

ANTENA MIMO UNTUK BTS SISTEM PEMANTAU SUNGAI CITARUM PADA ISM BAND 886-906 MHz

MIMO ANTENNA FOR BTS SYSTEM MONITORING CITARUM RIVER IN ISM BAND 886-906 MHz

Yoga Sukma Mahendra¹, Rina Pudji Astuti², Trasma Yunita³

Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

yogasukma@student.telkomuniversity.ac.id, rinapudjiastuti@telkomuniversity.ac.id,

trasmayunita@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Perangkat monitoring BTS sungai Citarum membutuhkan sistem transmisi yang dapat mengirimkan data secara *real time*. Sehingga dibutuhkan sistem antenna yang mengakomodasi persyaratannya tersebut. Penelitian ini mengusulkan sistem antenna MIMO menggunakan elemen *array* untuk memenuhi spesifikasi sistem monitoring yang diharapkan. Sistem antenna MIMO dapat menjadi solusi karena menawarkan peningkatan kapasitas dan *throughput*, meningkatkan *data rate*, dan mampu mengurangi kerugian akibat *multipath fading*, serta memiliki frekuensi kerja yang fleksibel hingga dapat bekerja hampir di semua rentang frekuensi kerja. Sedangkan metode *array* digunakan untuk menghasilkan pola radiasi yang memiliki karakteristik tertentu dan meningkatkan *gain*. Pada penelitian ini, telah didesain antenna MIMO *Array 4X4 Rectangular Patch* yang bekerja di frekuensi kerja UHF, yaitu pada frekuensi 886-906 MHz. Sebagai antenna pemancar yang akan dicoba diimplementasikan pada BTS Sungai Citarum. Antenna memiliki *gain* 3,359 dBi dan *bandwidth* 20,73 MHz, pola radiasi unidireksional dan polarisasi berbentuk linear. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa antenna MIMO *Array 4X4 Rectangular Patch* sudah memenuhi spesifikasi untuk diterapkan di BTS Sungai Citarum.

Kata kunci: Citarum Harum, MIMO, Antena, Frekuensi, *Gain*, *Bandwidth*.

Abstract

Citarum River BTS monitoring device requires a transmission system that can transmit data in real time. So that it requires an antenna system that accommodates these requirements. This study proposes that the MIMO antenna system uses array elements to meet the expected monitoring system specifications. MIMO antenna system can be a solution because it offers increased capacity and throughput, increases data rate, and is able to reduce losses due to multipath fading, and has a flexible working frequency that can work in almost all working frequency ranges. While the array method is used to produce radiation patterns that have certain characteristics and increase the gain. In this research, MIMO Array 4X4 Rectangular Patch antenna has been designed that works at UHF working frequency, that is at frequency 886-906 MHz. As a transmitter antenna that will be tried to be implemented in the Citarum River BTS. The antenna has a gain of 3.359 dBi and a bandwidth of 20.73 MHz, unidirectional radiation pattern and linearly shaped polarization. The results of this study indicate that the MIMO Array 4X4 Rectangular Patch antenna has met the specifications to be applied in the Citarum River BTS

Keywords: Citarum Harum, MIMO, Antennas, Frequency, Gain, Bandwidth.

1. Pendahuluan

Sungai Citarum adalah sungai dengan lingkungan sekitar alirannya telah puluhan tahun tercemar. Tahun ke tahun Citarum semakin mengengaskan. Di era pemerintahan Presiden Jokowi, sebuah langkah penanggulangan diambil. Ia mengeluarkan Peraturan Presiden Nomor 15 Tahun 2018 tentang Percepatan Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Daerah Aliran Sungai Citarum yang ditandatangani pada 14 Maret 2018. Untuk merealisasikannya, pemerintah pusat dan daerah meluncurkan program Citarum Harum yang ditargetkan selama tujuh tahun [1]. Dalam hal ini Telkom University sebagai perguruan tinggi turut ambil bagian dalam program Citarum Harum dalam fokus bidang teknologi. Teknologi yang akan dibuat dalam bentuk *Canoe* atau kayak dengan fungsi untuk pemantau kadar keasaman sungai dengan *Base Transceiver Station* (BTS) sebagai pengontrol. Dan tugas akhir ini bertujuan menentukan frekuensi terbaik untuk antena yang ada di *canoe*, *canoe* tersebut mempunyai fungsi untuk cek kadar keasaman air sungai. Antena yang dicoba pada frekuensi ISM band 886-906 MHz.

Untuk meminimalisir banyak gangguan dalam pentransmisi seperti *multipath fading* sinyal di system BTS tersebut ke alat pemantau, antena dengan sistem MIMO menjadi salah satu solusi. Sistem MIMO adalah sistem antena yang menggunakan lebih dari satu antena baik untuk transmitter maupun *receiver*. Sistem MIMO juga menawarkan peningkatan kapasitas tanpa meningkatkan *bandwidth* dan daya secara keseluruhan, meningkatkan data rate, dan mampu mengurangi kerugian akibat *multipath fading*[2]. Metode *Array* tujuannya untuk menghasilkan pola radiasi yang memiliki karakteristik tertentu yang diinginkan dengan beberapa elemen menjadi satu[3].

Namun belum ada penelitian yang menerapkan jenis antena dengan sistem MIMO dan bekerja untuk frekuensi ISM band 886-906 MHz untuk system BTS terhadap alat pemantau sungai. Dalam penelitian ini, maka diharapkan hasil dari penelitian ini dapat dijadikan analisis penelitian sebagai pembandingan dengan Antena MIMO untuk BTS Sistem Pemantau Sungai Citarum pada frekuensi yang lainnya.

2. Dasar Teori

2.1 Alokasi Frekuensi

Frekuensi 886-906 MHz dikategorikan sebagai frekuensi UHF (*Ultra High Frequency*) yang berada pada rentang 300 MHz - 3 GHz. Frekuensi 886-906 MHz dikategorikan sebagai gelombang mikro dan biasanya digunakan pada aplikasi *backhaul* (penghubung antara *Base Transceiver Station* dan *Base Station Controller*) di dalam jaringan komunikasi nirkabel serta diterapkan pada radar[6].

Pada penerapan frekuensi tersebut digunakan untuk komunikasi daya rendah dan jarak pendek antar perangkat. Seperti di Indonesia digunakan untuk GSM Bergerak Cellular, Radio Panggil Untuk Umum, Wireless Data dan Tetap Darat UHF. Frekuensi 886-906 MHz sebagai frekuensi Aplikasi Industri, Scientific dan Medis (ISM) yang artinya operasi dari suatu alat atau perangkat yang dirancang untuk membangkitkan atau menggunakan energi frekuensi radio secara lokal untuk keperluan Industri, Ilmiah, Medis alat-alat rumah tangga atau sejenisnya yang tidak termasuk penggunaan dalam bidang telekomunikasi[6] dan frekuensi ini dipakai untuk mencapai kapasitas dan *coverage* yang lebih baik, diantara frekuensi ISM band lainnya.

Keuntungan frekuensi 886-906 Mhz karena UHF maka Keuntungan utama dari pita UHF adalah gelombang fisik yang pendek mampu dihasilkan oleh frekuensi tinggi. Ukuran antena transmisi dan penerimaan, tergantung oleh ukuran gelombang radio. Antena UHF adalah sedikit gemuk dan pendek[2]. Memasang antena yang lebih kecil sudah mampu digunakan untuk frekuensi yang lebih tinggi. Maka untuk mengetahui frekuensi terbaik untuk diletakkan di BTS untuk Sungai Citarum memakai frekuensi tersebut.

