

RESEARCH ARTICLE

Antenna Array 4x2 Mikrostrip Patch Persegi Dual Frekuensi untuk BTS 5G

Rama Putra Ilyas Eka Cipta, Dr. Ir. Heroe Wijanto, M.T.*
and Dr. Yussi Perdana Saputera, ST.,

Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung, 40257, Jawa Barat, Indonesia
* Corresponding author: heroew@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 1GHz, 1 – 6GHz dan diatas 6 GHz. Pada frekuensi 1 – 6GHz 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 [1]. MIMO dipilih karena mendukung spesifikasi 5G yang membutuhkan kapasitas yang besar pada sistem komunikasinya. Tugas Akhir ini mengusulkan Antena MIMO 4 × 2 Array 2 elemen menggunakan *patch Rectangular*. Untuk mendapatkan *Beamwidth* 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 *polaradiasi unidireksional* pada frekuensi 1,8GHz dan 2,3GHz.

Key words: Antena Mikrostrip Patch Persegi, Multiple Input Multiple Output (MIMO) 4 × 2, BTS, 5G.

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 dibawah 1 GHz, 1 – 6GHz diatas 6 GHz diantara frekuensi 1 – 6GHz, terdapat frekuensi yang bisa digunakan untuk pengembangan teknologi komunikasi 5G, yaitu frekuensi 3,3 – 4,2GHz. 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 3,5GHz. Selain itu penelitian antena MIMO Array telah dilakukan sebelumnya yang membahas perancangan antena MIMO array 3,5GHz 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 dikedua 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* 2 dengan *polaradiasi unidireksional* pada frekuensi 1,8GHz dan 2,3GHz.

Tinjauan Pustaka

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.

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 diantara 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, dimana 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 menemati sebuah titik di ruang angkasa dikenal sebagai sumber titik isotropik. antena dengan N elemen dimana 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.

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.

Teknik Pencatuan

Microstrip line, *proximity coupled*, *coaxial probe*, dan *aperture coupled* adalah beberapa teknik yang digunakan dalam penggabungan 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*.

Antena Susunan

Antena Susunan merupakan beberapa antena indentik yang disusun yang dicitu 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 [4].

Antena Sektorial

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.

Base Tranceiver Station (BTS)

Base Tranceiver 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 sektorial yang menjadi perhatian pada penelitian tugas akhir ini.

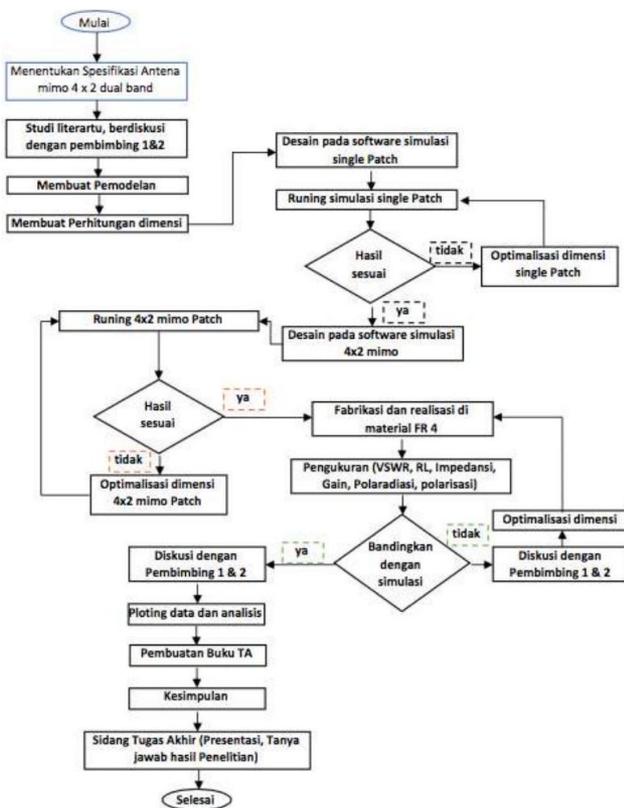
Metodologi Penelitian

Pada bagian ini membahas mengenai tentang perancangan antena *mikrostrip* mimo dengan menggunakan konfigurasi dual band dengan catuan *Transmission insert feed* yang digunakan untuk aplikasi 5G frekuensi 1,8GHz dan 2,3 Ghz. Perancangan dalam membuat Antena susunan 4×2 *mikrostrip patch* persegi dengan catuan *Transmission insert feed* ini dimaksudkan agar Antena ini dapat bekerja sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan.

