

ANTENNA ARRAY 4X2 MIKROSTRIP PATCH PERSEGI DUAL FREKUENSI UNTUK BTS 5G

1st Rama Putra Ilyas Eka Cipta
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia
ramaputraiec@student.telkomuniversity
.ac.id

2nd Dr. Ir. Heroe Wijanto, M.T.
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia
heroew@telkomuniversity.ac.id

3rd Dr. Yussi Perdana Saputera, ST.,
MT., IPM., ASEAN Eng., APEC Eng.
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia
yussips@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — perkembangan teknologi setiap tahun meningkat, sehingga kebutuhan informasi jauh lebih besar. 5G merupakan perkembangan teknologi yang terbaru. 5G merupakan sebuah ekosistem jaringan nirkabel yang bekerja secara sinergis untuk menyediakan media komunikasi tanpa batas bagi pengguna. Kategori spektrum frekuensi yang dapat digunakan, yaitu di bawah 1 GHz, 1-6 GHz dan di atas 6 GHz. Pada frekuensi 1-6 GHz terdapat kandidat frekuensi yang dapat digunakan untuk mengembangkan teknologi komunikasi 5G, yaitu frekuensi 3.3-4.2 GHz. Pada saat ini di Indonesia akan menggunakan band frekuensi 2.3 GHz untuk komunikasi 5G. Pengembangan teknologi komunikasi 5G membutuhkan antena yang tepat yang mampu untuk mendukung sistem komunikasi 5G. Penggunaan sistem Multiple In Multiple Out (MIMO) pada antena merupakan pilihan yang tepat untuk pengembangan teknologi 5G [2]. MIMO dipilih karena mendukung spesifikasi 5G yang membutuhkan kapasitas yang besar pada sistem komunikasinya. Tugas Akhir ini mengusulkan Antena MIMO 4x2 Array 2 elemen menggunakan patch Rectangular. Untuk mendapatkan bandwidth kesegala arah akan menggunakan metode empat sektor dengan nilai beamwidth = 90. Dengan metode Array ini diharapkan untuk mendapatkan nilai gain yang maksimal. Dan juga diharapkan antena yang dirancang dapat menghasilkan $VSWR \leq 2$ dengan polarisasi unidireksional pada frekuensi 1,8 GHz dan 2,3 GHz.

Kata kunci— Antena Mikrostrip Patch Persegi, Multiple Input Multiple Output (MIMO) 4x2, BTS, 5G.

I. PENDAHULUAN

Dalam konteks ini, 5G membayangkan tidak hanya satu teknologi saja yang ditemukan atau dikembangkan, tetapi sebuah ekosistem jaringan nirkabel yang bekerja secara sinergis untuk menyediakan media komunikasi tanpa batas bagi pengguna. Untuk menawarkan cakupan yang luas dan memenuhi semua persyaratan pelanggan komunikasi 5G, spektrum frekuensi ini diperlukan untuk pengembangan 5G. Kategori spektrum frekuensi yang tersedia, yaitu di bawah 1 GHz, 1-6 GHz di atas 6 GHz. Di antara frekuensi 1-6 GHz, terdapat frekuensi yang bisa digunakan untuk pengembangan teknologi komunikasi 5G, yaitu frekuensi 3,3-4,2 GHz. Penelitian MIMO 42 Patch Rectangular yang dilakukan oleh Wahyu Ananda Sabilla Pradina, membahas mengenai

antena MIMO 42 patch Rectangular yang digunakan untuk penerapan komunikasi 5G pada frekuensi 3,5 GHz.

Selain itu penelitian antena MIMO Array telah dilakukan sebelumnya yang membahas perancangan antena MIMO array 3,5 GHz dengan patch rectangular untuk jaringan komunikasi 5G yang dilakukan oleh Faiz Nashiruddin. Pada kedua penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa Antena MIMO Array dapat digunakan karena pada metode MIMO ini bertujuan untuk memperbanyak kapasitas kanal yang ada, sedangkan metode Array memiliki fungsi untuk memperbesar pancaran radiasi, dan juga bentuk patch akan mempengaruhi hasil bandwidth dan gain yang didapatkan. Rectangular patch mendapatkan nilai bandwidth dan gain terbesar, namun di kedua penelitian ini belum menggunakan frekuensi yang ada di Indonesia. MIMO dipilih karena mendukung spesifikasi 5G yang membutuhkan kapasitas yang besar pada sistem komunikasinya. Hal ini mengakibatkan MIMO dapat memberikan kapasitas kanal yang lebih banyak dan bandwidth yang lebih besar. Selain itu MIMO juga dapat mengurangi mutual coupling yang terjadi akibat polarisasi masing-masing elemen pada antena.

Dan juga diharapkan antena yang dirancang dapat menghasilkan $VSWR \leq 2$ dengan polarisasi unidireksional pada frekuensi 1,8 GHz dan 2,3 GHz.

II. KAJIAN TEORI

A. Fifth Generation (5G)

Fifth Generation adalah pengembangan teknologi mobile dari generasi-generasi sebelumnya. Teknologi 5G juga diharapkan meningkatkan pertumbuhan ekonomi lebih lanjut dan transformasi digital pada segala aspek sehingga semua orang bisa saling terhubung, dimana tidak hanya semua orang yang bisa terhubung ke jaringan kapanpun dibutuhkan, melainkan juga banyak perangkat lain yang secara virtual menciptakan masyarakat dengan segala sesuatunya terhubung. Hal ini akan menjadi sistem data berkecepatan sangat tinggi dengan syarat desain yang dirancang khusus untuk menghasilkan energi dan mengurangi pengeluaran dalam segi operasional. Dalam konteks ini, 5G membayangkan tidak hanya satu teknologi saja yang ditemukan atau dikembangkan, tetapi sebuah ekosistem jaringan nirkabel yang bekerja secara sinergis untuk menyediakan media komunikasi tanpa batas bagi pengguna.

B. Antena Array

Menurut Haupt, R. L., & Rahmat-Samii, Y., 2015, Antena array adalah antena yang disusun dengan dua atau lebih elemen antena untuk meningkatkan gain dan memperoleh pola radiasi. Pola radiasi terarah dapat dihasilkan di ruang terbuka dengan menempatkan beberapa antena. Setiap elemen ditempatkan dalam garis lurus dan mungkin memiliki jarak yang sama di antara mereka. Array kadang-kadang disebut sebagai array bidang ketika pusat elemen diposisikan pada bidang. Dua bentuk konfigurasi array planar yang berbeda adalah array persegi panjang dan array melingkar, di mana pusat-pusat elemen diisi untuk membuat wilayah persegi atau diatur untuk membentuk lingkaran. Pola yang dihasilkan dari pengabaian pola radiasi setiap elemen adalah faktor. Pola radiasi yang dihasilkan dari penggantian sumber titik isotropik untuk setiap elemen adalah faktor. Pola radiasi yang dihasilkan dari penggantian sumber titik isotropik untuk setiap elemen adalah faktor. Antena hipotetis dengan pola radiasi yang seragam ke segala arah yang menempati sebuah titik di ruang angkasa dikenal sebagai sumber titik isotropik. Antena dengan N elemen di mana setiap elemen dipisahkan oleh jarak dan memiliki amplitudo yang sama memiliki faktor yang dinormalisasi. Karena elemen antena, bukan sumber isotropis, adalah sumber pola radiasi yang sebenarnya, faktor susunan bukanlah pola radiasi antena yang sebenarnya.

