patch circular* sebagai berikut :

$$r = \frac{F}{\sqrt{\left(1 + \frac{2h}{\pi\epsilon_r F} \left[\ln \left(\frac{\pi F}{2h} \right) + 1,7726 \right] \right)}}$$

$$F = \frac{8,791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}}$$

Sedangkan ukuran dimensi *groundplane* dan *substrate*-nya dapat menggunakan persamaan $L = 2 \times \text{Patch Diameter}$ ($2r$); $W = 2 \times \text{Patch Diameter}$ ($2r$)[18].

D. Teknik Pencatutan *Proximity Coupled*

Pada pencatutan *proximity coupled* terdapat dua substrat yang mana antara *patch* dan *feed line* tidak dicatu secara langsung. Substrat pertama terdapat bagian *feed line* dan *groundplane*. Sedangkan pada substrat kedua terdapat *patch*,

sehingga *feed line* dan *patch* akan terkopling secara elektromagnetik. Kelebihan dari pencatutan tidak langsung yaitu dapat memperlebar *bandwidth*. Adapun rumus untuk perhitungan teknik pencatutan sebagai berikut :

$$\frac{W_f}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A}-2} \frac{W}{h} < 2$$

$$\frac{W_f}{h} = \frac{2}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{e^{2A}-1}{2e^A} \left(\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{e^A} \right) \right] \frac{W}{h} > 2$$

Pada Tugas Akhir ini, teknik pencatutan yang digunakan adalah *proximity coupled* ditambah dengan konektor. Bahan konektor yang digunakan adalah tembaga sebagai konduktor pada bagian luar dan dalam, sementara diantara kedua konduktor tersebut terletak bahan dielektrik dengan jenis teflon (PTFE), sedangkan tujuan dari penggunaan 2 substrat yang berbeda adalah untuk meningkatkan *gain*, *bandwidth*, dan juga efisiensi antena dengan adanya substrat yang memiliki permitivitas yang lebih rendah dan juga untuk mengurangi kerentanan antena dari sinyal lain[20].

E. *Defected Ground Structures* (DGS)

Defected Ground Structure (DGS) merupakan bentuk pola tersketsa pada bidang *ground*. Struktur DGS biasanya digunakan pada rangkaian filter dalam *microstrip* line yang akan menolak suatu frekuensi tertentu atau bandgap seperti halnya pada struktur *Electromagnetic Band-gap* (EBG). Selain diaplikasikan pada *microstrip* line dan rangkaian filter, DGS juga dapat diaplikasikan pada antena *microstrip*. Metode DGS didasarkan dari EBG untuk merubah sifat dari gelombang dengan cara membuat satu atau lebih pola EBG pada bidang *ground*. Pola periodik yang dibuat pada bidang *ground* ini menyerupai pola-pola periodik pada EBG.

Bentuk dari DGS dimodifikasi mulai dari slot yang mudah menjadi bentuk yang lebih kompleks. Beberapa bentuk dari pola DGS telah ditemukan sebagai satuan unit DGS-nya. Adapun beberapa jenis bentuk DGS yaitu; *Concentric Rings*, *Square Spiral*, persegi panjang dan bentuk-bentuk dumbbell dengan berbagai bentuk kepala dumbbell yang berbeda[21]. Pada Tugas Akhir ini, jenis DGS yang digunakan adalah *Concentric Rings*.

F. MIMO (*Multiple Input Multiple Output*)

Multiple Input Multiple Output (MIMO) merupakan suatu sistem yang terdiri dari lebih dari satu antena pada sisi pengirim dan penerima. Dengan penggunaan antena lebih dari satu antena, MIMO mendukung spesifikasi media transmisi yang membutuhkan kapasitas besar pada sistem komunikasinya. Sistem ini menggunakan sejumlah M antena pemancar dan sejumlah N antena penerima, sehingga sering ditulis dengan sistem penulisan MIMO $M \times N$ [22]. Sistem MIMO memungkinkan antena untuk mengirim dan menerima lebih dari satu sinyal secara bersamaan.

G. *Mutual Coupling*

Mutual Coupling merupakan efek gandingan yang terdapat pada antena yang memiliki beberapa elemen dan disebabkan oleh gelombang permukaan. Definisi dari *Mutual Coupling* yaitu sebagian dari energi datang yang terdapat pada satu atau lebih elemen pada antena dan dapat dihamburkan kembali pada arah yang berbeda seperti suatu transmitter yang baru. Hal tersebut menyebabkan adanya pancaran yang dari masing-masing generator antena ditambah dengan adanya pancaran *Mutual Coupling* yang merugikan (parasit). Semakin kecil nilai *Mutual Coupling* maka semakin baik antena yang akan digunakan. *Mutual*

Coupling yang diharapkan adalah ≤ -20 dB[23]. Pada Tugas Akhir ini, metode yang digunakan untuk membantu untuk menekan nilai dari *Mutual Coupling* yaitu menggunakan metode *Defected Ground Structure* (DGS)[24]. Pada penelitian terdahulu, DGS dengan pola *periodic* membuktikan bahwa metode tersebut dapat menghasilkan nilai *Mutual Coupling* yang baik yaitu ≤ -20 dB[25].