Perancangan dan Realisasi

Dalam perancangan dan realisasi Antena *mikrostrip* 4×2 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 1,8GHz dan 2,3Ghz mimo 4×2 *mikrostrip patch* persegi dengan catuan *Transmission feed 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 antena.
3. Pembuatan pabrikasi sesuai dengan hasil simulasi yang paling akurat. Proses untuk mewujudkan bentuk antena yang telah dirancang dalam perangkat lunak simulasi disebut pabrikasi. Antena dibuat oleh



Gambar 1. Diagram Alir

pekerja yang berpengalaman dan mahir menggunakan metode *fotocching* untuk mencapai dimensi antenna yang tepat dan memenuhi spesifikasi yang diperlukan.

Skema Perancangan

Nomor persamaan diberikan secara berurutan. Angka persamaan yang diapit tanda kurung harus diposisikan rata dengan tab *stop* tepat disebelah kanan dilihat pada gambar 1. Tahapan perancangan dimulai dengan menentukan spesifikasi yang diinginkan untuk membuat antenna susun 4×2 *rectangular patch* 2,3GHz untuk BTS 5G.

Pemilihan Desain Perangkat

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

Perancangan Antena

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

Teknik Pencatutan Antena

Teknik *microstrip line feed* akan digunakan dalam penelitian ini untuk mengumpangkan antenna *microstrip*. Umpang koaksial, juga dikenal sebagai umpang probe, adalah teknik dimana konduktor luar kabel koaksial dihubungkan ke tanah dan konduktor dalam dihubungkan ke kabel yang memancar, seperti yang diilustrasikan di bawah ini. Keuntungan dari cara ini adalah dapat diposisikan dimana saja dipatch atau wilayah saluran yang diinginkan agar sesuai dengan impedansi antenna. Kekurangan dari pendekatan ini adalah biasanya mempunyai *bandwidth* yang terbatas. Namun demikian, adalah mungkin untuk memprediksinya dengan mengubah bentuk nonkonvensional radiasi.

Perancangan Simulasi Antena Menggunakan Software

Untuk mengimplementasikan antenna, 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 antenna. Menemukan ukuran antenna yang ideal berdasarkan kriteria yang diantisipasi dikenal sebagai optimasi.

Hasil dan Pembahasan

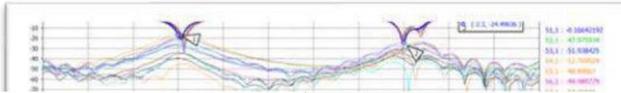
Pada bagian ini peneliti memberikan penjelasan objektif mengenai temuan penelitian, termasuk analisis dan interpretasi data serta hubungan yang ditemukan.

Analisis Hasil Simulasi Antena *Single Element*

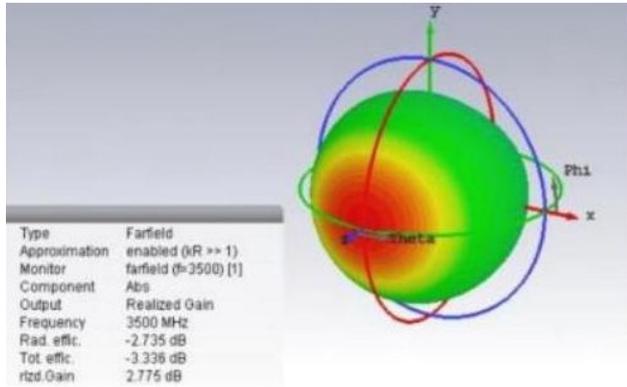
Analisis dilakukan dengan membandingkan antara hasil simulasi antenna *single element* tanpa teknik pencatutan *proximity coupled* dengan hasil simulasi antenna *single element* dengan teknik pencatutan *proximity coupled*. Pada awal simulasi antenna *single element* dilakukan optimasi untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal. Optimasi dilakukan dengan mengubah dimensi catutan antenna dan dimensi *patch* antenna sampai dihasilkan nilai VSWR 1,086 dengan *bandwidth* sebesar 76,7MHz dan gain sebesar 2,775 dB. Nilai parameter antenna yang didapatkan merupakan hasil paling optimal pada perancangan antenna *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 141,6MHz.