C. Antena Mikrostrip

Antena yang terbuat dari pelat konduktor tipis yang diletakkan di atas pelat konduktor yang lain dan dipisahkan oleh substrat dielektrik dikenal sebagai antena mikrostrip. Antena mikrostrip terdiri dari 3 bagian utama yaitu groundplane, substrat dan patch. Groundplane adalah komponen antena mikrostrip yang berada di dasar antena. Groundplane dibuat dari bahan konduktor dengan kemampuan memantulkan sinyal yang tidak diinginkan dan berfungsi sebagai reflektor. Substrat merupakan lapisan dielektrik untuk memisahkan groundplane dengan patch. Konstanta dielektrik yang biasa digunakan berada pada kisaran $2,2 \leq \epsilon_r \leq 12$. Substrat dengan nilai konstanta dielektrik yang kecil akan memberikan efisiensi yang lebih baik serta bandwidth yang lebih besar. Pada lapisan teratas dari sebuah antena mikrostrip terdapat patch. Patch tercipta

menggunakan bahan konduktor yang berfungsi meradiasikan gelombang elektromagnetik.

D. Teknik Pencatuan

Microstrip line, proximity coupled, coaxial probe, dan aperture coupled adalah beberapa teknik yang digunakan dalam penggandengan antena mikrostrip. Hal ini dikarenakan teknik pencatuan microstrip feedline lebih cocok digunakan untuk antena susunan serta mampu memberikan gain yang lebih besar dibandingkan dengan coaxial feed. Terdapat juga teknik pencatuan dengan proximity coupled, teknik pencatuan proximity coupled merupakan teknik pencatuan menggunakan bahan dua lapis substrat dengan feed line berada diantara dua buah substrat.

E. Antena Susunan

Antena Susunan merupakan beberapa antena indentik yang disusun yang dicatui menjadi 1 catuan dan disusun secara $M \times N$ dimana M sebagai baris sumbu-X dan N baris pada sumbu-y. Antena mikrostrip dapat dirancang tidak hanya dibuat sebagai satu elemen saja, tetapi juga sebagai yang disusun atau biasa disebut dengan (Array). Sebuah antena array dapat dibuat dengan menempatkan beberapa antena yang serupa dalam susunan tertentu. Antena yang serupa adalah antena dengan bidang dan pola fasa yang sama dalam arah yang sama. Pengaturan tersebut dapat meningkatkan gain dan directivity antena, jika hanya satu elemen antena yang digunakan maka gain dan directivity tidak dapat ditingkatkan [12].

F. Antena Sektoral

Antena sektor disebut juga antena panel patch dan pada dasarnya sama dengan antena omnidireksional. Antena sektor umumnya mempunyai penguatan yang lebih tinggi dibandingkan antena omnidireksional. Tilting merupakan salah satu bentuk pengaturan kemiringan antena yang berfungsi untuk menentukan coverage area atau area yang akan dicakup oleh sinyal yang diterima dari antena.

G. Base Transceiver Station (BTS)

Base Transceiver Station (BTS) berfungsi menjembatani perangkat komunikasi dari satu pengguna dengan pengguna lain. Satu cakupan pancaran base station disebut sebagai cell. BTS menjadi salah satu perangkat pendukung yang sangat penting pada komunikasi seluler. Oleh karena itu, perlu mengidentifikasi elemen-elemen yang paling berkontribusi dalam pemanfaatan base station sebagai komponen pendukung komunikasi seluler. Unsur-unsur pada BTS dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu peralatan pada frekuensi radio (meliputi amplifier dan transceiver daya) yang memiliki peran melayani satu atau lebih sektor. Komponen lainnya pendukung jaringan komunikasi seluler antara lain rectifier sistem, baterai, microwave system, feeder, dan antena sektoral yang menjadi perhatian pada penelitian tugas akhir ini.

III. METODE

Pada bagian ini membahas mengenai tentang perancangan antenna mikrostrip mimo dengan menggunakan konfigurasi dual band dengan catuan Transmission insert feed yang digunakan untuk aplikasi 5 G frekuensi 1,8 GHz

dan 2,3 Ghz. Perancangan dalam membuat Antena susunan 4x2 mikrostrip patch persegi dengan catuan Transmission insert feed ini dimaksudkan agar Antena ini dapat bekerja sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan.

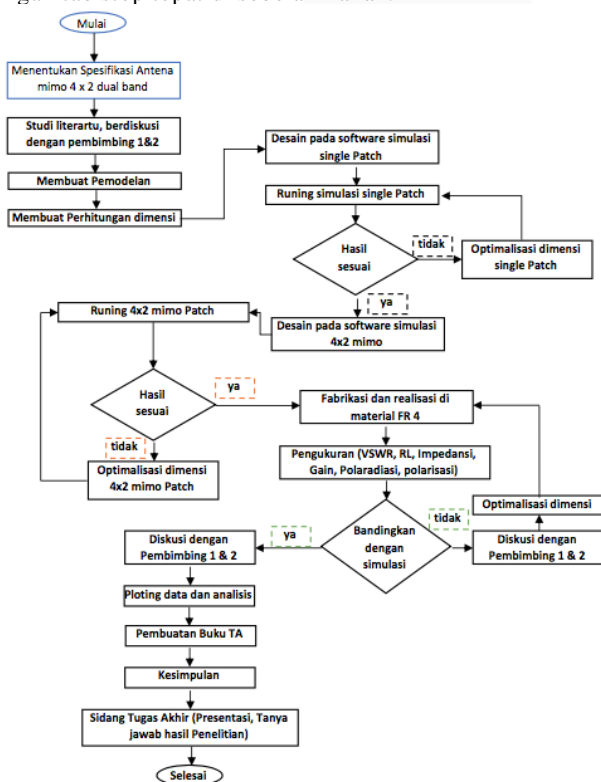
A. Perancangan dan Realisasi

Dalam perancangan dan realisasi Antena mikrostrip 4x2 mimo patch persegi dengan catuan Transmission insert feed ini melalui 3 proses utama. Proses perancangan dan pembuatan antena adalah sebagai berikut :