H. *Massive MIMO*

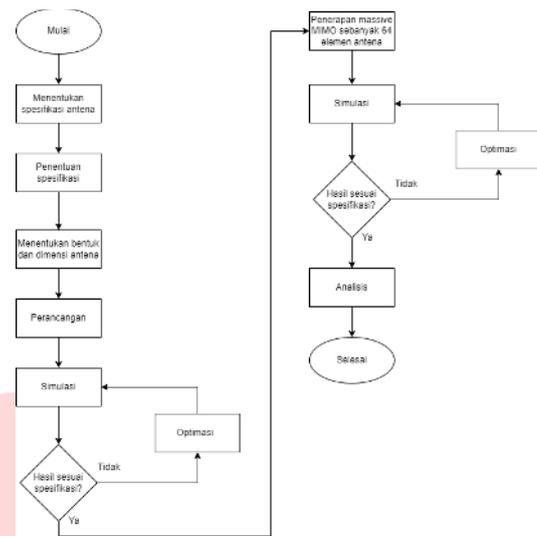
Massive MIMO adalah salah satu teknologi penunjang 5G, dimana teknologi ini adalah hasil dari perkembangan sistem MIMO (*Multiple Input Multiple Output*), secara singkat MIMO adalah suatu sistem yang memungkinkan antenna untuk mengirim dan menerima lebih dari satu sinyal secara bersamaan melalui saluran yang sama. MIMO berguna untuk meningkatkan kapasitas kecepatan data. Sedangkan *Massive MIMO* memiliki perbedaan yang dapat dilihat secara signifikan melalui jumlah antenna yang digunakan, pada *Massive MIMO* biasanya menggunakan puluhan hingga ratusan antenna, hal ini tergantung oleh vendor yang menyediakan. Huawei dan ZTE telah menyepakati bahwa sistem *Massive MIMO* menggunakan 96 hingga 128 antenna, Ericsson menggunakan 64x64 antenna (64 transmitter dan 64 receiver) untuk perangkat NR (New Radio) 5Gnya[26]. *Massive MIMO* dapat melakukan komunikasi antara base station dengan banyak user, sementara MIMO hanya melakukan komunikasi antara 2 perangkat yaitu base station dan satu user. *Massive MIMO* dapat membantu dalam meningkatkan kapasitas jaringan 5G, hal ini didapatkan dari persamaan Shannon's Capacity yaitu $C = \min(n_r, n_t) B \log_2(1 + SNR)$, dimana n_r dan n_t adalah jumlah antenna receiver dan transmitter, B adalah *bandwidth* dan SNR adalah Signal to Noise Ratio[27]. Melalui persamaan tersebut diketahui bahwa dalam meningkatkan kapasitas jaringan jumlah antenna juga dapat mempengaruhi, tentunya semakin banyak jumlah elemen antenna pada teknologi *Massive MIMO* maka kapasitas jaringan akan semakin besar.

III. PERANCANGAN DAN SIMULASI

Pada Bab ini akan membahas perancangan antenna dimulai dari mencari kriteria antenna 5G melalui referensi jurnal-jurnal dan laporan Global mobile Suppliers Association (GSA).

Diawali dengan studi literatur mengenai sistem 5G, kemudian menentukan spesifikasi antenna yang akan dirancang, kemudian menentukan bentuk *patch* beserta dimensinya. Perancangan dan simulasi dimulai dengan satu antenna *microstrip* hingga mendapat hasil yang optimal. Setelah mendapat hasil yang optimal maka dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya yaitu penerapan teknologi *Massive MIMO* dengan membuat 64 elemen antenna hingga mendapat hasil yang optimal. Hasil akhir adalah menganalisis

perbedaan sebelum dan setelah penerapan *Massive MIMO*. Perbandingan hanya berfokus pada perbedaan parameter.



GAMBAR 1 Flowchart

A. Spesifikasi Antena

Penelitian pada Tugas Akhir ini bertujuan untuk merancang dan melakukan simulasi antenna *microstrip* yang digunakan untuk komunikasi 5G. Langkah awalnya adalah menentukan spesifikasi antenna yang sesuai untuk komunikasi 5G.