1. Analisis Nilai VSWR dan *Bandwidth* Antena *Single Element*

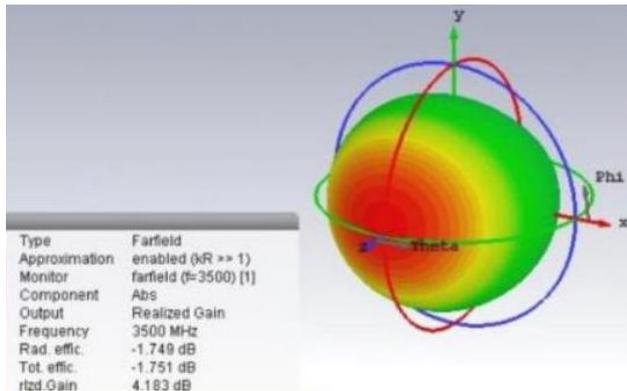
Sebelumnya telah dilakukan perancangan dan simulasi untuk antenna *single element patch rectangular*. Setelah dilakukan optimasi, diketahui bahwa *bandwidth* yang dihasilkan belum memenuhi spesifikasi antenna meskipun spesifikasi untuk VSWR sudah terpenuhi. Oleh karena itu, perancangan dilanjutkan dengan 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*. 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



Gambar 2. Grafik Nilai VSWR Antena *Single Element Patch Rectangular*



Gambar 3. Tanpa *Proximity Coupled* Antena *Single Element*



Gambar 4. *Proximity Coupled* Antena *Single Element*

ditunjukkan pada Gambar 2 Sementara itu, *bandwidth* VSWR 1.011 dihasilkan oleh antenna elemen tunggal dengan menggunakan teknik penyatuan *proximity coupled*. Berdasarkan data yang dikumpulkan, antenna 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 antenna elemen tunggal yang menggunakan teknik penggabungan kedekatan memiliki *bandwidth* yang lebih besar daripada antenna 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*. Gambar 3 menunjukkan nilai gain yang dihasilkan dari antenna *single element* tanpa teknik pencatutan *proximity coupled* dan antenna *single element* dengan teknik pencatutan *proximity*

Table 1. Dimensi Antena *Single Element*

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

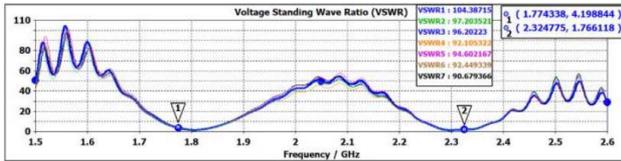
coupled Antena elemen tunggal tanpa pendekatan *proximity coupled* memiliki nilai gain sebesar 2,775 dB, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Sebaliknya, nilai gain dari antenna elemen tunggal yang menggunakan teknik penyatuan *proximity coupled* adalah 4,183 dB ditunjukkan pada Gambar 4. Dengan demikian, 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 ditampilkan pada tabel 1.