- 1) Penentuan spesifikasi umum dan karakteristik Antena susunan dual band frekuensi 1,8 GHz dan 2,3 Ghz mimo 4x2 mikrostrip patch persegi dengan catuan Transmission fed line.
- 2) Perancangan antena menggunakan software Tahap simulasi ini dilakukan setelah spesifikasi antena telah ditentukan. Tujuannya adalah untuk memvisualisasikan dan mensimulasikan fase pertama yang dijelaskan di atas. Visualisasinya berupa gambar tiga dimensi dengan spesifikasi yang sesuai dengan implementasi antena berupa ukuran, bentuk, jenis material dan lokasi feed. Hasil simulasi ditampilkan secara grafis atau gambar parameter antena seperti return loss, vswr, impedansi, gain, dan pola radiasi, yang kemudian dianalisis untuk mengetahui karakteristik dan kinerja antenna.
- 3) Pembuatan pabrikasi sesuai dengan hasil simulasi yang paling akurat. Proses untuk mewujudkan bentuk antena yang telah dirancang dalam perangkat lunak simulasi disebut fabrikasi. Antena dibuat oleh pekerja yang berpengalaman dan mahir menggunakan metode fotoetching untuk mencapai dimensi antena yang tepat dan memenuhi spesifikasi yang diperlukan.

B. Skema Perancangan

Nomor persamaan diberikan secara berurutan. Angka persamaan yang diapit tanda kurung harus diposisikan rata dengan tab stop tepat di sebelah kanan.



GAMBAR 1
(DIAGRAM ALIR)

Tahapan perancangan dimulai dengan menentukan spesifikasi yang diinginkan untuk membuat antena susun 4x2 rectangular patch 2,3 GHz untuk BTS 5G.

C. Pemilihan Desain Perangkat

Perancangan antena memerlukan pengetahuan tentang spesifikasi antenna yang akan dibuat, seperti frekuensi kerja, vswr, return loss, impedansi, pola radiasi dan gain.

D. Perancangan Antena

Dalam penelitian tugas Akhir ini akan dilakukan perancangan antena mikrostrip untuk satu elemen terlebih dahulu, yang selanjutnya akan dirancang dengan metode Mimo. Perancangan antena mikrostrip dilakukan secara matematis. Ada beberapa hal yang dilakukan dalam merancang antena mikrostrip meliputi, Spesifikasi diatas merupakan parameter yang diharapkan oleh penulis dalam proses realisasi waveguide rectangular, yang akan dicetak menggunakan alat 3d Printing. Maka dari itu hasil dari pencetakan diharapkan memenuhi dari spesifikasi tersebut..

E. Teknik Pencatutan Antena

Teknik microstrip line feed akan digunakan dalam penelitian ini untuk mengumpangkan antena mikrostrip. Umpan koaksial, juga dikenal sebagai umpan probe, adalah teknik di mana konduktor luar kabel koaksial dihubungkan ke tanah dan konduktor dalam dihubungkan ke kabel yang memancar, seperti yang diilustrasikan di bawah ini. Keuntungan dari catu daya ini adalah dapat diposisikan di mana saja di patch atau wilayah saluran yang diinginkan agar sesuai dengan impedansi antena. Kekurangan dari pendekatan ini adalah biasanya mempunyai bandwidth yang terbatas. Namun demikian, adalah mungkin untuk memprediksinya dengan mengubah bentuk non-konvensional radiasi.

F. Perancangan Simulasi Antena Menggunakan Software

Untuk mengimplementasikan antena, Anda perlu mensimulasikannya terlebih dahulu. Optimasi dilakukan jika hasil run berdasarkan dimensi awal yang dihitung tidak memenuhi parameter yang dibutuhkan. optimasi dengan modifikasi bentuk dan nilai parameter. Jika hasil perhitungan desain pertama tidak memenuhi persyaratan, optimasi dilakukan dengan memodifikasi parameter dan bentuk antena. Menemukan ukuran antena yang ideal berdasarkan kriteria yang diantisipasi dikenal sebagai optimasi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini peneliti memberikan penjelasan obyektif mengenai temuan penelitian, termasuk analisis dan interpretasi data serta hubungan yang ditemukan.

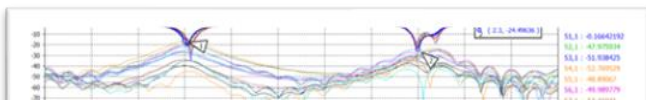
A. Analisis Hasil Simulasi Antena Single Element

Analisis dilakukan dengan membandingkan antara hasil simulasi antena single element tanpa teknik pencatutan proximity coupled dengan hasil simulasi antena single element dengan teknik pencatutan proximity coupled. Pada awal simulasi antena single element dilakukan optimasi untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal. Optimasi dilakukan dengan mengubah dimensi catuan antena dan dimensi patch antena sampai dihasilkan nilai VSWR 1,086 dengan bandwidth sebesar 76,7 MHz dan gain sebesar 2,775 dB. Nilai parameter antena yang didapatkan merupakan hasil paling optimal pada perancangan antena single element setelah dilakukannya optimasi. Namun, hasil tersebut belum memenuhi spesifikasi yang diinginkan karena bandwidth dan

gain yang didapatkan masih jauh dari spesifikasi yang ingin dicapai. Oleh karena itu, dilakukan perancangan antenna single element dengan teknik pencatutan proximity coupled untuk memperbesar bandwidth antenna. Simulasi awal antenna single element dengan teknik pencatutan proximity coupled masih perlu dioptimasi untuk mendapatkan nilai yang optimal. Sehingga dihasilkan nilai VSWR 1,021 dengan bandwidth sebesar 141,6 MHz.

1) Analisis Nilai VSWR dan Bandwidth Antena Single Element

Sebelumnya telah dilakukan perancangan dan simulasi untuk antenna single element patch rectangular. Setelah dilakukan optimasi, diketahui bahwa bandwidth yang dihasilkan belum memenuhi spesifikasi antenna meskipun spesifikasi untuk VSWR sudah terpenuhi. Oleh karena itu, perancangan dilanjutkan dengan menambahkan teknik pencatutan proximity coupled untuk memperlebar bandwidth antenna. Sub-bab ini akan membahas mengenai perbandingan nilai VSWR dan lebar bandwidth antenna single element tanpa teknik pencatutan proximity coupled dengan antenna single element yang menggunakan teknik pencatutan proximity coupled.