TABEL 1 Spesifikasi Antena

Spesifikasi	Keterangan
Frekuensi kerja	3,5 GHz
Substrate 1	FR-4
Substrate 2	Rogers RT5880
Return loss	< -10 dB
VSWR	< 2
Gain	> 5 dBi
Bandwidth	> 10 MHz
Polaradiasi	Unidirectional
Polarisasi	Linear
Mutual Coupling	≤ -20 dB

B. Perancangan Antena *Single-Element*

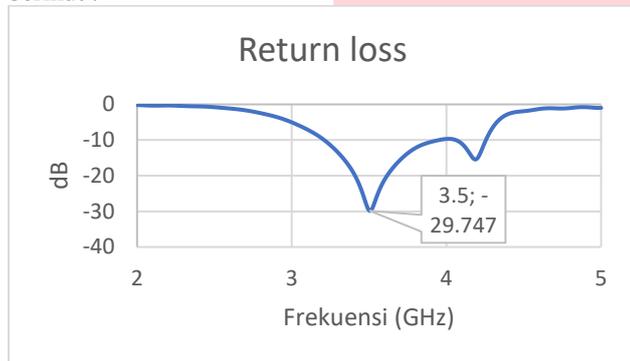
Perancangan antenna dengan bentuk *patch* ellipse *single element* sebagai tahap awal penelitian ini dimulai, penulis mengambil referensi antenna *single element* dari penelitian sebelumnya dan kemudian dilakukan optimasi lebih lanjut agar hasil yang maksimal[28]. Antena yang dirancang nantinya akan dijadikan referensi terhadap 64 elemen yang akan dibuat sesuai dengan teknologi *Massive MIMO*.

TABEL 2 Parameter antenna *single element*

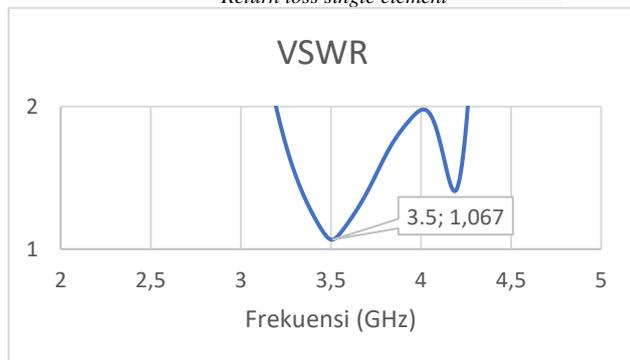
Parameter	Nilai (mm)	Keterangan
w_l	36,822336333401	Dimensi antenna (x & y)
t	0,035	Tebal konduktor
h	1,6	Tebal substrate FR-4
x_{rad}	15,982164511539	Jari-jari minor <i>patch</i>

y_{rad}	11,947497057295	Jari-jari mayor <i>patch</i>
w_f	1	Lebar <i>feedline</i>
l_f	5	Panjang <i>feedline</i>
d_{gs}	14,577205368723	Jari-jari terluar DGS
c_g	2,1158347829303	Jari-jari <i>concentric rings</i> DGS
h_2	1,016	Tebal <i>substrate</i> Rogers RT5880
r_o	4,26	Jari-jari dielektrik konektor
r_s	0,34	Jari-jari konduktor terluar konektor
r_i	1,27	Jari-jari konduktor terdalam konektor
<i>Centercoax</i>	5	Letak konektor ($y ; x=0$)

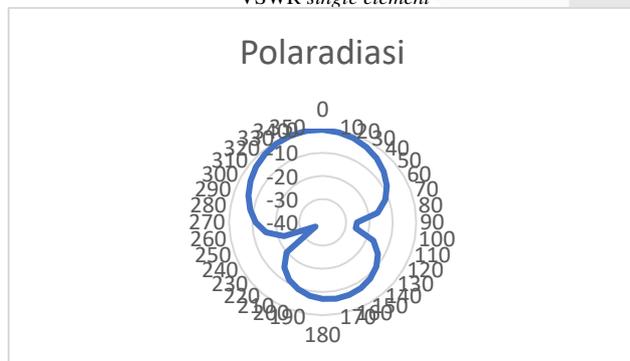
Hasil dari simulasi antenna *single-element* adalah sebagai berikut :