Analisis Hasil Simulasi Antena Susunan 2 Elemen

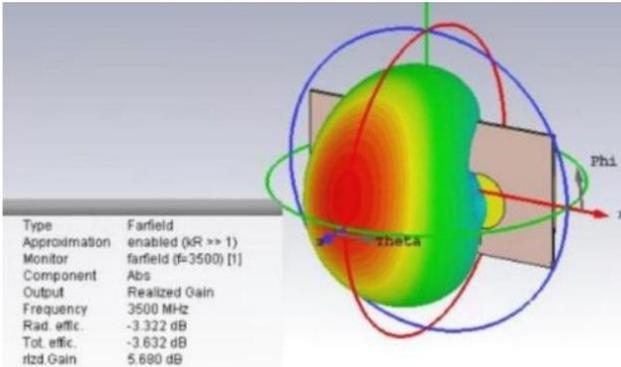
Analisis antenna susunan dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi antenna susunan tanpa teknik pencatutan *proximity coupled* dengan antenna susunan dengan teknik pencatutan *proximity coupled*. Perancangan antenna susunan 2 elemen menggunakan dimensi antenna *single element* yang telah dilakukan 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 76,7MHz. 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 208,9MHz dan gain sebesar 6,708 dB.

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

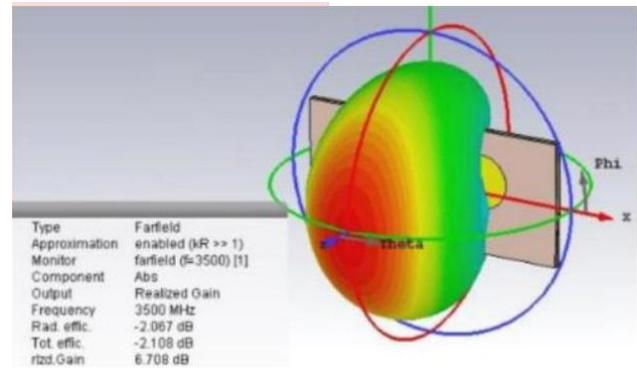
Antena *patch* persegi panjang dua elemen dirancang untuk memenuhi persyaratan penguatan yang tidak dapat dipenuhi oleh antenna elemen tunggal. Jika dibandingkan dengan antenna elemen tunggal, antenna *array* 2 elemen menghasilkan *bandwidth* yang lebih sempit. Teknik pencatutan *proximity coupled* dipilih 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. Antena 2-elemen tanpa metode *proximity coupled* memiliki nilai VSWR sebesar 1.21,



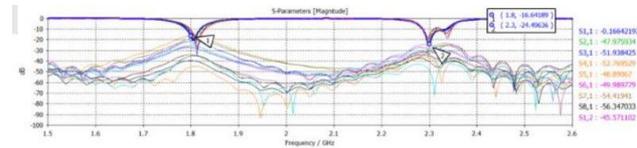
Gambar 5. Grafik Nilai VSWR Antena Susunan 2 Elemen



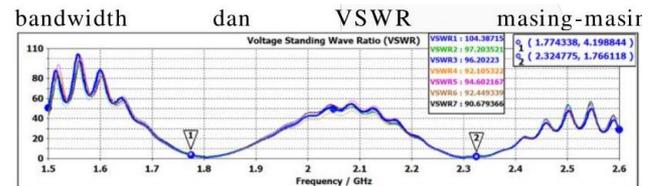
Gambar 6. Tanpa Proximity Coupled Antena Susunan 2 Elemen



Gambar 7. Proximity Coupled Antena Susunan 2 Elemen



Gambar 8. Penambahan Jarak Antar elemen terhadap Return Loss



Gambar 9. Penambahan Jarak Antar Elemen Terhadap VSWR

Table 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

elemen terhadap nilai *return loss* dan VSWR dapat dilihat pada Gambar 8 9. Gambar 8 9 menunjukkan grafik *return loss* dan VSWR setelah dilakukan penambahan jarak antar elemen pada antenna susunan. Berdasarkan Gambar di atas 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. 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 $\geq \lambda/2$.

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 ditunjukkan pada Gambar 5. 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.