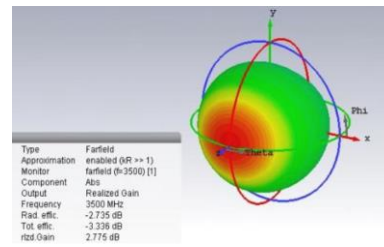


GAMBAR 2
(GRAFIK NILAI VSWR ANTENA SINGLE ELEMENT PATCH RECTANGULAR)

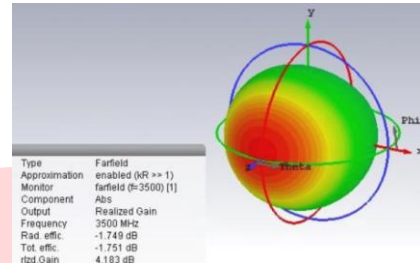
Grafik yang ditunjukkan pada Gambar 2 merupakan Hasil simulasi antenna elemen tunggal dengan menggunakan dan tanpa proximity coupling, serta proximity coupling setelah dioptimasi. Antena elemen tunggal tanpa pendekatan proximity linked menghasilkan nilai VSWR 1,095, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 Sementara itu, bandwidth VSWR 1.011 dihasilkan oleh antena elemen tunggal dengan menggunakan teknik penyatuan proximity coupled. Berdasarkan data yang dikumpulkan, antena elemen tunggal yang diproduksi tanpa teknik penyatuan proximity coupled dan yang menggunakan teknik penyatuan proximity coupled memenuhi nilai VSWR yang disyaratkan. Namun demikian, terlihat dari bandwidth yang dihasilkan bahwa antena elemen tunggal yang menggunakan teknik penggabungan kedekatan memiliki bandwidth yang lebih besar daripada antena elemen tunggal yang tidak menggunakan teknik penggabungan kedekatan.

2) Analisis Gain dan Pola Radiasi Antena Single Element

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan untuk perancangan antenna single element, diketahui bahwa penambahan teknik pencatutan proximity coupled menghasilkan gain yang lebih besar dibandingkan dengan saat antenna single element dirancang tanpa menggunakan teknik pencatutan proximity coupled. Sub-bab ini akan membahas mengenai perbandingan gain dan pola radiasi yang dihasilkan antenna single element tanpa teknik catutan proximity coupled dengan antenna single element yang menggunakan teknik catutan proximity coupled.



a. Tanpa Proximity Coupled



b. Proximity Coupled

GAMBAR 3
(GAIN ANTENA SINGLE ELEMENT)

Gambar 3 menunjukkan nilai gain yang dihasilkan dari antenna single element tanpa teknik pencatutan proximity coupled dan antenna single element dengan teknik pencatutan proximity coupled. Antena elemen tunggal tanpa pendekatan proximity coupled memiliki nilai gain sebesar 2,775 dB, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Sebaliknya, nilai gain dari antena elemen tunggal yang menggunakan teknik penyatuan proximity coupled adalah 4,183 dB. Dengan demikian, terbukti bahwa teknik penyatuan proximity coupled juga dapat meningkatkan gain antenna pada proyek akhir ini. Namun demikian, tidak ada satu pun antenna yang mencapai spesifikasi gain yang disyaratkan, yaitu $\geq 6,5$ dB. Oleh karena itu, selanjutnya dilakukan perancangan antenna susunan (array) dengan 2 elemen untuk meningkatkan gain.

TABEL 1
(DIMENSI ANTENA SINGLE ELEMENT)

Dimensi Antena Mikrostrip	Parameter	Nilai Perhitungan (mm)
Lebar Patch	W	40,06
Panjang Patch	L	31,09
Lebar Ground Plane	Wg	49,67
Panjang Ground Plane	Lg	40,69
Lebar Feed Line	Wf	3,06
Panjang Feed Line	Lf	9,6
Tinggi Konduktor	t	0,035
Tinggi Dielektrik	h	1,60

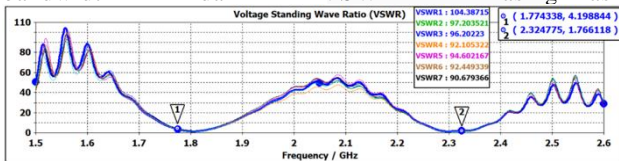
B. Analisis Hasil Simulasi Antena Susunan 2 Elemen

Analisis antenna susunan dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi antenna susunan tanpa teknik pencatutan proximity coupled dengan antenna susunan dengan teknik pencatutan proximity coupled. Perancangan antenna susunan 2 elemen menggunakan dimensi antenna single element yang telah dilakukan optimasi. Simulasi awal antenna susunan 2 elemen setelah dilakukan optimasi dimensi antenna memiliki nilai VSWR 1,22 dengan bandwidth sebesar 74 MHz dan gain sebesar 5,680 dB. Nilai parameter yang

didapatkan merupakan hasil paling optimal pada simulasi antenna susunan 2 elemen. Berdasarkan hasil simulasi tersebut, diketahui bahwa perancangan antenna secara susunan (array) 2 elemen dapat meningkatkan gain yang dihasilkan. Namun, bandwidth antenna yang dihasilkan menjadi lebih sempit daripada antenna single element yang memiliki bandwidth sebesar 76,7 MHz. Oleh karena itu, perlu dilakukan optimasi atau penambahan metode untuk memperlebar bandwidth antenna. Salah satu metode untuk pelebaran bandwidth yaitu dengan menggunakan teknik pencatutan proximity coupled. Pada simulasi awal antenna dengan teknik pencatutan proximity coupled masih perlu dilakukan optimasi dimensi antenna agar mendapatkan nilai yang optimal. Sehingga didapatkan hasil optimasi dengan nilai VSWR 1,15, bandwidth sebesar 208,9 MHz dan gain sebesar 6,708 dB.

1) Analisis Nilai VSWR dan Bandwidth Antena Susunan 2 Elemen Patch Rectangular

Antena patch persegi panjang dua elemen dirancang untuk memenuhi persyaratan penguatan yang tidak dapat dipenuhi oleh antenna elemen tunggal. Jika dibandingkan dengan antenna elemen tunggal, antenna array 2 elemen menghasilkan bandwidth yang lebih sempit. Teknik pencatutan proximity coupled dipilih karena teknik ini telah terbukti mampu meningkatkan bandwidth yang dihasilkan dalam desain elemen tunggal. Perbandingan antara susunan antenna dua elemen dengan proximity linked coupling dan yang tidak akan dibahas dalam bab ini, bersama dengan analisis nilai bandwidth dan VSWR masing-masing.



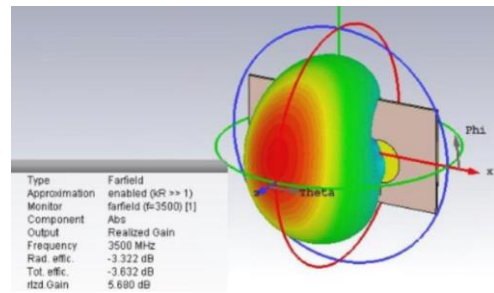
GAMBAR 4 (GRAFIK NILAI VSWR ANTENA SUSUNAN 2 ELEMEN)

Antena 2-elemen tanpa metode proximity coupled memiliki nilai VSWR sebesar 1.21, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Sementara itu, antenna array 2-elemen dengan metode proximity linked memiliki nilai VSWR sebesar 1,18. Hal ini menunjukkan bahwa antenna array 2-elemen yang menggunakan pendekatan proximity coupled memiliki bandwidth yang jauh lebih luas, sama seperti desain antenna elemen tunggal. Sebagai hasilnya, antenna array 2-elemen dengan pendekatan proximity-coupled telah mencapai bandwidth yang dibutuhkan sebesar ≥ 100 MHz.