GAMBAR 2
Return loss single element



GAMBAR 3
VSWR single element

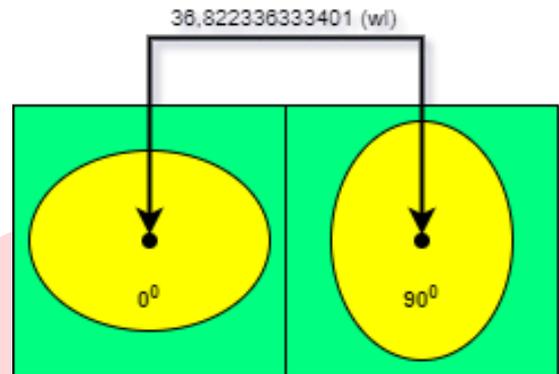


GAMBAR 4
Polaradiasi

C. Perancangan Antena *Massive MIMO*

Antena yang telah dibuat sebelumnya akan dijadikan referensi antena yang akan dibuat sebanyak 64 elemen. Hal

ini dilakukan sesuai syarat teknologi *Massive MIMO* yang memiliki banyak elemen pada antena[29]. Perancangan Antena *Massive MIMO* (64 elemen) dilakukan secara bertahap, dimulai dengan 2 elemen (2 elemen), 4 elemen (4 elemen), 8 elemen (8 elemen), 16 elemen (16 elemen), 32 elemen (32 elemen), dan 64 elemen (64 elemen). Masing-masing elemen yang dirancang akan dirotasi sebesar 900 dengan jarak antar inti *patch* sebesar 36,822336333401 (wl).



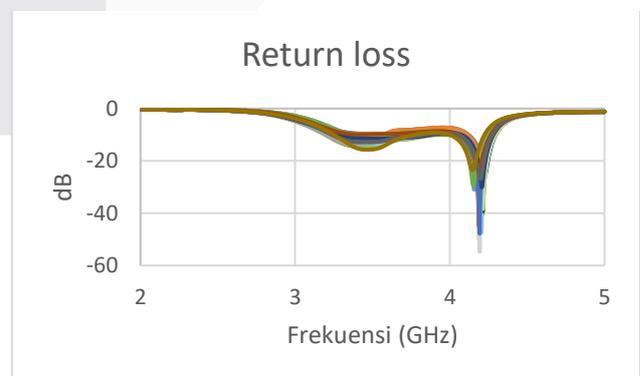
GAMBAR 5
Besarnya rotasi dan jarak antar elemen

Kemudian akan dilakukan analisa mengenai kelayakan antena melalui nilai dari *Mutual Coupling* terendah, tertinggi, dan nilai keseluruhan elemen, serta nilai *gain Massive MIMO* menggunakan *template based post-processing* pada aplikasi. Setelah hasil parameter *Massive MIMO* yang dibutuhkan telah didapatkan, maka akan dilanjutkan pada tahap analisa mengenai perbandingan nilai parameter antena *single element* dan antena *Massive MIMO*.

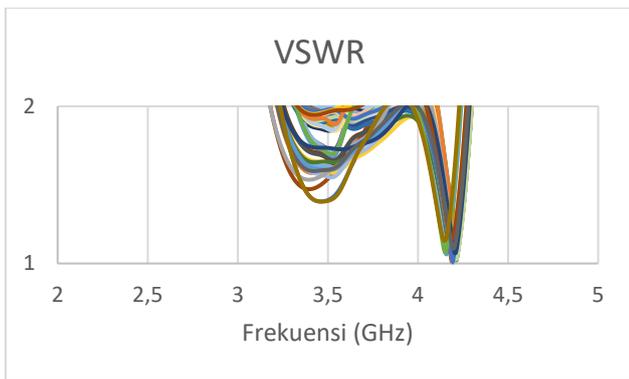
IV. ANALISIS

A. Antena *Massive MIMO* (64 elemen)

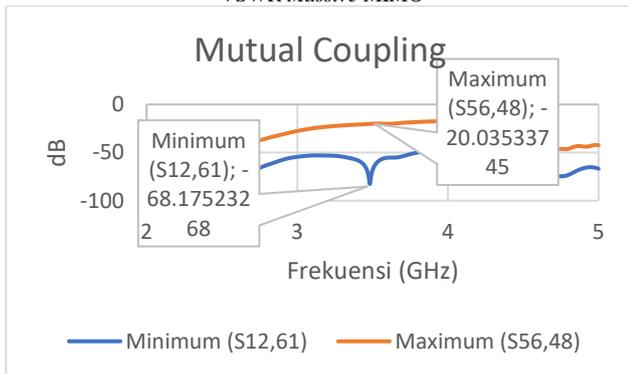
Pada simulasi ini, setiap elemen dilakukan rotasi secara berurutan dengan kelipatan sudut sebesar 900 yang dimulai pada elemen kedua, hasil dari simulasi Antena *Massive MIMO* (64 elemen) yang ditampilkan adalah hasil simulasi yang sudah teroptimasi sesuai dengan spesifikasi antena yang diharapkan. Adapun hasil simulasi ini menunjukkan bahwa salah satu tujuan dari Tugas Akhir ini telah tercapai, kurva yang ditampilkan akan dibatasi hingga 64 kurva, total kurva keseluruhan akan ditampilkan pada lampiran. Berikut hasil simulasi pada aplikasi :