2.2 Antena dan Parameter Pengujian

Antena merupakan alat yang fungsinya mengubah arus listrik catuan menjadi gelombang elektromagnetik kemudian diradiasikan ke udara, dan dapat berperan sebaliknya sebagai penerima gelombang elektromagnetik untuk kemudian ditransformasikan ke arus listrik. Antena memiliki banyak jenis dan bentuk, seperti antena helix, antena YagiUda, antena horn, antena dipole hingga bentuk MIMO[5].

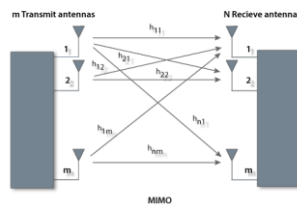
Frekuensi yang digunakan pada penelitian ini adalah 886 MHz – 906 MHz. Untuk perhitungan f dimensi antena terlebih dahulu ditetapkan nilai:

- a. Frekuensi tengah = 896 MHz
- b. ϵ_r bahan FR4 (Efoxy) = 4,3
- c. μ_r = mendekati 1 (Udara)
- d. tebal patch = 0,035 mm
- e. tebal substrat = 1,6 mm

Dalam penelitian ini, yang menjadi focus utama adalah ketika dilakukan pengujian antena yakni *Gain*, *bandwidth*, *mutual coupling*, pola radiasi, polarisasi dan VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*).

2.3 MIMO (Multiple Input Multiple Output)

MIMO merupakan suatu sistem yang menggunakan antena lebih dari satu baik di pengirim (Tx) maupun di penerima (Rx). MIMO M×N menandakan jumlah antena di pengirim sebanyak M dan jumlah antena di penerima sebanyak N. Pada penelitian Tugas Akhir ini akan dilakukan perancangan sistem antena MIMO 4 × 4 yang menandakan 4 antena di pengirim dan 4 antena di penerima.



Gambar 2. 3 Struktur Multiple-input Multiple-output (MIMO)

Teknologi MIMO akan menghasilkan frekuensi yang efisien dengan cara mengirimkan informasi yang sama dari dua atau lebih pemancar ke penerima, sehingga mengurangi kemungkinan informasi yang hilang dibanding dengan menggunakan pemancar tunggal. [10]

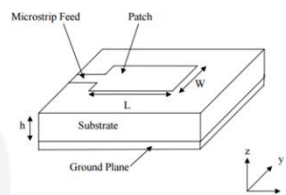
Berikut keunggulan antenna mimo dibandingkan dengan antenna tunggal :

1. Dapat meningkatkan Kapasitas baik kapasitas link maupun kapasitas sistem
2. Dapat meningkatkan Throughput
3. Dapat meningkatkan reliability sinyal
4. Meningkatkan kehandalan transmisi

2.4 Antena Mikrostrip

Antena merupakan struktur transisi antara gelombang terbimbing (saluran transmisi) dengan gelombang ruang bebas atau sebaliknya[12]. Energi listrik dari pemancar dikonversi menjadi gelombang elektromagnetik dan oleh sebuah antena yang kemudian gelombang tersebut dipancarkan menuju udara bebas. Pada penerima akhir gelombang elektromagnetik dikonversi menjadi energi listrik dengan menggunakan antena.

Bentuk dan jenis antena bermacam-macam, salahsatunya Mikrostrip. Antena Mikrostrip adalah potongan konduktor metal yang menempel diatas substrat yang terbuat dari bahan dielektrik, dan terdapat groundplane di sisi lainnya. Antena mikrostrip terdiri dari tiga bagian, yaitu elemen peradiasi (patch), substrat, dan elemen pentanahan (groundplane). Bentuk patch bisa bermacam-macam disesuaikan dengan kebutuhan perancangan dan spesifikasi yang dituju, bisa persegi, persegi panjang, segitiga, lingkaran, cincin, fraktal, atau bentuk lainnya. Salah satu bentuk patch banyak digunakan dalam perancangan antena Mikrostrip adalah bentuk rectangular. Bentuk patch ini pada dasarnya menghasilkan polarisasi linier[8].

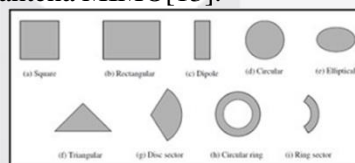
Gambar 2.4.1 Antena Mikrostrip *Rectangular Patch*

Keterangan : w : lebar patch

L : panjang patch

h : tebal substrat

Bentuk *patch* antenna MIMO juga bermacam-macam sesuai dengan penelitian, contoh pada gambar 2.4 adalah jenis-jenis *patch* pada antena MIMO[13].

Gambar 2.4.2 Jenis *patch* antena

2.5 Array

Antena array adalah antena yang terdiri dari beberapa elemen yang saling berhubungan dan diatur dalam struktur yang teratur. Tujuan dari di buatnya sebuah antena array adalah untuk menghasilkan pola radiasi yang memiliki karakteristik tertentu yang diinginkan dengan beberapa elemen menjadi satu. Antena array adalah satu set antena spasial yang di pisahkan. Antenanya sendiri bisa terdiri dari 2 (dua), atau bahkan ribuan (seperti yang di gunakan oleh angkatan udara)[4]. Secara umum, kinerja dari antena ini meningkat sesuai jumlah elemen yang kita buat dalam array.

Antena array bertahap secara tradisional digunakan untuk aplikasi radar militer. Satu lagi penting yang dapat mengambil keuntungan dari array bertahap adalah radar menghindari tabrakan otomotif atau teknologi cruise control adaptif [9]

3. MODEL SISTEM DAN PERANCANGAN

3.1 Desain Sistem

Sistem perancangan pada penelitian ini antena MIMO *Array* 4×4 (empat elemen) dengan bentuk patch rectangular tujuannya adalah untuk memenuhi spesifikasi dari antena yang sudah disesuaikan dengan tujuan penelitian ini. Antena didesain untuk kepentingan transfer data untuk penggerak sistem di *canoe*, khususnya di

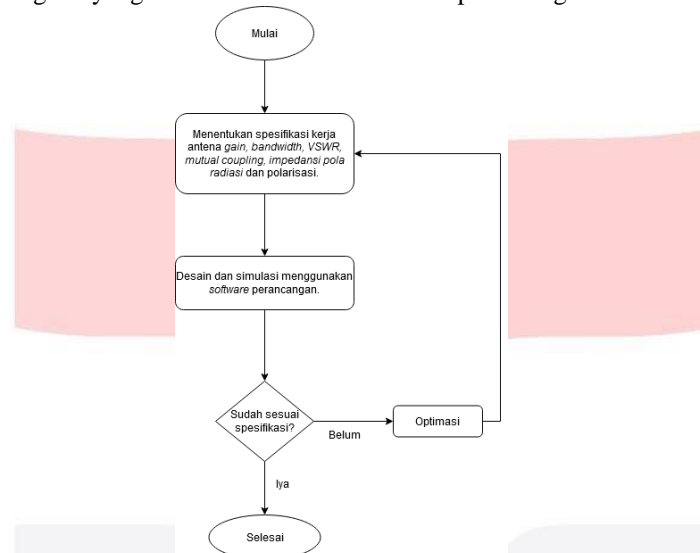
frekuensi 886-906 MHz. Dalam perancangannya, akan digunakan *software* perangkat lunak.

Parameter keberhasilan saat pengujian adalah frekuensi kerja dari antenna, *Bandwidth*, *VSWR*, *Gain*, Pola radiasi dan Polarisasi.

Tahapan pertama pada penelitian ini yaitu menentukan spesifikasi dan bentuk dari antenna yang akan dirancang. Kemudian melakukan perhitungan dengan persamaan yang didapatkan dari berbagai referensi untuk kemudian didesain pada *software* yang digunakan. Setelah perhitungan dilakukan didesain pada *software* yang digunakan dan apabila belum memenuhi keinginan dapat dilakukan optimasi.

