

STUDI DAN ANALISIS ANTENA MIKROSTRIP MIMO 2X2 MENGGUNAKAN METAMATERIAL UNTUK FREKUENSI LTE 2.6 GHZ

(Studies and analysis of 2x2 MIMO antenna using metamaterial for LTE frequency 2.6 Ghz)

¹Husnul Khatim

²Bambang Setia N, ST.,MT.

³Budi Syihabuddin, ST.MT

^{1,2,3}Jurusan Teknik Telekomunikasi – Universitas Telkom
Jl. Telekomunikasi, Dayeuh Kolot Bandung 40257 Indonesia

¹husnul.khatim@gmail.com

²bmb@ittelkom.ac.id

³budisyihab@telkomuniversity.ac.id

ABSTRAK

Sistem komunikasi nirkabel Multiple Input Multiple Output (MIMO) menggunakan beberapa antena baik disisi pengirim maupun pada sisi penerima. Penggunaan beberapa antena ini dapat meningkatkan kualitas suatu sistem komunikasi. Antena MIMO diterapkan pada teknologi Long Term Evolution (LTE) untuk memperoleh laju bit yang tinggi dan kapasitas yang lebih besar. Disamping keuntungan tersebut, penggunaan beberapa antena akan menimbulkan efek mutual coupling, yaitu efek yang dapat mengurangi kualitas suatu antena karena pengaruh dari antena yang berdekatan. Kebutuhan akan dimensi antena yang kecil juga menjadi salah satu pertimbangan dalam merancang antena MIMO. Oleh karena itu, diperlukan metode yang dapat mengurangi ukuran antena dengan tetap memperhatikan adanya efek mutual coupling pada antena MIMO.

Pada tugas akhir ini dirancang dan direalisasikan antena mikrostrip MIMO 2x2 dengan patch berbentuk lingkaran serta penambahan elemen metamaterial complementary split ring resonator (CSRR) pada bidang ground. Peletakan metamaterial CSRR pada bidang ground akan mengakibatkan pergeseran frekuensi resonan antena sehingga dapat dimanfaatkan untuk memperkecil ukuran antena. Perancangan dan simulasi antena mikrostrip menggunakan software Ansoft HFSS Version 13.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa dengan penggunaan metamaterial CSRR dapat memperkecil ukuran antena sebesar 62.32% dari antena konvensional. Pada frekuensi 2.6 GHz antena MIMO metamaterial hasil realisasi mempunyai nilai return loss $S_{11} = -19.29$ dB, $S_{12} = -25.86$ dB, $S_{21} = -26.06$, dan $S_{22} = -21.63$. Pola radiasi yang dihasilkan untuk masing-masing patch antena MIMO berbentuk pola radiasi omnidirectional dengan polarisasi vertikal sehingga antena ini baik digunakan untuk antena penerima.

Kata kunci : mikrostrip, MIMO, metamaterial, CSRR.

ABSTRACT

Wireless communication systems called Multiple Input Multiple Output (MIMO) using multiple antennas both on the transmitter and the receiver side. The usage of multiple antennas may improve the quality of a communication system. MIMO antenna technology applied on the Long Term Evolution (LTE) to obtain high bit rates and increase capacity. Besides these advantages, the use of multiple antennas may cause mutual coupling effects, which the effects can reduce the quality of an antenna because of the influence of the adjacent antenna. The need for a small antenna dimensions also become one of the considerations in designing MIMO antenna. Therefore, we need a method which can reduce the size of the antenna by taking into account the effect of mutual coupling on MIMO antenna.

In this final project designed and realized a 2x2 MIMO antenna microstrip with circular patch featured by metamaterial elements as well as the addition of Complementary split ring resonator (CSRR) in the ground plane. CSRR metamaterial placement on the ground will result in a shift in the resonant frequency of the antenna so it can be used to reduce the size of the antenna. Microstrip antenna designed and simulated using Ansoft HFSS Version 13 software.

Results from this study indicate that the use of CSRR metamaterial antenna can reduce as much as 62.32% the size of the conventional antenna. At a frequency of 2.6 GHz MIMO antenna metamaterial actual results have return loss $S_{11} = -19.29$ dB, $S_{12} = -25.86$ dB, $S_{21} = -26.06$, and $S_{22} = -21.63$. Radiation pattern which produced for each MIMO antenna patch form omnidirectional with vertical polarization so that the antenna is used for receiver antenna.