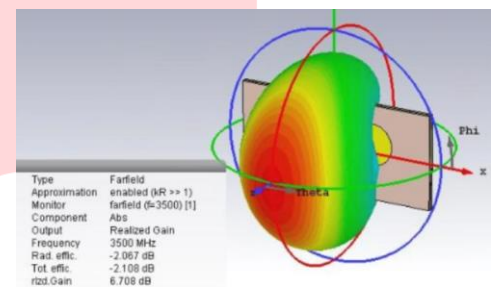
2) Analisis Gain dan Pola Radiasi Antena Susunan 2 Elemen Patch Rectangular

Perancangan antenna susunan 2 elemen patch rectangular dilakukan untuk memperbesar gain dan memfokuskan pancaran antenna. Hasil simulasi antenna susunan 2 elemen belum menghasilkan nilai gain yang cukup untuk memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Penambahan teknik pencatutan proximity coupled untuk memperlebar bandwidth, dalam hasil simulasi diketahui bahwa teknik ini juga dapat meningkatkan gain antenna meskipun tidak terlalu signifikan. Pembahasan mengenai perbandingan antenna susunan 2 elemen tanpa teknik pencatutan proximity coupled dengan antenna susunan 2 elemen yang menggunakan teknik

pencatutan proximity coupled adalah sebagai berikut. Gambar menunjukkan nilai gain yang dihasilkan oleh antenna susunan tanpa teknik pencatutan proximity coupled dan antenna susunan dengan teknik pencatutan proximity coupled.



a. Tanpa Proximity Coupled



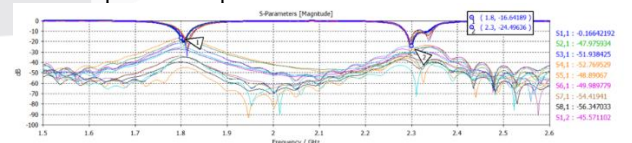
b. Proximity Coupled

GAMBAR 5 (ANTENA SUSUNAN 2 ELEMENR)

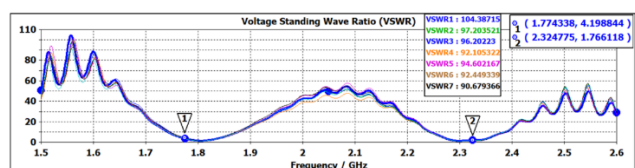
Nilai gain yang dioptimalkan dari simulasi antenna ditampilkan pada Gambar 4.4. Array antenna 2-elemen tanpa pendekatan proximity coupled memberikan penguatan sebesar 5,680 dB, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4. Di sisi lain, array antenna 2-elemen dengan teknik penyatuan proximity coupled memiliki gain sebesar 6,708 dB. Dengan demikian, terbukti bahwa gain array antenna 2-elemen dapat ditingkatkan dengan memanfaatkan teknik penyatuan jarak dekat. Pola radiasi untuk susunan antenna dengan teknik proximity linked dan susunan antenna tanpa teknik ini memberikan polarisasi searah sesuai dengan parameter yang diperlukan.

3) Analisis Penambahan Jarak Antena Susunan 2 Elemen

Pengaruh penambahan jarak antar elemen pada antenna susunan susunan 2 elemen terhadap nilai return loss dan VSWR dapat dilihat pada Gambar 6.



(a) Penambahan Jarak Antar elemen terhadap Return Loss



(b) Penambahan Jarak Antar Elemen Terhadap VSWR

GAMBAR 6

(Pengaruh Penambahan Jarak Antar Elemen VSWR)

Gambar 6 menunjukkan grafik return loss dan VSWR setelah dilakukan penambahan jarak antar elemen pada antenna susunan. Berdasarkan Gambar 6 diketahui bahwa penambahan jarak antar elemen mempengaruhi meningkatnya nilai VSWR. Tabel 2 menampilkan data hasil simulasi penambahan jarak antar elemen pada antenna susunan 2 elemen teradap nilai return loss dan VSWR.

TABEL 2

(Penambahan Jarak Antar Elemen pada Antena Susunan 2 Elemen)

Jarak Antar Elemen	Return Loss	VSWR
21.43 mm	-22,92 dB	1.15
27,29 mm	-15,28 dB	1.39
33,15 mm	-13,42 dB	1.54
39 mm	-14,21 dB	1.48
44.86 mm	-18,17 dB	1.28

Berdasarkan Tabel 2 diketahui bahwa semakin jauh jarak antar elemen pada antenna susunan 2 elemen menghasilkan nilai return loss dan VSWR yang lebih tinggi dibandingkan dengan antenna dengan jarak antar elemen yang lebih dekat. terutama pada jarak $\geq \lambda/2$.

C. Perbandingan Antena Single Elemen dengan Antena Susunan 2 Elemen

Setelah melakukan perancangan dan simulasi serta optimasi pada masing- masing antenna. Maka didapatkan nilai bandwidth dan gain seperti yang tertulis pada Tabel 3.

TABEL 3

(Perbandingan Bandwidth dan Gain Antena Single Elemen dengan Antena Susunan 2 Elemen)

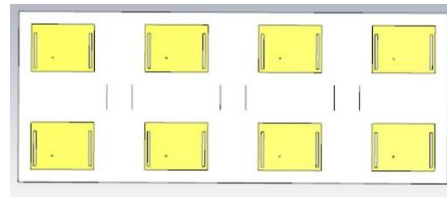
Parameter	Single Element		Susunan 2 Elemen	
	Tanpa Proximity Coupled	Dengan Proximity Coupled	Tanpa Proximity Coupled	Dengan Proximity Coupled
Bandwidth	76,7 MHz	140,8 MHz	75 MHz	208,9 MHz
Gain	2,775 dB	4,183 dB	5,540 dB	6,712 dB

Berdasarkan pada Tabel 4.2 dapat Telah diketahui bahwa bandwidth antenna dapat ditingkatkan dengan menggunakan teknik proximity coupled feed. Bandwidth yang dicapai dalam antenna single elemen yang menggunakan pendekatan proximity-coupling memenuhi standar yang diperlukan, namun penguatannya tidak. Di sisi lain, bandwidth dan gain yang dihasilkan dari antenna array 2 elemen dengan teknologi proximity coupler memenuhi parameter yang dibutuhkan. Oleh karena itu, array 2-elemen yang menggunakan proximity coupling dipilih dan dibuat sebagai antenna MIMO 4x2.