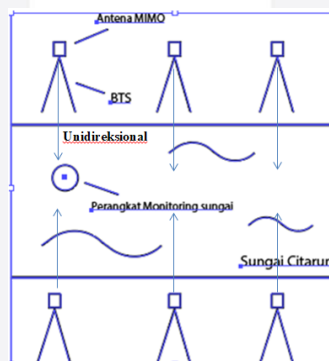
3.1.1 Diagram Blok

Adapun beberapa langkah yang dilakukan dalam melakukan perancangan ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1.1 Blok Diagram

Pada penelitian ini Antena MIMO yang dirancang akan dipasang disekitar Sungai Citarum sesuai dengan gambar 3. 2



Gambar 3.1.2 Ilustrasi BTS sekitar Sungai Citarum

3.2 Spesifikasi Antena

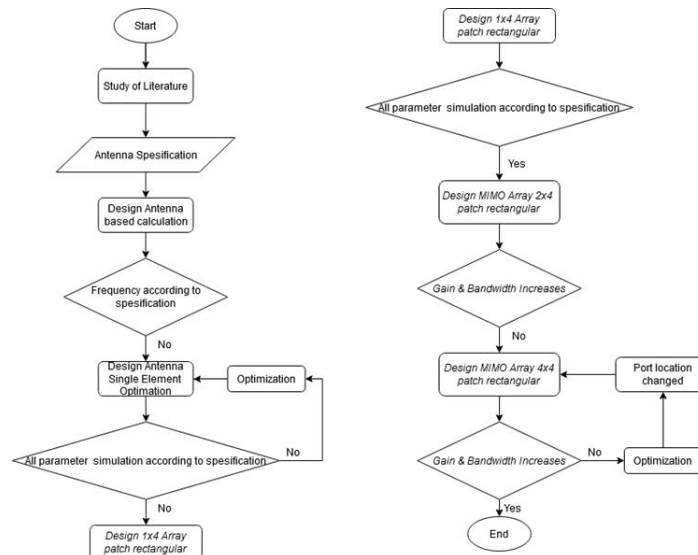
Tabel 3. 1 Spesifikasi Antena

Frekuensi	886-906 MHz
Bandwidth	20 MHz
Gain	> 2.5 dBi
Polarisasi	Linier
Pola	Unidireksional
Mutual	< -20 dB
VSWR	<2 dB
Impedansi	50 Ohm

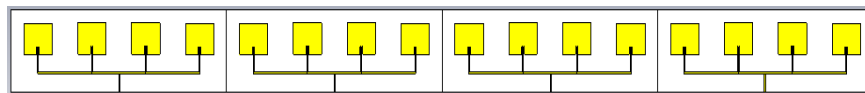
3.3 Bahan Antena

Parameter yang dipertimbangkan pada pemilihan substrat adalah ketebalan (h) dan konstanta dielektrik (ϵ_r). Substrat yang tebal dengan konstanta dielektrik kecil sering digunakan untuk mendapatkan antenna dengan efisiensi tinggi dan *bandwidth* yang lebih lebar, tetapi dimensi antenna akan lebih besar. Begitupun sebaliknya, substrat tipis dan konstanta dielektrik besar akan menghasilkan dimensi antenna yang lebih kecil, namun efisiensi dan *bandwidth* lebih kecil. Oleh karena itu antenna harus didesain dengan pertimbangan dimensi, performansi, dan aplikasinya. Pada tugas akhir ini, substrat yang digunakan adalah FR4 dengan nilai ϵ_r sebesar 4,3 dengan tebal substrat sebesar 1,6 mm sedangkan elemen peradiasi dan groundplane menggunakan material berbahan cooper dengan tebal 35 μm .

3.4 Gambaran Perancangan Antena



Seperti yang dijelaskan sebelumnya, antena yang akan dirancang adalah antena mimo 4x4 dari antena MIMO dengan patch persegi panjang. Antena *array* kemudian disusun dan digandakan sebanyak 4 elemen untuk membentuk sistem MIMO. Antena disusun seperti pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 Perancangan Antena

3.5 Perhitungan Dimensi Antena

Tahapan awal perancangan antena adalah perhitungan nilai dimensi antena yang diperlukan untuk proses *design* antena. Berdasarkan perhitungan menggunakan perhitungan rumus yang terdapat di bab 2, didapatkan nilai-nilai dimensi antena seperti pada Tabel 3.1, yang akan digunakan dalam mendesain antena MIMO *rectangular patch*. Tabel tersebut akan digunakan menjadi acuan dalam mendesain antena, dengan menggunakan *software simulasi* perancangan antena. Berdasarkan perhitungan dibawah ini :

1. Menghitung lebar patch:

$$Wp = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}}$$

$$Wp = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 0,896 \times 10^9 \sqrt{\frac{4,3 + 1}{2}}}$$

$$Wp = 29,4455 \text{ mm}$$

2. Menghitung panjang patch Sebelum menghitung panjang patch (L_p), harus dihitung pertambahan panjang dari patch akibat adanya fringing effect (ΔL) terlebih dahulu.

$$\Delta L = 0,412 \times h \frac{(\epsilon_r + 0,3) \left(\frac{W}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_r + 0,258) \left(\frac{W}{h} + 0,8 \right)}$$

h merupakan tebal substrat, yaitu 1,67mm, ϵ_{re} adalah konstanta dielektrik efektif yang dirumuskan sebagai berikut

$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{W} \right)^{-\frac{1}{2}}$$

$$\epsilon_{re} = \frac{4,3 + 1}{2} + \frac{4,3 - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{0,00167}{0,0294455} \right)^{-\frac{1}{2}}$$

$$\epsilon_{re} = 8,7143$$

Substitusikan persamaan ϵ_{re} ke ΔL , sehingga akan mendapatkan nilai ΔL

$$\Delta L = 0,412 \times 0,00167 \frac{(8,7143 + 0,3) \left(\frac{0,0294455}{0,00167} + 0,264 \right)}{(8,7143 + 0,258) \left(\frac{0,0294455}{0,00167} + 0,8 \right)}$$

$$\Delta L = 15,418 \times 10^{-4} = 1,5418 \text{ mm}$$

Panjang *patch* (L_p) dirumuskan oleh :

$$L = L_{eff} - 2\Delta L$$

L_{eff} merupakan panjang *patch* efektif yang dapat dirumuskan dengan :

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{re}}}$$

Substitusikan persamaan ϵ_{re} ke L_{eff} untuk menghitung nilai L_{eff}

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0\sqrt{\epsilon_{re}}} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 0,896 \times 10^9 \sqrt{8,7143}}$$

$$L_{eff} = 39,6748 \text{ mm}$$

Substitusikan persamaan L_{eff} ke L, sehingga bisa menghitung nilai panjang *patch*

$$L_p = 39,6748 - 2 \times (1,5418)$$

$$L_p = 36,5912$$

3. Menghitung dimensi microstrip line Lebar saluran pencatu utama dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

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

Dimana $B = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}}$; $Z_0 : 50 \Omega$ (Impedansi Beban)

$B = 5,64$, sehingga

$$W = \frac{2 \times 0,00167}{\pi} (5,64 - 1 - \ln(2 \times 5,64 - 1)) + \frac{4,3 - 1}{2 \times 4,3} \left[\ln(5,64 - 1 + 0,39 - \frac{0,61}{4,3}) \right]$$

$$W_m = 3,0842$$

$$\frac{W_m}{h} = \frac{3,0842}{1,67} = 1,846$$

Karena $W_m/h > 1$, maka nilai konstanta dielektrik efektif (ϵ_{re}) dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{W}\right)^{-\frac{1}{2}}$$

$$\epsilon_{re} = \frac{4,3 + 1}{2} + \frac{4,3 - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{0,00167}{3,0842 \times 10^3}}}\right)^{-\frac{1}{2}}$$

$$\epsilon_{re} = 2,87$$

Selanjutnya akan dihitung λ_g , yaitu panjang gelombang di dalam medium dielektrik