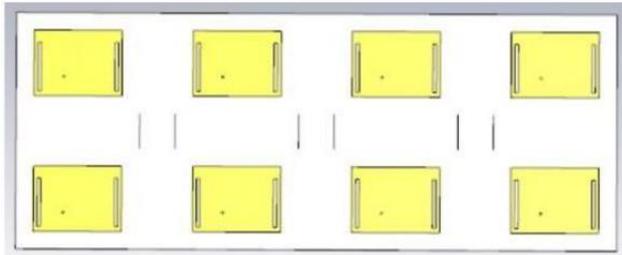
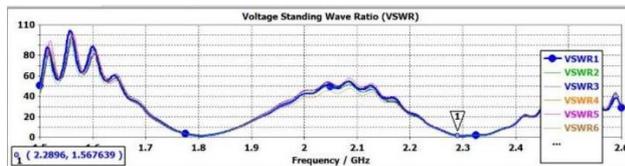
2. Analisis Gain dan Pola Radiasi Antena Susunan 2 Elemen Patch Rectangular

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 6 menunjukkan nilai gain yang dihasilkan oleh antenna susunan tanpa teknik pencatutan *proximity coupled* dan antenna susunan dengan teknik pencatutan *proximity coupled*. Nilai gain yang dioptimalkan dari simulasi antenna ditampilkan pada Gambar 6. *Array* antenna 2-elemen tanpa pendekatan *proximity coupled* memberikan penguatan sebesar 5,680 dB, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Disisi lain, *array* antenna 2-elemen dengan teknik penyatuan *proximity coupled unification* memiliki gain sebesar 6,708 dB ditampilkan pada Gambar 7. 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

Table 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, 7MHz	140, 8MHz	75 MHz	208, 9MHz
Gain	2, 775 dB	4, 183 dB	5, 540 dB	6, 712 dB

**Gambar 10.** Desain Antena Mimo 4x2**Gambar 11.** Grafik Nilai VSWR Antena Mimo 4x2

seperti yang tertulis pada Tabel 3. Berdasarkan pada Tabel 3 dapat telah diketahui bahwa *bandwidth* antena dapat ditingkatkan dengan menggunakan teknik *proximity coupled feed*. *Bandwidth* yang dicapai dalam antena *single element* yang menggunakan pendekatan *proximity coupling* memenuhi standar yang diperlukan, namun penguatannya tidak. Disisi lain, *bandwidth* dan gain yang dihasilkan dari antena *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 antena MIMO 4×2 .

Analisis Hasil Simulasi Antena MIMO 4×2 Susunan 2 Elemen

Analisis antena MIMO 4×2 akan dilakukan dengan melihat beberapa parameter seperti *mutual coupling*, *bandwidth*, gain dan pola radiasi pada masing- masing antena. Gambar 10 menunjukkan desain antena MIMO 4×2 yang terdiri dari 4 antena susunan 2 elemen dengan teknik pencatuan *proximity coupled*.

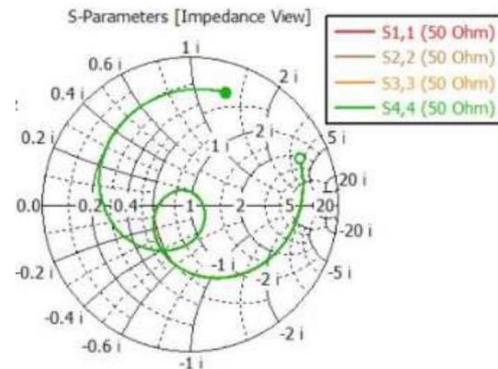
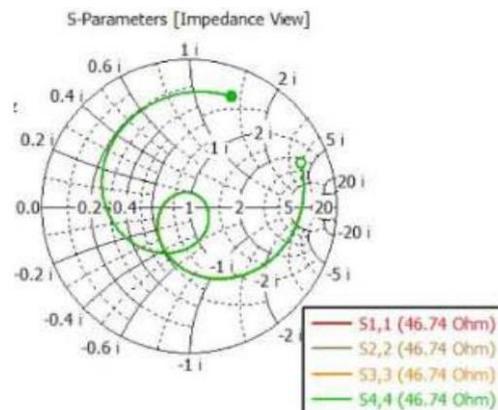
1. Analisis Nilai VSWR dan *Bandwidth* Antena MIMO 4×2

Antena yang digunakan untuk dirancang sebagai antena MIMO 4×2 adalah susunan 2 elemen *patch rectangular* dengan teknik pencatuan *proximity coupled* yang telah dilakukan optimasi. Pada saat perancangan MIMO 4×2 , tidak perlu dilakukan optimasi kembali dikarenakan hasil perancangan pada antena susunan 2 elemen yang menjadi antena utama sudah memiliki hasil yang baik. Sehingga pada saat antena dirancang menjadi antena MIMO 4×2 , maka akan memberi hasil simulasi yang baik seperti pada Gambar 11.