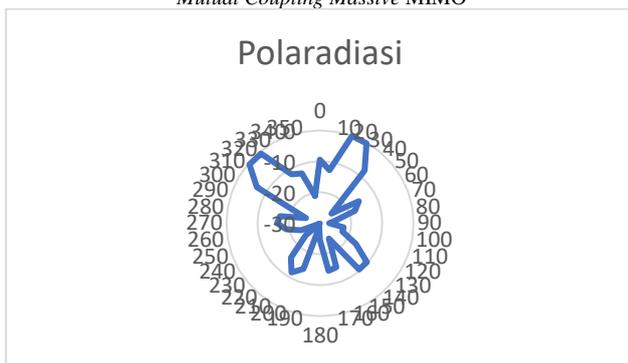
GAMBAR 6
Return loss Massive MIMO



GAMBAR 7
VSWR Massive MIMO



GAMBAR 8
Mutual Coupling Massive MIMO



GAMBAR 9
Polaradiasi Massive MIMO

Berdasarkan data dari hasil simulasi Antena *Massive MIMO* (64 elemen), dapat ditarik kesimpulan bahwa setiap nilai parameter antenna tersebut telah memenuhi syarat berdasarkan spesifikasi antenna yang dirancang. Kurva pada parameter *Mutual Coupling* dibatasi hingga 64 kurva, untuk melihat kurva keseluruhan *Mutual Coupling* pada Antena *Massive MIMO* (64 elemen) ini dapat dilihat pada lampiran.

B. Perbandingan Hasil Simulasi Antena

Hasil simulasi pada setiap antenna telah didapatkan. Kemudian selanjutnya akan dilakukan tahap analisis dan perbandingan antara antenna *single element* hingga antenna *Massive MIMO* 64 elemen (64 elemen) melalui TABEL. Berikut adalah hasilnya :

TABEL 3
Perbandingan hasil simulasi

Parameter	Antena <i>Single element</i>	<i>Massive MIMO</i> 64 elemen (64 elemen)
VSWR	1,067	1,826

<i>Mutual Coupling</i> Max.	-	-20,035 dB
<i>Mutual Coupling</i> Min.	-	-68,175 dB
<i>Gain</i>	5,27 dBi	13,60 dBi
Antena Efisiensi	91%	94,05%
<i>Bandwidth</i>	1,06461 GHz	102,859 MHz
Polaradiasi	Unidirectional	Directional

Data di atas menjelaskan bahwa parameter antenna terus berubah seiring bertambahnya elemen antenna. Polaradiasi pada antenna *single element* merupakan unidirectional dengan main lobe pada sudut 10 dengan lebar beamwidth sebesar 84,60 dan polaradiasi pada Antena 2 elemen tetap berjenis unidirectional namun arah main lobe bergeser ke arah 250 dengan lebar beamwidth sebesar 85,30. Polaradiasi pada Antena 4 elemen hingga *Massive MIMO* 64 elemen (64 elemen) memiliki perubahan jenis polaradiasi yaitu menjadi jenis polaradiasi directional, dimana Antena 4 elemen memiliki 2 arah main lobe yaitu pada sudut 350 ke arah kanan dan 350 ke arah kiri dengan beamwidth masing-masing sebesar 34,50, kemudian polaradiasi pada Antena 8 elemen juga memiliki 2 arah main lobe yaitu pada sudut 300 ke arah kanan dan 300 ke arah kiri dengan beamwidth masing-masing sebesar 31,60. Polaradiasi Antena 16 elemen memiliki 2 arah main lobe yaitu pada sudut 360 ke arah kanan dan 360 ke arah kiri dengan beamwidth masing-masing sebesar 170. Polaradiasi Antena 32 elemen memiliki 2 arah main lobe yaitu pada sudut 360 ke arah kanan dan 360 ke arah kiri dengan beamwidth masing-masing sebesar 180.