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{re}}}$$

$$\lambda_g = \frac{c}{f \sqrt{\epsilon_{re}}}$$

$$\lambda_g = \frac{3 \times 10^8}{0,896 \times 10^9 \sqrt{2,87}}$$

$$\lambda_g = 0,01976 \text{ m}$$

Panjang *microstrip line* dihitung menggunakan transformator $\lambda_g/4$

$$L_m = \frac{\lambda_g}{4}$$

$$L_m = \frac{0,01976}{4}$$

$$L_m = 4,94 \text{ mm}$$

4. Menghitung dimensi groundplane Menentukan dimensi minimal *ground plane* dapat menggunakan persamaan berikut $A_g = 6t + a$

t adalah tebal substrat, sedangkan a adalah panjang atau lebar *patch* Maka panjang *groundplane* :

$$L_g = 6(1,67) + 36,5912 = 46,6112 \text{ mm}$$

Sedangkan lebar *groundplane* :

$$W_g = 6(1,67) + 29,4455 = 39,4655 \text{ mm}$$

Hasil perhitungan dimensi antenna secara keseluruhan bisa dilihat pada tabel

Tabel 3.1 Dimensi Antena Berdasarkan Perhitungan

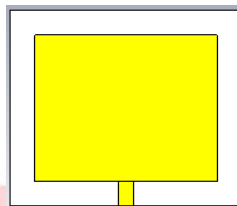
Parameter	Nilai (mm)	Keterangan
L_g	46.6112	Panjang groundplane
L_p	36.5912	Panjang patch
L_m	4.944	Panjang line pencatu (feeder)
L_s	-	Panjang slot
W_g	39.4655	Lebar groundplane
W_p	29.4455	Lebar patch
W_m	3.0842	Lebar line pencatu (feeder)
W_s	-	Lebar slot

3.6 Perancangan Antena Berdasarkan Perhitungan

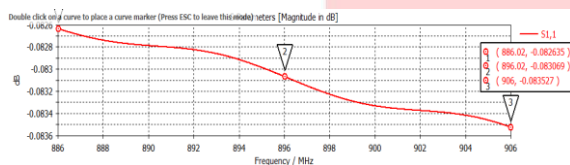
Simulasi ini bertujuan untuk menguji apakah dimensi antenna yang didapat melalui perhitungan sudah menghasilkan antenna dengan performansi yang sesuai dengan spesifikasi.

3.6.1 Desain Antena *Single Element Rectangular Patch* berdasarkan hasil perhitungan.
Tabel 3.6.1 Dimensi Antena *Single Element* berdasarkan hasil perhitungan.

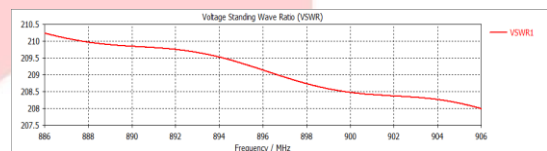
Parameter	Nilai (mm)	Keterangan
Lg	46.6112	Panjang groundplane
Lp	36.5912	Panjang patch
Lm	4.944	Panjang line pencatu (feeder)
Ls	4.75	Panjang slot
Wg	39.4655	Lebar groundplane
Wp	29.4455	Lebar patch
Wm	3.0842	Lebar line pencatu (feeder)
Ws	10.75	Lebar slot



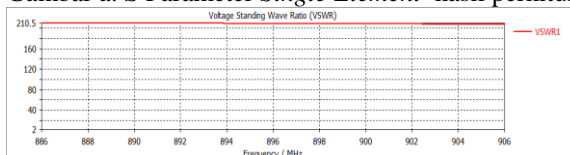
Gambar 3.6.1 Antena *Single Element* berdasarkan hasil perhitungan.
Hasil simulasi berdasarkan perhitungan:



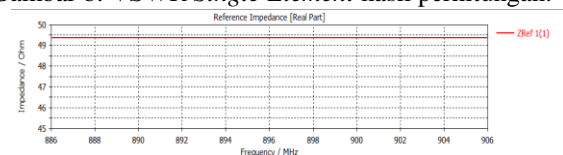
Gambar a. S Parameter *Single Element* hasil perhitungan.



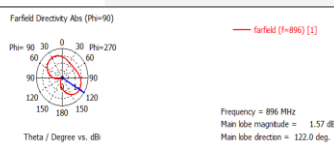
Gambar b. VSWR *Single Element* hasil perhitungan.



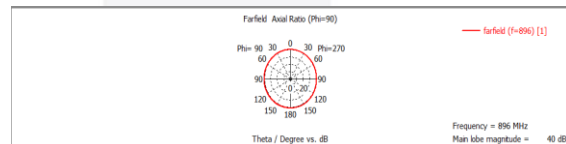
Gambar c. Bandwidth *Single Element* hasil perhitungan.



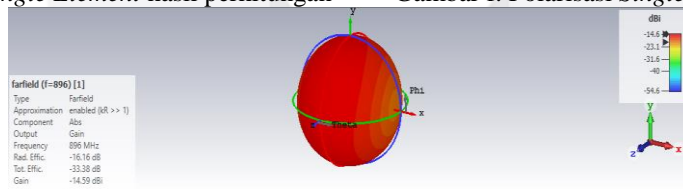
Gambar d. Impedansi *Single Element* hasil



Gambar e. Pola Radiasi *Single Element* hasil perhitungan



Gambar f. Polarisasi *Single Element* hasil perhitungan



Gambar g. Gain *Single Element* berdasarkan hasil perhitungan

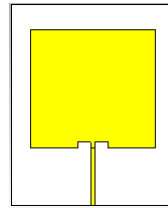
3.7 Perancangan Antena Hasil Optimasi *Single Element*

Optimasi antena adalah pencarian formula yang paling tepat dan sesuai dengan spesifikasi yang akan dibuat. Setelah melakukan optimasi kemungkinan besar parameter yang dihasilkan dari perhitungan sebelumnya biasanya berbeda dengan hasil optimasi yang lebih mendekati dengan spesifikasi.

3.7.1 Desain Antena *Single Element Rectangular Patch* Berdasarkan Hasil Optimasi
Tabel 3.7.1 Dimensi Antena *Single Element* hasil optimasi.

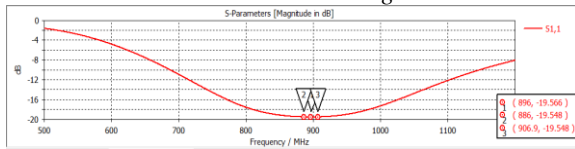
Parameter	Nilai (mm)	Keterangan
Lg	90.546	Panjang groundplane
Lp	96.12	Panjang patch
Lm	46.3160536456	Panjang line pencatu (feeder)
Ls	-	Panjang slot
Wg	112.86	Lebar groundplane
Wp	101.2	Lebar patch

Wm	3.4	Lebar line pencatu (feeder)
Ws	-	Lebar slot

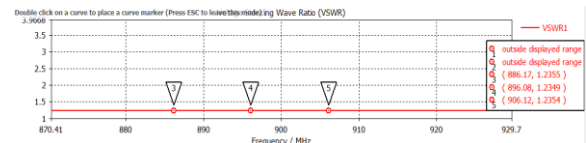


Gambar 3.7.1 Antena *Single Element* berdasarkan hasil optimasi.