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

Table 4. VSWR Dan *Bandwidth* Antena Mimo 4x2

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

**Gambar 12.** Impedansi Karakteristik 50Ω**Gambar 13.** Impedansi Karakteristik 50Ω

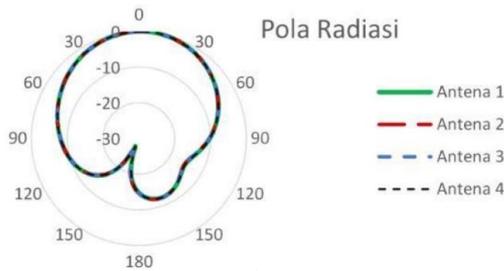
2. Impedansi Antena MIMO 4×2 pada Smith Chart

Pada proses simulasi dengan menggunakan *software*, impedansi karakteristik (Z) yang digunakan adalah 50. Sedangkan antena MIMO 4×2 menghasilkan impedansi antena (Z), sebesar 46,74. Besaran nilai impedansi mempengaruhi VSWR yang dihasilkan oleh antena. Dapat dilihat pada gambar 12 dan gambar 13

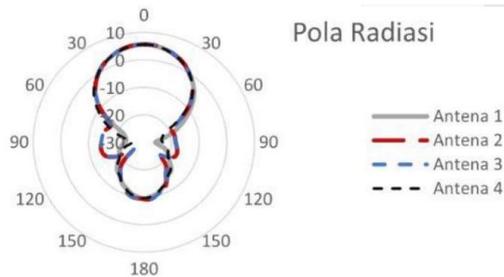
3. Analisis Gain dan Pola Radiasi Antena MIMO 4×2

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

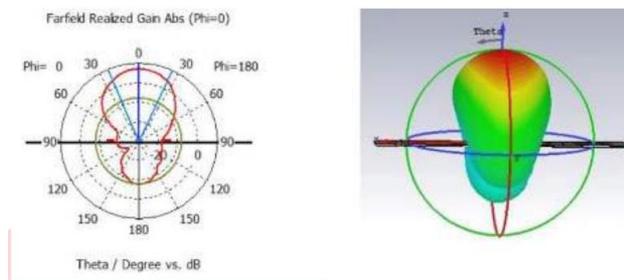
Gambar 14 menunjukkan Pola radiasi elevasi pada antena MIMO 2 elemen *array* 4×2 menggunakan teknik *proximity coupled feed*.



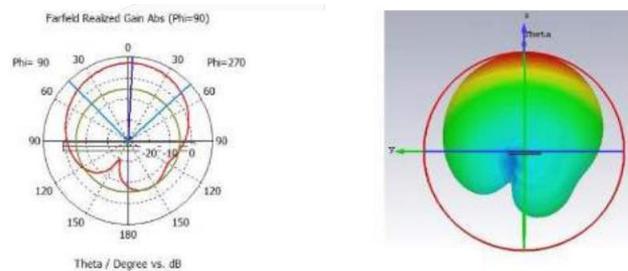
Gambar 14. Pola Radiasi Elevasi Antena Mimo 4x2 Susunan 2-Elemen Patch Rectangular



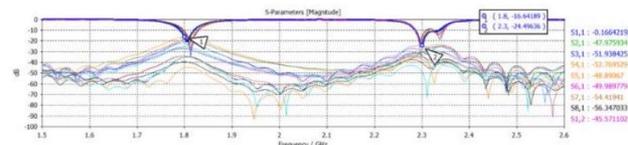
Gambar 15. Pola Radiasi Azimuth Antena Mimo 4x2 Susunan 2-Elemen Patch Rectangular