D. Analisis Hasil Simulasi Antena MIMO 4x2 Susunan 2 Elemen

Analisis antenna MIMO 4x2 akan dilakukan dengan melihat beberapa parameter seperti mutual coupling,

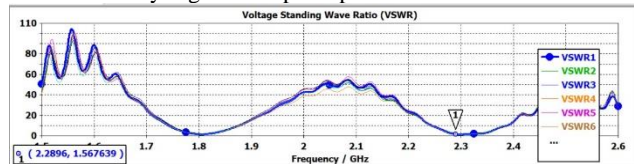
bandwidth, gain dan pola radiasi pada masing- masing antenna. Gambar 7 menunjukkan desain antenna MIMO 4x2 yang terdiri dari 4 antenna susunan 2 elemen dengan teknik pencatuan proximity coupled.



GAMBAR 7 (DESAIN ANTENA MIMO 4X2)

1) Analisis Nilai VSWR dan Bandwidth Antena MIMO 4x2

Antena yang digunakan untuk dirancang sebagai antenna MIMO 4x2 adalah anan 2 elemen patch rectangular dengan teknik pencatuan proximity coupled yang telah dilakukan optimasi. Pada saat perancangan MIMO 4x2, tidak perlu dilakukan otimasi kembali dikarenakan hasil perancangan pada antenna susunan 2 elemen yang menjadi antenna utama sudah memiliki hasil yang baik. Sehingga pada saat antenna dirancang menjadi antenna MIMO 4x2, maka akan memberi hasil simulasi yang baik seperti pada Gambar 8.



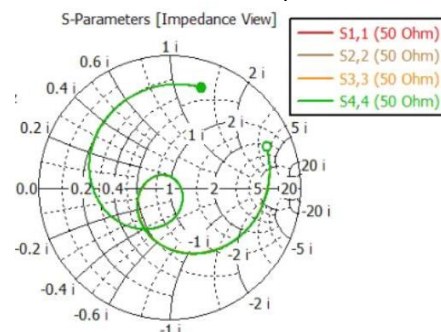
GAMBAR 8 (GRAFIK NILAI VSWR ANTENA MIMO 4X2)

TABEL 4 (VSWR DAN BANDWIDTH ANTENA MIMO 4X2)

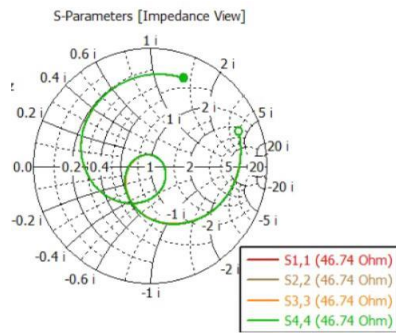
Antena	VSWR	Bandwidth
Pertama	1,153	211,7 MHz
Kedua	1,152	213,9 MHz
Ketiga	1,152	213,8 MHz
Keempat	1,153	211,9 MHz

Pada Tabel 4, dapat dijabarkan bahwasannya pada hasil VSWR menunjukkan antenna pertama 1,153 dengan Bandwidth 211,7 MHz, antenna kedua 1,152 dengan Bandwidth 213,9 MHz, antenna ketiga 1,152 dengan Bandwidth 213,8 MHz, dan antenna keempat 1,153 dengan Bandwidth 211,9 MHz.

2) Impedansi Antena MIMO 4x2 pada Smith Chart



a. Impedansi Karakteristik 50 Ω

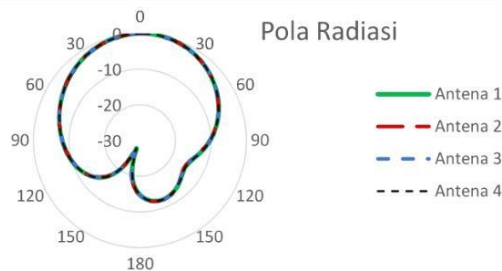


b. Impedansi Karakteristik 50 Ω

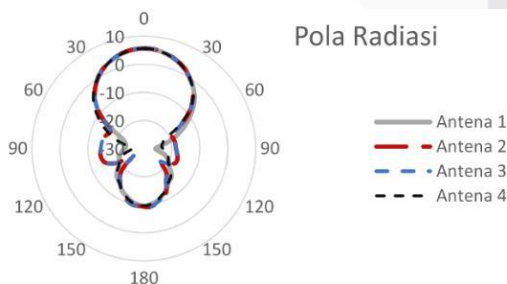
Pada proses simulasi dengan menggunakan software, impedansi karakteristik (Z) yang digunakan adalah 50. Sedangkan antenna MIMO 4x2 menghasilkan impedansi antenna (Z_a) sebesar 46,74. Besaran nilai impedansi mempengaruhi VSWR yang dihasilkan oleh antenna.

3) Analisis Gain dan Pola Radiasi Antena MIMO 4x2

Dalam membangun susunan antenna 2 elemen dengan menggunakan pendekatan proximity coupled, gain yang dihasilkan adalah 6,708 dB. Nilai penguatan masing-masing antenna lebih tinggi daripada saat pertama kali dibuat sebagai antenna MIMO 4x2 setelah teknik proximity coupled digunakan untuk membuat dan mensimulasikan antenna dengan array 2 elemen. Sehingga teknik pencatutan proximity coupled juga dapat meningkatkan nilai gain pada perancangan antenna MIMO 4x2. Oleh karena itu, gain yang dihasilkan oleh antenna MIMO 4x2 susunan 2 elemen dengan teknik pencatutan proximity coupled sudah memenuhi spesifikasi gain 6,5 dB.



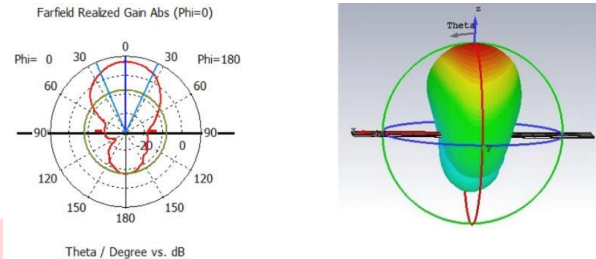
GAMBAR 9
(POLA RADIASI ELEVASI ANTENA MIMO 4X2 SUSUNAN 2 ELEMEN PATCH RECTANGULAR)



GAMBAR 10
(POLA RADIASI AZIMUTH ANTENA MIMO 4X2 SUSUNAN 2 ELEMEN PATCH RECTANGULAR)