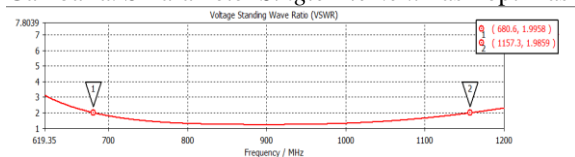
Hasil Simulasi Antena *Single Element* berdasarkan hasil optimasi:



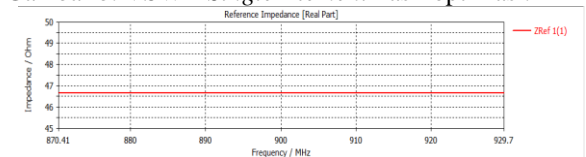
Gambar a. S Parameter *Single Element* hasil optimasi.



Gambar b. VSWR *Single Element* hasil optimasi.



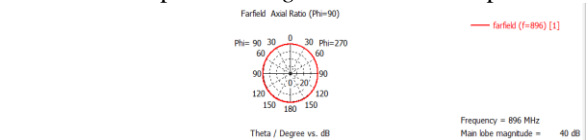
Gambar c. Bandwidth *Single Element* hasil optimasi.



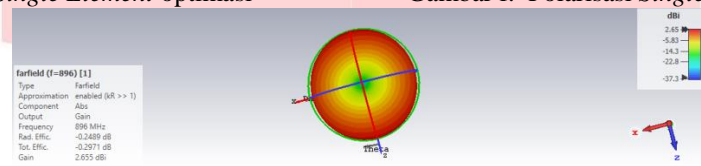
Gambar d. Impedansi *Single Element* hasil optimasi



Gambar e. Pola Radiasi *Single Element* optimasi



Gambar f. Polarisasi *Single Element* hasil optimasi.



Gambar g. Gain *Single Element* berdasarkan hasil optimasi

3.8 Perancangan Antena Array 1x4 Rectangular Patch

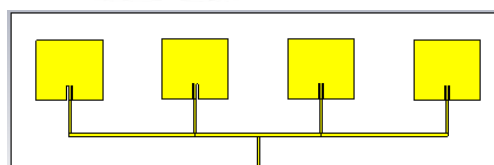
Setelah mendapatkan antena satu elemen yang VSWR, bandwidth, dan frekuensi kerjanya sesuai dengan spesifikasi, langkah selanjutnya adalah membuat antena Antena Array 1x4 Rectangular Patch.

Perancangan ini merupakan evaluasi dari perancangan sebelumnya yang beberapa spesifikasinya masih belum terpenuhi yaitu gain dan pola radiasi, maka untuk perancangan kali ini menggunakan teknik array dengan tujuan untuk menambah gain serta mengubah pola radiasi dari omnidireksional ke unidireksional.

3.8.1 Desain Antena Array 1x4 Rectangular Patch

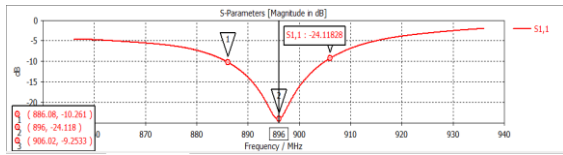
Tabel 3.8.1 Dimensi Antena Array 1x4.

Parameter	Nilai (mm)	Keterangan
Lg	105	Panjang groundplane
Lp	80.08	Panjang patch
Lm	46.3160536456	Panjang line pencatu (feeder)
Ls	19.85	Panjang slot
Wg	592.515	Lebar groundplane
Wp	88.05	Lebar patch
Wm	3.25	Lebar line pencatu (feeder)
Ws	2	Lebar slot
λ	334.5898	

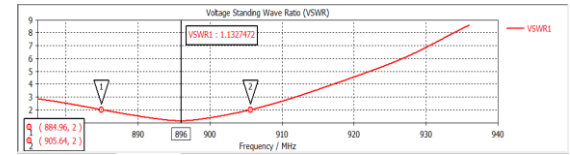


Gambar 3.8.1 Antena Array 1x4.

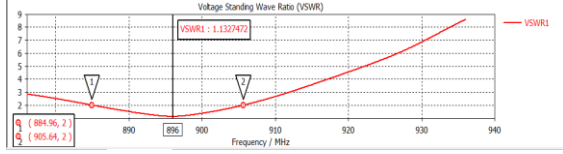
Hasil simulasi Antena Array 1x4:



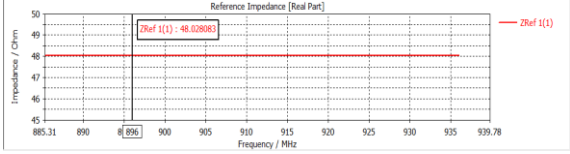
Gambar a. S Parameter Antena Array 1x4



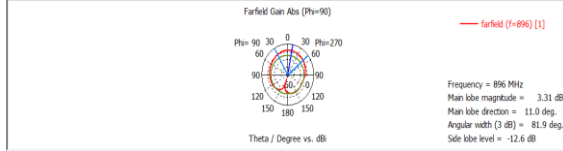
Gambar b. VSWR Antena Array 1x4



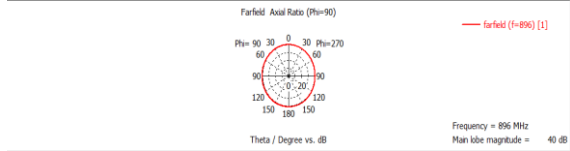
Gambar c. Bandwidth Antena Array 1x4



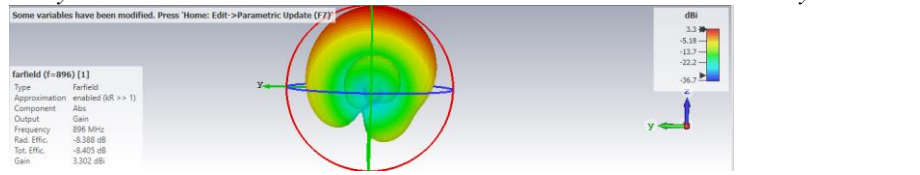
Gambar d. Impedansi Antena Array 1x4



Gambar e. Pola Radiasi Antena Array 1x4



Gambar f. Polarisasi Antena Array 1x4



Gambar g. Gain Antena Array 1x4

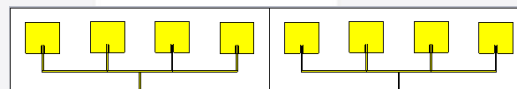
3.9 Perancangan Antena MIMO Array 2x4 Rectangular Patch

Perancangan ini merupakan evaluasi dari perancangan Antena Array 1x4 Rectangular Patch sebelumnya yang beberapa spesifikasinya sudah terpenuhi tapi perlu penambahan di *bandwidth*, *gain* maka untuk perancangan kali ini menggunakan menambahkan port menjadi 2.

3.9.1 Desain Antena MIMO Array 2x4 Rectangular Patch

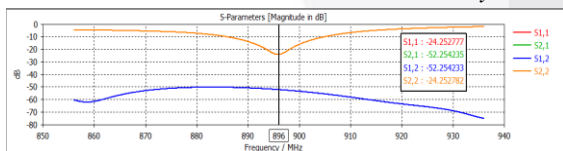
Tabel 3.9.1 Dimensi Antena MIMO Array 2x4 Rectangular Patch

Parameter	Nilai (mm)	Keterangan
Lg	105	Panjang groundplane
Lp	80.08	Panjang patch
Lm	46.3160536456	Panjang line pencatu (feeder)
Ls	19.85	Panjang slot
Wg	592.515	Lebar groundplane
Wp	88.05	Lebar patch
Wm	3.25	Lebar line pencatu (feeder)
Ws	2	Lebar slot
λ	334.5898	

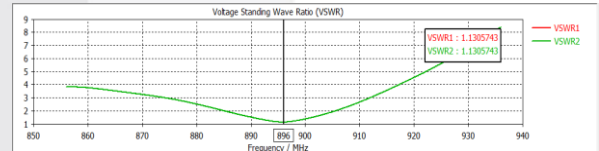


Gambar 3.9.1 Antena MIMO Array 2x4 .