Gambar 16. Pola Radiasi Antena Elevasi Pada Theta Dan Phi



Gambar 17. Pola Radiasi Antena Elevasi Pada Theta Dan Phi



Gambar 18. Pola Radiasi Antena Elevasi Pada Theta Dan Phi

Table 5. Nilai Mutual Coupling Antena Mimo 4x2

S Parameters	Mutual Coupling	S Parameters	Mutual Coupling
S ₂ 1	-41,378 dB	S ₁ 3	-54,450 dB
S ₃ 1	-55,523 dB	S ₂ 3	-41,140 dB
S ₄ 1	-62,243 dB	S ₄ 3	-41,176 dB
S ₁ 2	-1,167 dB	S ₁ 4	-62,246 dB
S ₃ 2	-41,126 dB	S ₂ 4	-55,498 dB
S ₄ 2	-54,451 dB	S ₃ 4	-41,383 dB

independen. 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 4×2 . S₂1 memberikan penjelasan bahwa *mutual coupling* antenna 1 terhadap antenna 2 memiliki *mutual coupling* sebesar $-41,378$ dB 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 $-1,167$ dB dan berlaku juga untuk S₁3, S₃1 dan seterusnya. Grafik nilai *mutual coupling* pada antenna MIMO 4×2 untuk masing-masing antenna dapat dilihat pada Gambar 18.

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 independen. 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 4×2 . S₂1 memberikan penjelasan bahwa *mutual coupling* antenna 1 terhadap antenna 2 memiliki *mutual coupling* sebesar $-41,378$ dB 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 $-1,167$ dB dan berlaku juga untuk S₁3, S₃1 dan seterusnya. Grafik nilai *mutual coupling* pada antenna MIMO 4×2 untuk masing-masing antenna dapat dilihat pada Gambar 18.

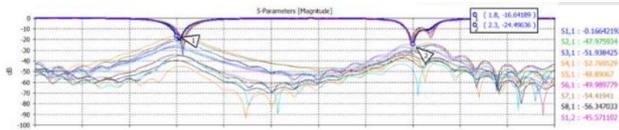
5. Analisis Penambahan Jarak pada Antena MIMO 4×2

Berdasarkan Gambar 19 dapat diketahui bahwa nilai *mutual cou-*

Terlihat tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada pola radiasi masing-masing antenna pada MIMO 4×2 . Gambar 15 menampilkan pola radiasi azimuth. Pola radiasi yang dihasilkan mempunyai radiasi maksimum pada satu arah baik secara azimuth maupun elevasi. Akibatnya, terbukti bahwa antenna MIMO 4×2 dengan teknologi *proximity linked feed* menghasilkan pola radiasi searah yang memenuhi persyaratan yang diperlukan. Gambar 16 merupakan pola radiasi secara azimuth pada antenna MIMO 4×2 susunan 2 elemen. Berdasarkan Gambar 16 diketahui bahwa posisi antenna terletak pada sumbu x dengan $\phi = 0$ dan theta pada sumbu z = 0. Gambar 16 menunjukkan bahwa arah pancaran maksimum antenna dilihat secara azimuth menuju ke satu arah, sehingga didapatkan pola radiasi *unidirectional*. Gambar 17 merupakan pola radiasi secara elevasi pada antenna MIMO 4×2 susunan 2 elemen. Berdasarkan Gambar 17 diketahui bahwa posisi antenna terletak pada sumbu y dengan $\phi = 90$ dan theta pada sumbu z = 0. Pola radiasi yang didapatkan adalah *unidirectional* karena pancaran maksimum antenna dilihat secara elevasi hanya menuju ke satu arah.