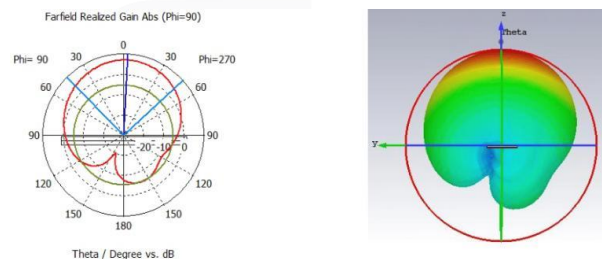
Gambar 9 menunjukkan Pola radiasi elevasi pada antenna MIMO 2 elemen array 4x2 menggunakan teknik proximity

coupled feed. Terlihat tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada pola radiasi masing-masing antenna pada MIMO 4x2. Gambar 10 menampilkan pola radiasi azimuth. Pola radiasi yang dihasilkan mempunyai radiasi maksimum pada satu arah baik secara azimuth maupun elevasi. Akibatnya, terbukti bahwa antenna MIMO 4x2 dengan teknologi proximity linked feed menghasilkan pola radiasi searah yang memenuhi persyaratan yang diperlukan



GAMBAR 11
(POLA RADIASI ANTENA ELEVASI PADA THETA DAN PHI)

Gambar 11 merupakan pola radiasi secara azimuth pada antenna MIMO 4x2 susunan 2 elemen. Berdasarkan Gambar 4.11 diketahui bahwa posisi antenna terletak pada sumbu x dengan $\phi=0$ dan theta pada sumbu $z=0$. Gambar 11 menunjukkan bahwa arah pancaran maksimum antenna dilihat secara azimuth menuju ke satu arah, sehingga didapatkan pola radiasi unidireksional.



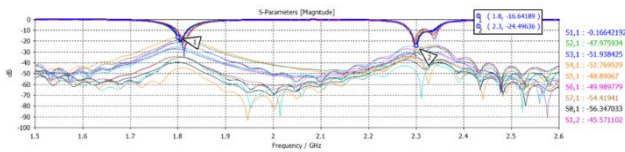
GAMBAR 12
(POLA RADIASI ANTENA ELEVASI PADA THETA DAN PHI)

Gambar 12 merupakan pola radiasi secara elevasi pada antenna MIMO 4x2 susunan 2 elemen. Berdasarkan Gambar 12 diketahui bahwa posisi antenna terletak pada sumbu y dengan $\phi=90$ dan theta pada sumbu $z=0$. Pola radiasi yang didapatkan adalah unidireksional karena pancaran maksimum antenna dilihat secara elevasi hanya menuju ke satu arah.

4) Analisis Mutual Coupling pada Antena MIMO 4x2

Mutual coupling merupakan interferensi yang terjadi ketika dua buah antenna diletakkan secara berdekatan. Pada antenna MIMO, diharapkan setiap antenna tidak saling bergantung satu sama lain atau independent. Oleh karena itu dibutuhkan nilai mutual coupling seminimal mungkin. Nilai mutual coupling yang baik dalam perancangan MIMO adalah ≤ -20 dB. Posisi mutual coupling masing-masing antenna pada MIMO 4x2. S21 memberikan penjelasan bahwa mutual coupling antara antenna 1 terhadap antenna 2 memiliki mutual coupling sebesar -41,378dB dalam artian daya yang dipancarkan oleh saluran pada antenna 1 masuk ke antenna 2. Begitu pula dengan S12 dimana daya yang dipancarkan oleh saluran pada antenna 2 masuk ke antenna 1 dengan mutual coupling antenna 2 terhadap antenna 1 sebesar -41,167 dB dan

berlaku juga untuk S13, S31 dan seterusnya. Grafik nilai mutual coupling pada antenna MIMO 4x2 untuk masing-masing antenna dapat dilihat pada Gambar 13.



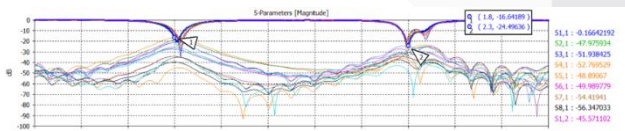
GAMBAR 13
(GRAFIK NILAI MUTUAL COUPLING ANTENA MIMO 4X2)

TABEL 5
(NILAI MUTUAL COUPLING ANTENA MIMO 4X2)

S Parameters	Mutual Coupling	S Parameters	Mutual Coupling
S ₂₁	-41,378 dB	S ₁₃	-54,450 dB
S ₃₁	-55,523 dB	S ₂₃	-41,140 dB
S ₄₁	-62,243 dB	S ₄₃	-41,176 dB
S ₁₂	-1,167 dB	S ₁₄	-62,246 dB
S ₃₂	-41,126 dB	S ₂₄	-55,498 dB
S ₄₂	-54,451 dB	S ₃₄	-41,383 dB

Tabel 5 Mutual coupling merupakan interferensi yang terjadi ketika dua buah antenna diletakkan secara berdekatan. Pada antenna MIMO, diharapkan setiap antenna tidak saling bergantung satu sama lain atau independent. Oleh karena itu dibutuhkan nilai mutual coupling seminimal mungkin. Nilai mutual coupling yang baik dalam perancangan MIMO adalah ≤ -20 dB. Posisi mutual coupling masing-masing antenna pada MIMO 4x2. S₂₁ memberikan penjelasan bahwa mutual coupling antenna 1 terhadap antenna 2 memiliki mutual coupling sebesar -41,378dB dalam artian daya yang dipancarkan oleh saluran pada antenna 1 masuk ke antenna 2. Begitu pula dengan S₁₂ dimana daya yang dipancarkan oleh saluran pada antenna 2 masuk ke antenna 1 dengan mutual coupling antenna 2 terhadap antenna 1 sebesar -41,167 dB dan berlaku juga untuk S₁₃, S₃₁ dan seterusnya. Grafik nilai mutual coupling pada antenna MIMO 4x2 untuk masing-masing antenna dapat dilihat pada Gambar 13.

5) Analisis Penambahan Jarak pada Antena MIMO 4x2



GAMBAR 14
(PENGARUH PENAMBAHAN JARAK ANTENA PADA MIMO 4X2)

Berdasarkan Gambar 14 dapat diketahui bahwa nilai mutual coupling dipengaruhi oleh jarak antar antenna pada MIMO 4x2. Hasil simulasi menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai mutual coupling seiring dengan bertambahnya jarak antar antenna. Data hasil simulasi penambahan jarak antar antenna pada MIMO 4x2 susunan 2 elemen dapat dilihat pada Tabel 6.