Keywords: microstrip, MIMO, metamaterial, CSRR.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dimasa sekarang ini, teknologi menjadi suatu kebutuhan penting bagi setiap individu. Dengan teknologi yang maju dan modern akan mempermudah manusia melakukan berbagai aktifitasnya, salah satu teknologi yang berkembang dengan sangat pesat yaitu teknologi informasi dan komunikasi seluler. Berbagai macam teknologi komunikasi dengan kecanggihannya dan kelebihannya terus menerus diteliti dan dikembangkan. Teknologi komunikasi seluler dimulai dari generasi pertama (1G) yang merupakan teknologi seluler analog, dan saat ini menginjak pada teknologi Broadband Wireless Access atau disebut juga generasi keempat (4G). Kebutuhan pelanggan akan layanan data berkapasitas besar (Multimedia) dan berkecepatan tinggi (Broadband Wireless Access) mendorong Third Generation Partnership Project (3GPP) untuk mengembangkan teknologi Long Term Evolution (LTE). Teknologi LTE menghadirkan peningkatan performansi dengan data rate yang tinggi dan kapasitas yang besar. Teknologi ini mampu memberikan layanan data rate sampai 100 Mbps pada sisi downlink dan 50 Mbps pada sisi uplink[1].

Untuk mendukung teknologi LTE digunakan sistem Multiple Input Multiple Output (MIMO). MIMO adalah suatu teknologi yang muncul menggunakan prinsip diversity dengan tujuan meningkatkan data rate dalam range yang lebih besar tanpa membutuhkan bandwidth atau daya transmisi yang besar. Pada sistem MIMO terdapat beberapa antena baik pada sisi pemancar maupun di penerima, dengan penggunaan beberapa antena akan meningkatkan kualitas sinyal informasi yang dikirim[12]. Sejalan dengan perkembangan teknologi MIMO, kebutuhan akan perangkat telekomunikasi yang terintegrasi dan berukuran kecil juga semakin meningkat. Penggunaan beberapa antena pada sisi pemancar dan penerima, tentunya secara fisik akan memerlukan ruang yang lebih luas pada perangkat telekomunikasi, sehingga miniaturisasi antena menjadi salah satu hal yang perlu diperhatikan agar dapat diaplikasikan dalam sistem mobile, laptop, maupun gadget yang lain.

Disisi lain, antena mikrostrip masih menjadi pilihan bagi para peneliti karena ukurannya yang kecil, berbentuk pipih dan biaya perakitannya yang cukup murah. Meskipun antena mikrostrip berukuran kecil namun jika menggunakan beberapa antena seperti pada sistem MIMO maka antena akan menjadi salah satu komponen yang berukuran lebih besar dan membutuhkan ruang yang lebih luas. Terdapat beberapa metode yang telah dilakukan untuk miniaturisasi antena, diantaranya penggunaan banyak celah pada tepi patch [2], lipat patch dan ground [3], penggunaan metamaterial Composite Right/Left Handed (CRLH) dengan tipe mushroom structure [4], penggunaan metamaterial Complementary Split Ring Resonator (CSRR) [5][6] dan lain sebagainya.

Metamaterial merupakan suatu struktur buatan yang memiliki sifat elektromagnetik yang tidak terdapat di alam, Sifat elektromagnetiknya yang dimaksud adalah permitivitas dan atau permeabilitas yang bernilai negatif. Konsep metamaterial pertama kali dikemukakan oleh seorang ilmuwan asal rusia bernama Veselago Victor Georgievich pada tahun 1967 [18]. Dan pada tahun 1998 fisikawan asal Inggris bernama John Pendry menawarkan kombinasi kawat logam dan struktur split ring untuk membuat metamaterial [21]. Metamaterial dengan sifat permitivitas dan permeabilitas keduanya bernilai negative disebut double negative (DNG- Metamaterial), sedangkan permitivitas negatif disebut epsilon negative (ENG-Metamaterial) atau Permeabilitas negative disebut mu negative (MNG- Metamaterial).