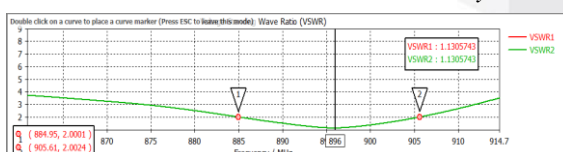
Hasil Simulasi Antena MIMO Array 2x4:



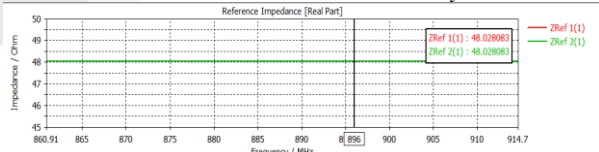
Gambar a. S Parameter Antena MIMO Array 2x4.



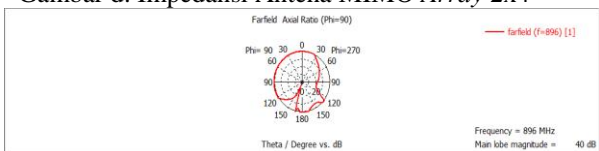
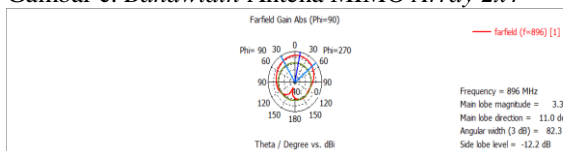
Gambar b. VSWR Antena MIMO Array 2x4.



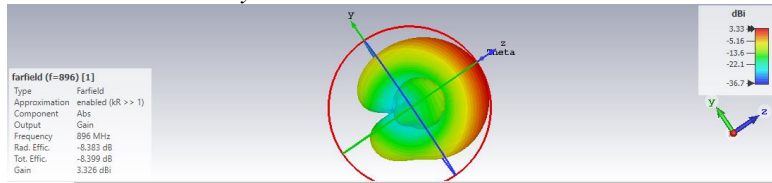
Gambar c. Bandwidth Antena MIMO Array 2x4



Gambar d. Impedansi Antena MIMO Array 2x4



Gambar e. Pola Radiasi Antena MIMO Array 2x4



Gambar f. Polarisasi Antena MIMO Array 2x4

Gambar 3.9.6 Gain Antena MIMO Array 2x4.

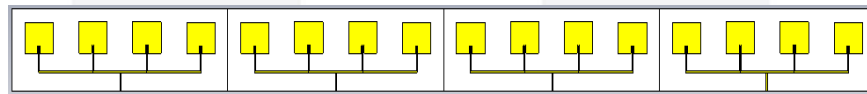
3.10 Perancangan Antena MIMO Array 4x4 Rectangular Patch

Perancangan ini merupakan evaluasi dari perancangan Array 2x4 Rectangular Patch sebelumnya yang beberapa spesifikasinya sudah terpenuhi tapi perlu penambahan di *mutual coupling* dan *gain*, maka untuk perancangan kali ini menggunakan menambahkan teknik MIMO Array dengan penambahan patch dan port menjadi MIMO Array 4x4 Rectangular Patch.

3.10.1 Desain Antena MIMO Array 4x4 Rectangular Patch

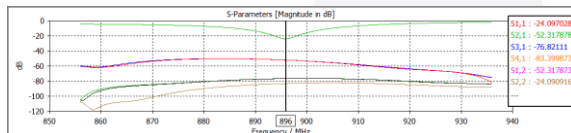
Tabel 3.10.1 Dimensi Antena MIMO Array 4x4

Parameter	Nilai (mm)	Keterangan
Lg	105	Panjang groundplane
Lp	80.08	Panjang patch
Lm	46.3160536456	Panjang line pencatu (feeder)
Ls	19.85	Panjang slot
Wg	592.515	Lebar groundplane
Wp	88.05	Lebar patch
Wm	3.25	Lebar line pencatu (feeder)
Ws	2	Lebar slot
λ	334.5898	

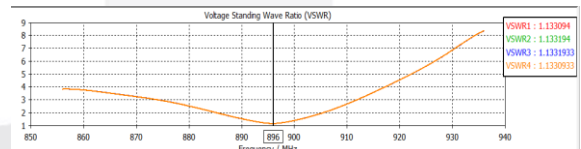


Gambar 3.10.1 Antena MIMO Array 4x4.

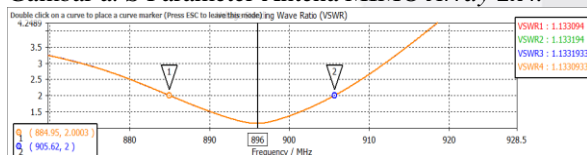
Hasil simulasi Antena MIMO Array 4x4:



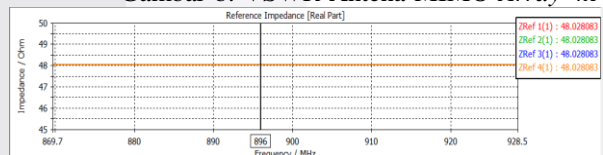
Gambar a. S Parameter Antena MIMO Array 2x4.



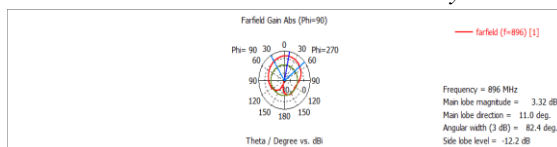
Gambar b. VSWR Antena MIMO Array 4x4



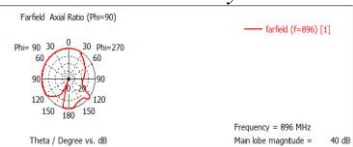
Gambar c. Bandwidth Antena MIMO Array 4x4



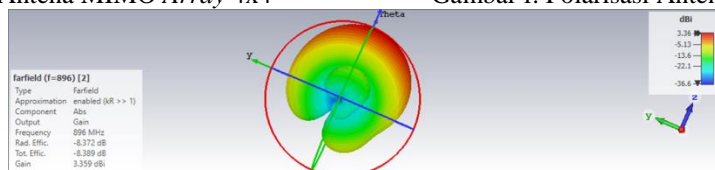
Gambar d. Impedansi Antena MIMO Array 4x4



Gambar e. Pola Radiasi Antena MIMO Array 4x4



Gambar f. Polarisasi Antena MIMO Array 4x4



Gambar g. Gain Antena MIMO Array 4x4

4. ANALISIS HASIL PERANCANGAN

4.1 Perbandingan Nilai Mutual Coupling dari S Parameter

Berdasarkan perancangan yang sudah dilakukan dengan menghasilkan beberapa simulasi maka nilai dari *mutual coupling* bisa dilihat tabel di bawah ini.