Polaradiasi yang terakhir adalah hasil simulasi antenna *Massive MIMO* 64 elemen (64 elemen) dengan jenis directional dan memiliki 2 arah main lobe yaitu pada sudut 350 ke arah kanan dan 350 ke arah kiri dengan beamwidth masing-masing sebesar 15,20. Nilai pada parameter VSWR yang ditampilkan adalah nilai rata-rata VSWR pada setiap hasil simulasi yang dilakukan. Berdasarkan data yang telah didapat, nilai VSWR terus meningkat seiring bertambahnya elemen pada antenna yang dirancang, dengan nilai VSWR terbaik terdapat pada hasil simulasi antenna *single element* sebesar 1,067 dan nilai VSWR terburuk terdapat pada hasil simulasi antenna *Massive MIMO* 64 elemen (64 elemen) sebesar 1,826. Sedangkan nilai *bandwidth* yang didapatkan terus berkurang seiring bertambahnya elemen antenna, dengan nilai *bandwidth* yang terbaik ada pada antenna *single element* yaitu pada 1,06461 GHz dan nilai *bandwidth* yang terburuk ada pada antenna *Massive MIMO* 64 elemen sebesar 102,859 MHz.

Mutual Coupling terbesar terdapat pada hasil simulasi antenna *Massive MIMO* 64 elemen (64 elemen) dengan nilai -20,035 dB dimana nilai dari efek *Mutual Coupling* terus meningkat seiringnya bertambah elemen yang dimulai dari Antena 2 elemen. Nilai terendah pada parameter *Mutual Coupling* juga terdapat pada antenna *Massive MIMO* 64 elemen (64 elemen) dengan nilai -68,175 dB. Hal ini disebabkan karena semakin banyak elemen antenna yang tersusun maka akan semakin banyak efek *Mutual Coupling* yang terpancar dari setiap antenna terhadap elemen antenna lainnya yang bersifat merugikan. Selanjutnya yaitu parameter *gain*, nilainya terus meningkat seiring bertambahnya elemen pada suatu antenna. *Gain* terkecil ada pada antenna *single*

element dengan nilai 5,27 dBi dan yang terbesar ada pada antena *Massive MIMO* 64 elemen (64 elemen) dengan nilai secara keseluruhan sebesar 13,60 dBi. Salah satu kemungkinan yang dapat menyebabkan hal ini terjadi adalah efek *Mutual Coupling*, ketika efek dari *Mutual Coupling* memiliki nilai yang dapat ditoleransi yaitu ≤ -20 dB, maka setiap elemen pada antena dapat berkontribusi satu sama lain hingga menghasilkan nilai *gain* yang tinggi. Parameter selanjutnya adalah antena efisiensi. Nilai pada parameter ini beragam dan tidak konstan meningkat atau menurun. Efisiensi antena terendah ada pada hasil simulasi Antena 16 elemen dengan nilai efisiensi sebesar 83,62%, sedangkan nilai efisiensi tertinggi ada pada hasil simulasi antena *Massive MIMO* 64 elemen (64 elemen) dengan nilai efisiensi sebesar 94,05%. Adapun parameter terakhir yaitu polarisasi. Jenis polarisasi keseluruhan simulasi tidak berubah, yaitu tetap pada jenis polarisasi Linear.

Dimensi awal antena yaitu antena *single element* adalah 36,822336333401 mm x 36,822336333401 mm x 2,721 mm, dan dimensi akhir antena yaitu antena *Massive MIMO* 64 elemen (64 elemen) adalah sebesar 294,578690667208 mm x 294,578690667208 mm x 2,721 mm. Berdasarkan besar dimensi akhir antena yaitu 29,458 cm, antena pada Tugas Akhir ini dapat diaplikasikan sebagai antena outdoor pada BTS statis. Dengan demikian semua tujuan pada Tugas Akhir ini sudah tercapai sesuai yang diharapkan.

V. KESIMPULAN

Antena *Massive MIMO* 64 elemen (64 elemen) yang dirancang sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Teknik pencatatan proximity coupled ditambah konektor dengan substrat paling bawah yaitu FR-4 dan substrat paling atas yaitu Rogers RT5880 dapat meningkatkan *gain* serta *bandwidth* pada antena *single element*. *Gain* meningkat dari nilai awal 2,67 dBi menjadi 5,27 dBi, sedangkan *bandwidth* meningkat dari nilai awal 453,225 MHz menjadi 1,06461 GHz. Antena yang dipilih sebagai referensi untuk dijadikan Antena *Massive MIMO* 64 elemen (64 elemen) adalah antena *single element* yang telah dioptimasi dan menggunakan metode catuan proximity coupled dengan konektor.