Pada tugas akhir ini digunakan metode pemanfaatan elemen metamaterial complementary split ring resonator (CSRR). Elemen CSRR merupakan komplement SRR yang terdiri dari dua ring slot persegi di mana slot sisi dalam dan luar dipisahkan oleh sebuah strip metal. Pemilihan CSRR dikarenakan keunikan dari sifat metamaterial itu sendiri, ukuran yang kecil serta dapat dicetak pada bidang ground antena, sehingga sesuai dengan proses miniaturisasi antena.

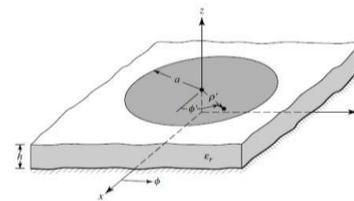
2. LANDASAN TEORI

2.1 Antena Mikrostrip

Antena (*antenna* atau *areal*) adalah perangkat yang berfungsi untuk meradiasikan atau menerima gelombang radio. Antena memindahkan energi gelombang elektromagnetik dari media kabel ke udara atau sebaliknya dari udara ke media kabel

Antena mikrostrip terdiri dari tiga lapisan bahan yaitu elemen peradiasi (*patch*), substrat (*substrate*), dan elemen pentanahan (*groundplane*). Bentuk *patch* bisa bermacam-macam tetapi yang umum digunakan berbentuk bujur sangkar (*square*), persegi panjang (*rectangular*), dan lingkaran (*circular*).

Pada penelitian ini dipakai bentuk *patch* lingkaran. Berikut adalah gambar geometri antena mikrostrip dengan bentuk *patch* lingkaran



Gambar 2.1 Geometri antena mikrostrip patch lingkaran [7]

Dengan menggunakan mode dominan H_{10} , frekuensi resonansi antena patch lingkaran dapat dicari dengan menggunakan persamaan [7]:

$$\epsilon_{eff} = \frac{1.8412}{2\pi} \frac{1.841}{\epsilon} \quad (2.1)$$

Dimana ϵ adalah kecepatan cahaya di ruang hampa, dan ϵ_0 adalah jari-jari antenna mikrostrip serta ϵ_s konstanta dielektrik substrat. Untuk antenna mikrostrip patch lingkaran diperkenalkan faktor koreksi berupa radius efektif (r_{eff}) akibat adanya *fringing effect*. Nilai r_{eff} di rumuskan dengan persamaan [7]:

$$r_{eff} = a \left\{ 1 + \frac{2 \ln \left(\frac{r}{2h} \right) + 1.7726}{\pi} \right\} \quad (2.2)$$

Sehingga jari-jari fisik *patch* lingkaran dihitung menggunakan persamaan berikut [7]:

$$a = \frac{f}{\sqrt{1 + \frac{2 \ln \left(\frac{r_{eff}}{2h} \right) + 1.7726}{\pi}}} \quad (2.3)$$

Dimana :

$$a = \frac{8.791 \times 10^{-2}}{h} \quad (2.4)$$

h = ketebalan substrat

2.2 Teknik Pencatutan Antena Mikrostrip

Teknik pencatutan pada antenna mikrostrip merupakan teknik untuk mentransmisikan energi elektromagnetik ke antenna mikrostrip. Terdapat berbagai konfigurasi teknik yang telah dikembangkan yang masing-masingnya tentu memiliki kelebihan dan kekurangan. Beberapa teknik pencatutan antara lain *microstrip line*, *coaxial probe*, *aperture coupling*, *proximity coupling*, dan *coplanar wave guide*. [8]

Pencatutan dengan teknik saluran mikrostrip pada substrat yang sama merupakan pendekatan termudah karena pabrikasi pencatu dilakukan bersamaan dengan pabrikasi patch. Pada teknik ini, lebar saluran mikrostripnya dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut ini [8] :

$$\frac{W}{h} = \begin{cases} \frac{2}{\pi} \ln \left(\frac{4e}{\pi W} \right) & \frac{W}{h} < 2 \\ \frac{2}{\pi} \left[\ln \left(\frac{4e}{\pi W} \right) + \frac{1}{4} \left(\frac{W}{h} - 1 \right) \right] & \frac{W}{h} > 2 \end{cases} \quad (2.5)$$

$$h = \frac{2}{\pi} \left[\ln \left(\frac{4e}{\pi W} \right) + \frac{1}{4} \left(\frac{W}{h} - 1 \right) \right] \quad (2.6)$$