Tabel 4.1 Perbandingan nilai *mutual coupling*

S Parameter	Antena element berdasarkan perhitungan	Antena element setelah optimasi	Antena Array 1x4	Antena MIMO Array 2x4	Antena MIMO Array 4x4
S_{11}	-0,08308093	-19,182784	-24,11828	-24,25777	-23,733623
S_{21}	-	-	-	-52,254235	-52,627759
S_{31}	-	-	-	-	-62,189474
S_{41}	-	-	-	-	-32,1154
S_{12}	-	-	-	-52,254233	-52,62776
S_{22}	-	-	-	-24,252782	-23,733625
S_{32}	-	-	-	-	-32,115401
S_{42}	-	-	-	-	-62,189475
S_{13}	-	-	-	-	-62,189473
S_{23}	-	-	-	-	-32,115401
S_{33}	-	-	-	-	-23,733625
S_{43}	-	-	-	-	-52,627759
S_{14}	-	-	-	-	-32,1154
S_{24}	-	-	-	-	-62,189474
S_{34}	-	-	-	-	-52,627759
S_{44}	-	-	-	-	-23,73362

Berdasarkan data pada tabel 4.1, antena yang berdasarkan perhitungan belum memenuhi spesifikasi *mutual coupling* dengan hanya mempunyai nilai di S_{11} -0,08308093 dB yang seharusnya menurut spesifikasi ≤ -20 dB.

Untuk antena *single element* setelah optimasi nilai *mutual coupling*nya sama dengan antena yang berdasarkan perhitungan, belum memenuhi spesifikasi hanya -19,182784 namun mengalami peningkatan dari sebelum dioptimasi.

Hasil dari antena *Array* 1x4 di S_{11} sudah memenuhi spesifikasi dengan hasil -24,11828 dB.

Dari hasil *mutual coupling* antena MIMO array 2x4, S_{11} , S_{21} memenuhi spesifikasi dengan masing-masing nilainya -24,25777, -52,254235 sudah memenuhi spesifikasi.

Dari hasil *mutual coupling* antena MIMO array 4x4, S_{11} , S_{21} , S_{31} dan S_{41} memenuhi spesifikasi dengan masing-masing nilainya sudah memenuhi spesifikasi dengan ≤ -20 dB.

Dengan demikian hasil *mutual coupling* yang memenuhi spesifikasi yaitu dimiliki antena MIMO *Array* 1x2 *rectangular patch*, antena MIMO *Array* 2x4 *rectangular patch* dan antena MIMO *Array* 4x4 *rectangular patch*, dan yang paling baik yaitu Antena MIMO *Array* 4x4 yang mempunyai 4 port yang semuanya memenuhi spesifikasi *mutual coupling*.

4.2 Perbandingan Nilai VSWR

Tabel 4.2 Perbandingan nilai VSWR

Desain Antena	In Frekuensi 896 MHz
Antena 1 <i>element</i> berdasarkan perhitungan	209,12857
Antena 1 <i>element</i> setelah optimasi	1,23495
Antena <i>Array</i> 1x4 <i>rectangular patch</i>	1,1327472
Antena MIMO <i>Array</i> 2x4 <i>rectangular patch</i>	1,1305743
Antena MIMO <i>Array</i> 4x4 <i>rectangular patch</i>	1,133193

Keempat desain antena yang disimulasikan memiliki nilai VSWR yang masing-masing seperti tabel di atas, desain antena 1 *element* sebelum dioptimasi yang belum memenuhi spesifikasi VSWR dengan < 2 dB, untuk keempat desain berikutnya sudah mencapai nilai spesifikasi yang harus dicapai di frekuensi 896 Mhz, frekuensi tengah dari 886-906 MHz. Dan selalu meningkat dan terbaik pada desain Antena MIMO *Array* 4x4 *rectangular patch*.

4.3 Perbandingan Nilai Bandwidth

Tabel 4.3 Perbandingan nilai Bandwidth

Desain Antena	Bandwidth (MHz)
Antena 1 <i>element</i> berdasarkan perhitungan	-
Antena 1 <i>element</i> setelah optimasi	476,7
Antena <i>Array</i> 1x4 <i>rectangular patch</i>	20,68
Antena MIMO <i>Array</i> 2x4 <i>rectangular patch</i>	20,66
Antena MIMO <i>Array</i> 4x4 <i>rectangular patch</i>	20,73

Mengacu dari spesifikasi *Bandwidth* minimal 20 Mhz, dengan hal itu semua desain kecuali desain

sesuai perhitungan, nilai *bandwidth* sudah mencapai spesifikasi dan saat di simulasi 4x4 MIMO Array sudah mencapai spesifikasi.

4.4 Perbandingan Nilai Impedansi

Tabel 4.4 Perbandingan nilai impedansi

Desain Antena	Nilai Impedansi (Ohm)
Antena 1 <i>element</i> berdasarkan perhitungan	49,4
Antena 1 <i>element</i> setelah optimasi	46,6
Antena Array 1x4 <i>rectangular patch</i>	48,028083
Antena MIMO Array 2x4 <i>rectangular patch</i>	48,028083
Antena MIMO Array 4x4 <i>rectangular patch</i>	48,028083

Tabel diatas menunjukkan semua desain antena dengan *patch rectangular* memiliki hasil yang sudah mencapai nilai toleransi 5 ke atas dan ke bawah dari nilai 50 Ohm, dan yang terbaik nilai toleransi dari desain antena *single element* yang berdasarkan perhitungan.

4.5 Perbandingan Pola Radiasi

Desain Antena	Pola Radiasi
Antena 1 <i>element</i> berdasarkan perhitungan	Omnidireksional
Antena 1 <i>element</i> setelah optimasi	Omnidireksional
Antena Array 1x4 <i>rectangular patch</i>	Unidireksional
Antena MIMO Array 2x4 <i>rectangular patch</i>	Unidireksional
Antena MIMO Array 4x4 <i>rectangular patch</i>	Unidireksional

Tabel 4.5 Perbandingan Pola Radiasi

Dari simulasi tersebut untuk arah *lobe* pola radiasi dari simulasi pertama dan kedua masi mengarah pada 2 arah belum satu arah artinya belum memenuhi spesifikasi penelitian antena ini namun setelah memakai metode MIMO Array sudah memenuhi spesifikasi yang membutuhkan pola radiasi satu arah atau unidireksional karena nantinya akan disesuaikan dengan BTS yang mengarah ke alat monitoringnya dengan satu arah radiasinya.

4.6 Perbandingan Polarisasi

Tabel 4.6 Perbandingan Polarisasi

Desain Antena	Polarisasi
Antena 1 <i>element</i> berdasarkan perhitungan	Linear
Antena 1 <i>element</i> setelah optimasi	Linear
Antena Array 1x4 <i>rectangular patch</i>	Linear
Antena MIMO Array 2x4 <i>rectangular patch</i>	Linear
Antena MIMO Array 4x4 <i>rectangular patch</i>	Linear

Antena berpolarisasi linier jika axial rationnya ≥ 40 dB, sedangkan dikatakan berpolarisasi sirkular jika axial rationnya ≤ 3 dB. Dan dari simulasi semua polarisasi sudah memenuhi spesifikasi yang ada.

4.7 Perbandingan Gain

Tabel 4.7 Perbandingan Gain

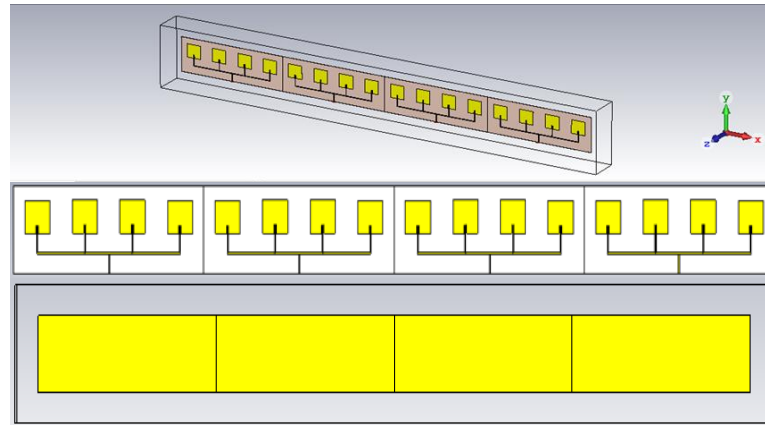
Desain Antena	Gain (dBi)
Antena 1 <i>element</i> berdasarkan perhitungan	-14,59
Antena 1 <i>element</i> setelah optimasi	-2,655
Antena Array 1x4 <i>rectangular patch</i>	3,308
Antena MIMO Array 2x4 <i>rectangular patch</i>	3,326
Antena MIMO Array 4x4 <i>rectangular patch</i>	3,359

Peningkatan *gain* terjadi saat ada penambahan sistem MIMO pada desain antena di penelitian ini yang dimulai dari antena Array 1x4 *rectangular patch* sampai antena MIMO Array 4x4 *rectangular patch* dan mendapat *gain* tinggi 3,359 dBi di desain MIMO Array 4x4 *rectangular patch* telah mencapai spesifikasi *gain* penelitian ini yaitu $>2,5$ dB untuk syarat pola radiasi unidireksional.