Jarak antar elemen antena yang digunakan pada penerapan teknik *Massive MIMO* adalah sebesar 36,822336333401 mm. Penerapan teknik *Massive MIMO* dilakukan secara bertahap, dimulai dari 2 elemen, 4 elemen, 8 elemen, 16 elemen, 32 elemen, 64 elemen. Dalam proses penerapan *Massive MIMO*, setiap elemen antena dilakukan rotasi dengan kelipatan sebesar 900 dengan dimulai dari elemen kedua untuk menghindari efek *Mutual Coupling* yang terlalu besar.

Nilai *Mutual Coupling Massive MIMO* 64 elemen (64 elemen) terbesar terdapat pada elemen antena ke-56 terhadap elemen antena ke-48 dengan nilai -20,03534 dB, sedangkan nilai *Mutual Coupling Massive MIMO* 64 elemen (64 elemen) terkecil terdapat pada elemen antena ke-12 terhadap elemen antena ke-61 dengan nilai -68,17523 dB. *Gain* pada antena yang dirancang terus meningkat seiring bertambahnya elemen antena, diawali dengan antena *single element* yaitu 5,27 dBi dan hasil akhir perancangan yaitu antena *Massive MIMO* 64 elemen (64 elemen) dengan nilai secara keseluruhan sebesar 13,60 dBi. *Bandwidth* pada antena yang dirancang terus menurun seiring bertambahnya elemen antena, nilai *bandwidth* antena *single element* yaitu 1,06461 GHz sedangkan nilai *bandwidth* dari antena *Massive MIMO* yang dirancang adalah sebesar 102,859 MHz. Polaradiasi

antena berubah dari unidirectional menjadi directional dimulai dari proses penerapan 4 elemen antena hingga 64 elemen antena. Main lobe pada polaradiasi antena yang dirancang menggunakan teknik *Massive MIMO* berubah dari 250 ke kiri dan kanan pada 2 elemen, 350 ke kiri dan kanan pada 4 elemen, 300 ke kiri dan kanan pada 8 elemen, 360 ke kiri dan kanan pada 16 elemen, 360 ke kiri dan kanan pada 32 elemen, dan 350 ke kiri dan kanan pada 64 elemen. Dengan lebar beamwidth yang terus menurun dari 85,30 pada 2 elemen hingga 15,20 pada antena 64 elemen.

REFERENSI

- [1] Y. Rahayu, I. P. Sari, D. I. Ramadhan, and R. Ngah, "High gain 5G MIMO antenna for mobile base station," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 9, no. 1, p. 468, 2019, doi: 10.11591/ijece.v9i1.pp468-476.
- [2] E. Webster, "DEFINITION MIMO (multiple input, multiple output)," <https://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/MIMO>.
- [3] R. Chataut and R. Akl, "Massive MIMO systems for 5G and beyond networks—overview, recent trends, challenges, and future research direction," *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 10, pp. 1–35, 2020, doi: 10.3390/s20102753.
- [4] Y. I. Shiddiqah, M. S. Muntini, R. Prasetyanto, and ..., "Analisis Pengaruh Antena MIMO 2Tx2Rx Terhadap Kecepatan Akses 4G LTE," *J. Sains dan Seni ...*, vol. 5, no. 2, 2016, [Online]. Available: http://ejournal.its.ac.id/index.php/sains_seni/article/view/17090.
- [5] C. Craven, "What Is the 5G Spectrum? Definition," <https://www.sdxcentral.com/5g/definitions/what-is-5g-spectrum/>, 2020.
- [6] G. M. S. Association, "Spectrum for terrestrial 5G networks: Licensing developments worldwide," vol. 01, no. 01, pp. 1689–1699, 2018.
- [7] M. Abdullah-Al-Mamun, S. Datto, and M. Shahinur Rahman, "Performance Analysis of Rectangular, Circular and Elliptical Shape *Microstrip Patch* Antenna using Coaxial Probe Feed," *2nd Int. Conf. Electr. Electron. Eng. ICEEE 2017*, no. December, pp. 1–4, 2018, doi: 10.1109/CEEE.2017.8412912.
- [8] L. D. Jatmiko, "Lebih Sulit Gelar 4G di Frekuensi 2,3 GHz Dibandingkan dengan 5G," <https://teknologi.bisnis.com/read/20210521/101/1396382/lebih-sulit-gelar-4g-di-frekuensi-23-ghz-dibandingkan-dengan-5g>.
- [9] NetSim, "Introduction to 5G simulation with NetSim," https://tetcos.com/help/v13.2/Technology-Libraries/5G.html#nr_frequency_bands.
- [10] Moniem Tech, "The Importance of *Massive MIMO* in 5G NR," <https://moniem-tech.com/2020/12/29/what-is-the-importance-of-Massive-mimo-in-5g-nr/>.
- [11] E. Mohyeldin, "Minimum Technical Performance Requirements for IMT-2020 radio interface (s) Eiman Mohyeldin ITU-R Workshop on IMT-2020 terrestrial radio interfaces," 2016.
- [12] B. S. Nugroho, "Modul Praktikum Antena dan Propagasi 2018-2019," <https://docs.google.com/document/d/1U6I0BEFhXa15jzn09hGjgn5185u7g5oaupHXWcfork/edit>, 2019.