Dengan nilai A dan B yang terdapat pada persamaan berikut [8] :

$$A = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{0.23}{\epsilon_s}}} + \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{0.11}{\epsilon_s}}} \quad (2.6)$$

$$B = \frac{60\pi}{\epsilon_s \sqrt{\epsilon_s}} \quad (2.7)$$

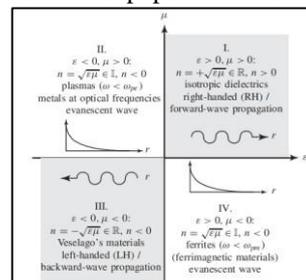
2.3 Me ta

Metamaterial merupakan bahan yang dapat dirancang sehingga memiliki nilai permitivitas (ϵ_r) dan

permeabilitas (μ_r) yang negatif. Dua parameter ini yang harus diperhatikan dalam perancangan suatu metamaterial. Permitivitas adalah ukuran seberapa besar perubahan sebuah medium untuk menyerap energi listrik ketika dipaparkan ke sebuah medan listrik. Permitivitas merupakan perbandingan antara perpindahan listrik oleh medium (D) dengan kuat medan listrik (E). Sedangkan permeabilitas adalah konstanta kesebandingan yang ada antara induksi magnetik dan intensitas medan magnet. Permeabilitas ruang bebas yaitu sebesar $\mu_0 = 1,257 \times 10^{-6}$ H/m dan

permitivitas ruang bebas $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}$ F/m. Yang dikatakan sebagai konstanta dielektrik/permitivitas

relatif (ϵ_r) adalah perbandingan antara permitivitas sebuah material terhadap permitivitas ruang bebas.



Gambar 2.2 Klasifikasi material berdasarkan nilai permitivitas dan permeabilitas [17]

Material dapat diklasifikasikan menjadi empat kelompok berdasarkan nilai permitivitas dan permeabilitas material tersebut. Gambar 2.2 menunjukkan karakteristik material yang merupakan kombinasi nilai permitivitas dan permeabilitas yang positif, hanya permitivitas yang negatif (epsilon negative material/ENG), hanya permitivitas yang negatif (mu-negative material/MNG), dan keduanya yang negatif (double negative material/DNG)[15]. Material yang memiliki

permitivitas dan permeabilitas negatif dikenal juga dengan nama Veselago's material/metamaterial (MTM). Efek dari negatifnya permitivitas dan permeabilitas membuat material tersebut mengalami propagasi mundur (backward-wave propagation) yang

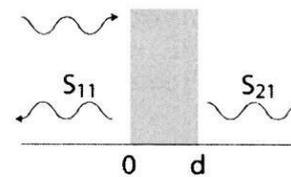
material

(2.7)

berl
awa
nan
den
gan
arah
prop
agas
i
yan
g
dimi
liki
oleh
mat
erial
nor
mal.

2.3. 1 Eks trak si Par ame ter Mat eria l

Metamaterial merupakan suatu struktur buatan dengan parameter dielektrik yang tidak terdapat di alam. Metamaterial mempunyai struktur elektromagnetik yang bersifat homogen efektif dengan rata-rata ukuran struktur sel (p) yang lebih kecil daripada panjang gelombang terbimbing (λ_g). Kondisi homogenitas efektif berarti pada struktur sel tersebut terjadi distribusi elektromagnetik yang uniform dengan batasan struktur sel yang lebih kecil dari seperempat panjang gelombang terbimbing pada mikrostrip, $p < 1/4 \lambda_g$ [17]



Gambar 2.3 Parameter S dari struktur yang ditinjau, dengan ketebalan [21]

Perhitungan parameter material digunakan untuk mengetahui permitivitas dan permeabilitas yang

dipengaruhi oleh struktur metamaterial. Gambar 2.3 memisalkan struktur yang mempunyai tebal d , dan terdiri dari dua medium yang berbeda. Dengan mengamati level pantulan (S_{11}) dan level transmisi (S_{21}), akan didapatkan nilai impedansi dan indeks bias pada bahan tersebut. Nilai impedansi dinyatakan dengan Persamaan (2.8)[21]:

$$z = \pm \sqrt{\frac{(1 + S_{11})^2 - S_{21}^2}{(1 - S_{11})^2 - S_{21}^2}} \quad (2.8)$$