4.8 Pembahasan

Penelitian ini memperlihatkan dari desain antena yang sudah disimulasikan pada penelitian ini dari nilai *mutual coupling*, VSWR, *Bandwidth*, Impedansi, Pola Radiasi, Polarisasi dan *gain* setelah ditambahkan metode MIMO dan Array untuk semua hasilnya meningkat dari spesifikasi yang dibutuhkan, dan terkait penambahan *patch* pada simulasi menghasilkan *gain* dan *bandwidth* yang semakin meningkat pula.

Dan seperti dari tujuan ini untuk menentukan desain yang paling cocok untuk Antena MIMO Array *patch rectangular* untuk frekuensi ISM band 886-906 MHz maka dari penelitian ini sesuai dengan hasilnya terbaik dari masing-masing parameter yang dihasilkan yaitu saat antena didesain MIMO Array 4x4 *patch rectangular*.



Gambar Antena MIMO Array 4x4 keseluruhan

Hasil dari simulasi ini nantinya akan diimplementasikan pada BTS di bantaran Sungai Citarum yang mana dalam penelitian ini semua spesifikasi sudah disinkronisasi dengan pola kerja antena pada frekuensi ISM band 886-906 MHz yang dipasang pada BTS sungai Citarum, seperti pola radiasi unidireksional karena untuk mencakup satu arah yaitu ke arah sungai dan gain yang harus $>2,5$ dBi agar pola radiasi menjadi unidireksional serta bandwidth yang harus mencapai 20 MHz agar minimal sama dengan selisih frekuensi.

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian Tugas Akhir ini dapat disimpulkan :

1. Nilai VSWR, *mutual coupling* yang naik disebabkan oleh adanya penambahan metode MIMO & Array pada saat perancangan antena.
2. *Bandwidth* mengecil setelah diterapkan metode Array pada perancangan antena di penelitian ini.
3. Perbedaan nilai impedansi yang kecil dipengaruhi oleh penambahan metode MIMO & Array pada perancangan antena, namun untuk penambahan *patch* di desain MIMO Array tidak mempengaruhi nilai impedansi.
4. Pola radiasi yang dihasilkan dari semua perancangan yang berbentuk *rectangular patch* menghasilkan pola radiasi omnidireksional pada sebelum ditambahkan metode Array, setelah ditambahkan pola radiasi berubah sesuai spesifikasi yaitu unidireksional
5. Rancangan antena dengan *patch rectangular* untuk hasil gainnya hanya sekitar 2-4 dB, berdasarkan simulasi.
6. *Gain* naik setelah ditambah metode MIMO Array dan penambahan *patch* desain setelah MIMO Array.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian ini penulis memberikan saran untuk meningkatkan penelitian selanjutnya:

1. Mendesain dengan menggunakan *patch* selain *rectangular* pada frekuensi 896-906 MHz.
2. Melakukan uji fabrikasi dan dibandingkan dengan hasil simulasi *software* perancangan antena.

Daftar Pustaka

- [1]. Teguh, Irfan. 2019. "Sejarah Pengelolaan Sungai Citarum & Semrawutnya Program Pemerintah", <https://tirto.id/sejarah-pengelolaan-sungai-citarum-semrawutnya-program-pemerintah-dhnt>. Diakses pada 7 Februari 2020 pukul 10.10.
- [2] Khasanah, Via Nur. 2016. "Perancangan dan Realisasi Antena MIMO 4x4 untuk Aplikasi LTE menggunakan Teknik Interdigital Line". Bandung: Universitas Telkom.
- [3] Sinaga, Kevin Jones A. 2017. "Perancangan Dan Realisasi Antena MIMO 4 × 4 Array Rectangular Patch Dengan U-Slot Untuk Aplikasi 15 Ghz". Bandung: Universitas Telkom.
- [4] Pratama, Arif. 2015. "Perancangan dan Realisasi Antena Mikrostrip MIMO 4X4 dengan Catuan EMC (ELECTROMAGNETICALLY COUPLED) Untuk Aplikasi LTE 2,3 GHz" Bandung: Universitas Telkom.
- [5]. Jhon, Rafelly. (2016). "Perancangan Dan Realisasi Antena MIMO MIMO Bowtie 4x4 Pada Frekuensi 1,8 Ghz Untuk Aplikasi Lte". Bandung: Universitas Telkom.
- [6] Kautsar, Nurul Diva. 2020. "7 Fakta Sungai Citarum, dari Titik Awal Peradaban Sunda hingga Rusak karena Manusia", <https://www.merdeka.com/jabar/7-fakta-sungai-citarum-dari-titik-peradaban-sunda-hingga-rusak-karena-manusia.html>, Di akses pada 17 Juli 2020 pukul 11.11.
- [7]. Kominfo. (2018). "Tabel Alokasi Spektrum Radio Indonesia", https://jdih.kominfo.go.id/produk_hukum/view/id/619/t/peraturan+menteri+komunikasi+dan+informatika+nomor+13+tahun+2018+tanggal+27+september+2018. Diakses pada 2 Maret 2020 pukul 21.09.
- [8]. Bansal, R. (2008). "Antena theory; analysis and design" . *Proceedings of the IEEE*. <https://doi.org/10.1109/proc.1984.12959>. Accessed 22 March 2020.
- [9] Afridi, M.A.(2015). "Microstrip Patch Antena – Designing at 2.4 GHz Frequency. *Biological and Chemical Research*".

- [10] Midasala, V., Siddaiah, P. (2016). "Microstrip Patch Antena Array Design to Improve Better *Gains*. *Procedia Computer Science*". <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.05.181> di akses pada 22 Maret 2020 pukul 10.08.
- [11] Lu, Lu., Li, Geoffrey Ye., Swindlehurst, A. Lee., Ashikhmin, Alexei., Zhang, Rui. (2014). "An overview of massive MIMO: Benefits and challenges. *IEEE Journal on Selected topic in signal processing*". <https://doi.org/10.1109/JSTSP.2014.2317671> . Accessed 22 March 2020.
- [12] Budi, Imam M.P., Nugraha, Eka Setia., Agung, Andika. (2017). "Perancangan Dan Analisis Antena MIMO MIMO Circular Pada Frekuensi 2.35 GHz Untuk Aplikasi LTE". Purwokerto: ST3 Purwokerto.
- [13] Magrifaghبران, Adam Tsany. 2020. "Perancangan Antena MIMO Array Dengan Kemampuan Beamforming Untuk Komunikasi 5G". Bandung: Universitas Telkom.
- [14] Patel, Dhara.,Raval, Falguni. (2012). "Design and cavity model analysis of inset feed rectangular microstrip patch antenna.". <https://ieeexplore.ieee.org/document/6493256>. Accessed 25 March 2020.
- [15] Constantine, A. Balanis. (2005). "Antena and Theory Analysis and Design", Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.