- [13] Elprocus, "Antenna Gain – Directivity, Efficiency and Its Conversion," 2013, [Online]. Available: <https://www.elprocus.com/antenna-gain-directivity-efficiency-and-its-conversion/>.
- [14] everythingRF, "What is Antenna Efficiency?," [Online]. Available: <https://www.everythingrf.com/community/what-is-antenna-efficiency>.
- [15] W. L. Stutzman and G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*. 2012.
- [16] B. S. T. P. P. A. dan P. Sugesti, Erna Sri; Nugroho, "Modul Praktikum Antena dan Propagasi 2018 - 2019," pp. 1–35, 2019.
- [17] R. Mishra, "An Overview of *Microstrip*," *Int. J. Technol. Innov. Res.*, vol. 21, no. 2, pp. 1–17, 2016.
- [18] Z. Hasan and A. Zaman, "Design and Fabrication of a Circular *Microstrip Patch* Antenna for GPS Application," vol. 7109, no. 1, pp. 54–57, 2017.
- [19] N. Aulia and K. Kunci, "Desain Antena Mikrostrip Array 2x4 dengan Teknik Pencatutan Proximity Coupled untuk Aplikasi 5G pada Frekuensi 2 , 6 GHz," pp. 4–5, 2021.
- [20] Y. T. and C. K. M. Chen, "The Design of Broadband *Patch* Antenna on Different *Substrates*," *IEEE Antennas Propag. Mag.* vol. 43, no. 2, pp. 39-45, Apr. 2001. DOI 10.1109/74.918405.
- [21] D. MARLENA, "Rancang Bangun *Defected Ground Structure* (Dgs) Pada Antena Structure (Dgs) Pada Antena 2 Elemen," 2008.
- [22] C. P. Frekuenasi, "Perancangan Dan Realisasi Antena Mimo Mikrostrip 4X4 *Patch*," pp. 3–8, 2018.
- [23] L. M. RAMADHAN, "SIMULASI PERANCANGAN DAN ANALISIS MASSIVE MIMO ARRAY MIKROSTRIP *PATCH* RECTANGULAR DUALBAND 3,5 GHZ DAN 26 GHZ UNTUK KOMUNIKASI 5G," *Apl. dan Anal. Lit. Fasilkom UI*, pp. 4–25, 2006.
- [24] F. Zhu, J. Xu, and Q. Xu, "Reduction of *Mutual Coupling* Between Closely-Packed Antenna *Elements* Using *Defected Ground Structure*," *Reduct. Mutual Coupling Between Closely-Packed Antenna Elem. Using Defected Gr. Struct.*, pp. 4–7, 2009.
- [25] K. Wei, J. Y. Li, L. Wang, Z. J. Xing, and R. Xu, "*Mutual Coupling* reduction of *microstrip* antenna array by periodic *Defected Ground Structures*," *APCAP 2016 - 2016 IEEE 5th Asia-Pacific Conf. Antennas Propagation, Conf. Proc.*, pp. 389–390, 2017, doi: 10.1109/APCAP.2016.7843257.
- [26] S. Andrian, "5G Fundamentals *Massive MIMO*," <https://www.5g-indonesia.com/2020/08/penjelasan-lengkap-Massive-mimo-5g.html>, 2020.
- [27] M. Gahadza and S. Winberg, "Performance of *Massive MIMO* Systems for Future Generation Wireless Systems," 2019 *IEEE 10th Int. Conf. Mech. Intell. Manuf. Technol. ICMIMT 2019*, no. Icmimt, pp. 204–211, 2019, doi: 10.1109/ICMIMT.2019.8712054.
- [28] N. Ferdous, G. Chin Hock, H. A. S. Hamid, M. N. A. Raman, T. Sieh Kiong, and M. Ismail, "DESIGN OF A SMALL *PATCH* ANTENNA AT 3.5 GHZ FOR 5G APPLICATION," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 268, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1755-1315/268/1/012152.
- [29] M. Rüttschlin, T. Wittig, and Z. Iluz, "Phased antenna array design with CST STUDIO SUITE," 2016 10th Eur. Conf. Antennas Propagation, EuCAP 2016, no. October, 2016, doi: 10.1109/EuCAP.2016.7481530.