TABEL 6
(PENGARUH PENAMBAHAN JARAK TERHADAP MUTUAL COUPLING ANTENA MIMO 4X2)

Mutual Coupling	Jarak Antar Antena		
	38,06 mm	63,06 mm	83,06 mm
S ₂₁	-41,379 dB	-48,354 dB	-49,715 dB
S ₃₁	-55,525 dB	-57,656 dB	-56,05 dB
S ₄₁	-62,242 dB	-64,688 dB	-60,329 dB
S ₁₂	-41,167 dB	-48,528 dB	-49,772 dB
S ₂₂	-41,126 dB	-41,718 dB	-50,163 dB
S ₄₂	-54,451 dB	-57,917 dB	-56,035 dB
S ₁₃	-54,450 dB	-57,915 dB	-56,013 dB
S ₂₃	-41,140 dB	-46,713 dB	-50,158 dB
S ₄₃	-41,175 dB	-48,537 dB	-49,774 dB
S ₁₄	-62,246 dB	-64,720 dB	-60,323 dB
S ₂₄	-55,498 dB	-57,665 dB	-56,07 dB
S ₃₄	-41,383 dB	-48,346 dB	-49,704 dB

Berdasarkan data simulasi pada Tabel 6 dapat diketahui bahwa penambahan jarak antar antenna pada antenna MIMO 4x2 dapat mempengaruhi nilai mutual coupling yang dihasilkan oleh antenna. Pada Tabel 6 data terbanyak menunjukkan bahwa semakin jauh jarak antenna, maka nilai mutual coupling antar antenna memiliki nilai yang semakin kecil. Sehingga, semakin jauh jarak antar antenna, maka interferensi yang terjadi antara antenna satu dengan lainnya juga semakin kecil. Hal ini lah dari table tersebut memakai mutual coupling S₃₂.

V. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari proses penelitian Tugas Akhir yang berjudul Antena MIMO 4x2 Susunan 2 Elemen Mikrostrip Patch Rectangular 3,5 GHz untuk BTS 5G ini adalah sebagai berikut. Sedangkan pada antenna susunan 2 elemen setelah dilakukan optimasi, didapatkan nilai gain sebesar 5,680 dB., Penggunaan teknik pencatutan proximity coupled pada perancangan single element maupun susunan 2 elemen dapat memperbesar bandwidth yang dihasilkan. Pada single element dan susunan 2 elemen tanpa teknik pencatutan proximity coupled setelah dilakukan optimasi dihasilkan bandwidth sebesar 76,7 MHz dan 74 MHz. Hal ini dikarenakan antenna tersebut sudah memenuhi spesifikasi termasuk untuk nilai gain dan bandwidth yang diinginkan., dan Pola radiasi yang dihasilkan antenna MIMO 4x2 sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan yaitu unidireksional dengan beamwidth rata-rata yang dihasilkan sebesar 290. Hal ini sudah cukup baik apabila antenna yang dirancang akan digunakan sebagai BTS 5G pada indoor area untuk diletakkan pada sudut ruangan atau di tengah-tengah ruangan dengan menyusun antenna secara sectoral

.REFERENSI

- [1] Rodriguez, Jonathan. "Fundamental of 5G Mobile Networks", Portugal :Insti- tuto de Telecomunicacoes. 2015.
- [2] Yusnita Rahayu, "High Gain 5G MIMO Antenna for Mobile Base Station," in International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), vol. 9, no. 1, February, 2019.
- [3] Y. Kishiyama, A. Benjebbour, S. Nagata, Y. Okumura and N. Takehiro, "NTT DOCOMO 5G Activities - Toward 2020 Launch of 5G Services-," NTT DO-COMO Technical Journal, vol. 17, 2016
- [4] R. Tian, Y. Liang, X. Tan and T. Li, "Overlapping User Grouping in IoT Ori- ented Massive MIMO Systems," IEEE Access, vol. 5, pp. 14177-14186, 2017.

- [5] Pradina, Wahyu Ananda Sabilla, Heroe Wijanto, and Trasma Yunita. "Antena Mimo 4×2 Susunan 2 Elemen Mikrostrip Patch Rectangular 3, 5 Ghz Untuk Bts 5g (mimo 4×2 Of 2 Circular Patch Mikrostrip Antenna Array 3, 5 Ghz For Bts 5g)." eProceedings of Engineering 8.2 (2021).
- [6] Nashiruddin, Faiz, Trasma Yunita, and Heroe Wijanto. "Simulasi dan Rancangan Antena MIMO 4×2 susunan 2 Elemen Mikrostrip Patch Persegi untuk BTS Indoor 5G,"
- [7] 5GPPP, "5G Vision," Electron. Publ., p. 16, 2015
- [8] K. K. dan Informatika, "Frekuensi 5G Indonesia." <https://www.kominfo.go.id/>.
- [9] Rodriguez, Jonathan. "Fundamental of 5G Mobile Networks", Portugal :Insti- tuto de Telecomunicacoes. 2015.
- [10] C. B. Papadias, Parasitic Antenna Susunans for Wireless MIMO Systems, New York: Springer Science, 2014.
- [11] D. M. Pozar, "Microstrip Antennas," Proc. IEEE, Vol. 80, No. 1, pp. 79–81, January 1992 Wardhana, Lingga. "2G/3G RF Planning and Optimization for Consultant". Penerbit www.nulisbuku.com. Jakarta Selatan. 2011.
- [12] Balanis, Constantine A. 2005. "Antenna Theory Analysis and Design 3rd edition". USA : Wiliey InterScience.
- [13] W. L. Stutzman and W. A. Davis, Antenna Theory. 1999
- [14] M. Ramesh and K. B. Yip, Desing Inset Fed Microstrip Patch Antennas, Microwaves and RF, 2003.
- [15] N. M. Thaker and V. Ramamoorthy, "A Review on Circular Microstrip Patch Antenna with Slots for C Band Applications," International Journal of Scientific and Engineering Research, vol. 5, no. 12, pp. 1039-1043, December 2014.
- [16] D. M. Pozar, "Microstrip Antennas," Proc. IEEE, Vol. 80, No. 1, pp. 79–81, January 1992 Wardhana, Lingga. "2G/3G RF Planning and Optimization for Consultant". Penerbit www.nulisbuku.com. Jakarta Selatan. 2011
- [17] D.G. Fang, Antenna Theory and Microstrip, vol. 1. 2010
- [18] A. salim, Rancang Bangun Antena Mikrostrip Biquad Linier Array Dengan Pencatuan Aperture Coupled Untuk Aplikasi BWA, universitas indonesia., 2009
- [19] A. H. R. Fellix Deriko, Fellix Deri "Rancang Bangun Antena Mikrostrip Array Patch Segiempat Dual-Band (2,3GHz dan 3,3 GHz) Dengan Pencatuan Proximity Couple", Uversitas Sumatera Utara., 2013.
- [20] Y. Li, C.-Y.-D. Sim, Y. Luo and G. Yang, "12-Port 5G Massive MIMO Antenna Array in Sub-6GHz Mobile Handset for LTE Bands 42/43/46 Applications," IEEE Access, vol. 6, pp. 344-354, 2018.
- [21] A. Salim, Rancang Bangun Antena Mikrostrip Biquad Linier Array Dengan Pencatuan Aperture Coupled Untuk Aplikasi BWA, universitas indonesia., 2009.
- [22] Qadar, Moch. "Analisis Pengaruh Perubahan Kemiringan Sudut Pancar Antena Sektor Terhadap Kualitas Layanan Jaringan Sistem Komunikasi Bergerak Seluler", Prodi Teknik Elektro Universitas Tanjungpura Pontianak. 2014