Sedangkan untuk indeks bias bahan tersebut didapatkan dengan Persamaan (2.9) [21] :

$$\eta = \frac{1}{k_0 d} \left\{ \left[\operatorname{Re} \left[\ln(e^{jnk_0 d}) \right] \right] + 2m\pi \right] - j \left[\operatorname{Im} \left[\ln(e^{jnk_0 d}) \right] \right] \right\} \quad (2.9)$$

Dengan k_0 merupakan bilangan gelombang,

$k_0 = 2\pi\lambda_0$. Simbol (“”) dan (“”) menandakan bentuk real dan imajiner dari konstanta. Konstanta m merupakan bilangan bulat yang tergantung dengan n , dalam Tugas Akhir ini akan diasumsikan sebagai turunan pertama sehingga menghasilkan $m = 0$. Konstanta $e^{jnk_0 d}$ merupakan bentuk dari Persamaan (2.10) [21]:

$$e^{jnk_0 d} = \frac{S_{21}}{1 - S_{11} \frac{Z - 1}{Z + 1}} \quad (2.10)$$

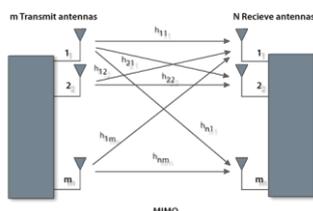
Permittivitas (ϵ) dan permeabilitas (μ) secara berurutan didefinisikan pada persamaan (2.11) dan (2.12):

$$\epsilon = \frac{n}{z} \quad (2.11)$$

$$\mu = n.z \quad (2.12)$$

2.4 MIMO

MIMO (Multiple Input Multiple Output) merupakan suatu sistem yang menggunakan antena lebih dari satu baik pada sisi pemancar maupun pada sisi penerima[13]. Sistem ini menggunakan sejumlah M antena pemancar dan sejumlah N antena penerima. Sehingga sering ditulis dengan sistem penulisan MIMO $M \times N$. Dengan demikian MIMO 2×2 menyatakan bahwa jumlah antena pada sisi pemancar dan sisi penerima sama-sama berjumlah dua buah.



Gambar 2.4 Sistem MIMO [13]

Sistem MIMO dapat digunakan dengan tiga teknik yang berbeda yaitu teknik *beamforming*, *diversity*, dan *spatial multiplexing* [12]. Dalam

antena multiport yang diuji. Isolasi adalah pelemahan yang timbul antara satu antena dengan antena yang lain. Hal ini ditandai dengan parameter S_{21} . Persamaan Isolasi di berikan sebagai berikut [13]:

$$S_{21} = -10 \log_{10} |S_{21}|^2 \quad (2.13)$$

2.5 Long Term Evolution (LTE)

Long Term Evolution atau yang biasa disingkat LTE merupakan kelanjutan terkini dari pengembangan teknologi HSPA oleh Third Generation Partnership Project (3GPP) [15]. Teknologi LTE bertujuan untuk meningkatkan performansi teknologi 3G dari sisi kualitas maupun kapasitas. Teknologi ini mampu memberikan layanan data rate sampai 100 Mbps pada sisi downlink dan 50 Mbps pada sisi uplink [16].

Tabel 2.1 Alokasi frekuensi LTE rekomendasi 3GPP[16]

E-UTRA band	Uplink (UL)	Downlink (DL)	Tipe
...
36	1930 – 1990	1850 – 1910	TDD
37	1910 – 1930	1910 – 1930	TDD
38	2570 – 2620	2570 – 2620	TDD
39	1880 – 1920	1880 – 1920	TDD
40	2300 – 2400	2300 – 2400	TDD

3. PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENA

mendesain antena MIMO ada beberapa parameter yang perlu diperhatikan antara lain :

- Mutual coupling dan Isolasi (dB)
Mutual coupling dapat diukur dengan melihat besaran isolasi. Isolasi di definisikan sebagai besar daya transmisi antara dua input port pada

3.1 Umum

Pada tugas akhir ini dirancang antenna mikrostrip MIMO 2x2 dengan *patch* berbentuk lingkaran serta penambahan metamaterial *complementary split ring resonator* (CSRR) pada bidang *groundplane*. Antena yang dirancang beroperasi dengan frekuensi resonansi di 2.6 GHz, sedangkan penggunaan metamaterial CSRR pada bagian *ground* untuk miniaturisasi ukuran *patch* dari antenna mikrostrip.