4. Analisis Mutual Coupling pada Antena MIMO 4×2

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



Gambar 19. Pengaruh Penambahan Jarak Antena Pada Mimo 4x2

Table 6. Pengaruh Penambahan Jarak Terhadap Mu Tual Coupling Antena Mimo 4x2

Mutual Coupling	Jarak Antar Antena		
	38,06 mm	63,06 mm	33,06 mm
S ₂ 1	-41,379 dB	-48,354 dB	-49,715 dB
S ₃ 1	-55,525 dB	-57,656 dB	-56,05 dB
S ₄ 1	-62,242 dB	-64,688 dB	-60,329 dB
S ₁ 2	-41,167 dB	-48,528 dB	-49,772 dB
S ₃ 2	-41,126 dB	-41,718 dB	-50,163 dB
S ₄ 2	-54,451 dB	-57,917 dB	-56,035 dB
S ₁ 3	-54,450 dB	-57,915 dB	-56,013 dB
S ₂ 2	-41,140 dB	-46,713 dB	-50,158 dB
S ₄ 3	-41,175 dB	-48,537 dB	-49,774 dB
S ₃ 4	62,246 dB	64,720 dB	60,323 dB
S ₂ 4	-55,498 dB	-57,665 dB	-56,07 dB
S ₃ 4	41,383 dB	48,346 dB	49,704 dB

pling dipengaruhi oleh jarak antar antena pada MIMO 4×2 . Hasil simulasi menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai *mutual coupling* seiring dengan bertambahnya jarak antar antena. Data hasil simulasi penambahan jarak antar antena pada MIMO 4×2 susunan 2 elemen dapat dilihat pada Tabel 6. Berdasarkan data simulasi pada Tabel 6 dapat diketahui bahwa penambahan jarak antar antena pada antena MIMO 4×2 dapat mempengaruhi nilai *mutual coupling* yang dihasilkan oleh antena. Pada Tabel 6 data terbanyak menunjukkan bahwa semakin jauh jarak antena, maka nilai *mutual coupling* antar antena memiliki nilai yang semakin kecil. Sehingga, semakin jauh jarak antar antena, maka interferensi yang terjadi antara antena satu dengan lainnya juga semakin kecil. Hal ini lah dari table tersebut memakai *mutual coupling* S32.

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari proses penelitian Tugas Akhir yang berjudul Antena MIMO 4×2 Susunan 2-Element Mikrostrip

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

Daftar Pustaka

- Rahayu Y. High Gain 5G MIMO Antenna for Mobile Base Station. International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). 2019 February;9(1).
- Tian R, Liang Y, Tan X, Li T. Overlapping User Grouping in IoT Oriented Massive MIMO Systems. IEEE Access. 2017;5:14177-86.
- dan Informatika KK. Frekuensi 5G Indonesia;. <https://www.kominfo.go.id/>.
- Balanis CA. Antenna Theory: Analysis and Design. 3rd ed. USA: Wiley Interscience; 2005.
- Ramesh M, Yip KB. Design Inset Fed Microstrip Patch Antennas. Microwaves and RF. 2003.
- Thaker NM, Ramamoorthy V. A Review on Circular Microstrip Patch Antenna with Slots for C Band Applications. International Journal of Scientific and Engineering Research. 2014 Dec;5(12):1039-43.
- Salim A. Rancang Bangun Antena Mikrostrip Biquad Linear Array dengan Pencatuan Aperture Coupled untuk Aplikasi BWA; 2009.
- Qadar M. Analisis Pengaruh Perubahan Kemiringan Sudut Pancar Antena Sektorial Terhadap Kualitas Layanan Jaringan Sistem Komunikasi Bergerak Seluler; 2014.
- Pradina WAS, Wijanto H, Yunita T. Antena MIMO 4×2 Susunan 2 Elemen Mikrostrip Patch Rectangular 3.5 GHz Untuk BTS 5G (MIMO 4×2 of 2 Circular Patch Microstrip Antenna Array 3.5 GHz for BTS 5G). eProceedings of Engineering. 2021;8(2).
- Nashiruddin F, Yunita T, Wijanto H. Simulasi dan Rancangan Antena MIMO 4×2 Susunan 2 Elemen Mikrostrip Patch Persegi untuk BTS Indoor 5G;.