3.2 Perangkat yang Digunakan

Perangkat lunak digunakan untuk melakukan desain, simulasi dan pengolahan data antenna. Sedangkan perangkat keras digunakan untuk pabrikan dan pengukuran antenna.

Perangkat lunak yang digunakan dalam perancangan antenna mikrostrip antara lain :

- a. *Ansoft HFSS version 13*,
Program ini sangat membantu dalam perancangan. Dengan program ini, rancangan fisik antenna mikrostrip dapat dimodelkan dan disimulasikan serta dapat dilihat parameter hasilnya seperti *Return loss*, VSWR, Bandwith, gain, pola radiasi dan lain sebagainya.
- b. Corel Draw Graphic Suite X5
Perangkat lunak ini digunakan untuk melakukan visualisasi desain pada pengerjaan tugas akhir ini.

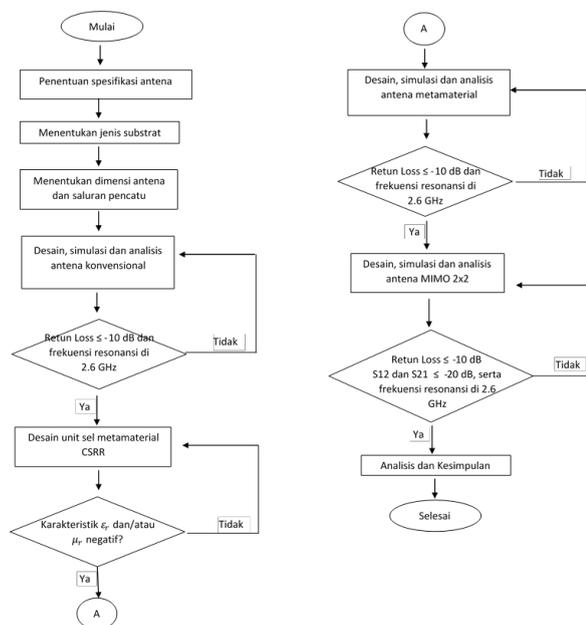
c. Microsoft Excel 2013 dan Matlab.
Perangkat lunak ini digunakan untuk mengolah data hasil simulasi dan hasil pengukuran dengan persamaan matematis.

Adapun perangkat keras yang digunakan antara lain :

- a. *Advantest R3770 Network Analyzer* (300 kHz – 20 GHz) yang digunakan untuk mengukur karakteristik antenna, seperti return loss, VSWR, impedansi masukan, bandwidth dan frekuensi resonansi
- b. *HP Sweep Oscillator 8350B* 0,01 – 26,5 GHz untuk membangkitkan sinyal yang terpasang pada antenna pemancar. Digunakan saat mengukur pola radiasi, polarisasi dan gain.
- c. *HP Spectrum Analyzer 8563E* 30 Hz – 26,5 GHz merupakan alat ukur yang digunakan untuk mengukur daya terima yang terpasang pada antenna yang diuji.
- d. Peralatan-peralatan pendukung: *calibration kit, tripod*, kabel koaksial, solder dan lain-lain.

3.3 Diagram Alir Perancangan Antena

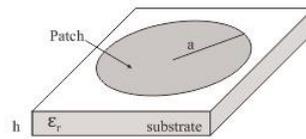
Berikut diagram alir proses perancangan antenna



Gambar 3.1 Diagram alir perancangan antenna

3.4 Perancangan Antena Mikrostrip Konvensional

Dalam merancang antenna mikrostrip ada berbagai macam bentuk patch yang dapat digunakan seperti yang telah dibahas pada landasan teori. Dalam tugas Akhr ini patch yang dipilih berbentuk lingkaran, pemilihan bentuk ini dikarenakan bentuk patch lingkaran lebih mudah untuk di analisis. Bentuk antenna mikrostrip patch lingkaran dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3.2 Geometri Antena Mikrostrip patch lingkaran

3.4.1 Penentuan Spesifikasi Antena

Tahapan perancangan antenna diawali dengan menentukan spesifikasi antenna yang diinginkan. Spesifikasi antenna pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

Jenis Antena : Antena mikrostrip patch lingkaran

- Frekuensi kerja : 2.57-2.63 GHz
- Impedansi masukan : 50 Ω
- VSWR : ≤ 2
- Polaradiasi : *omnidirectional*
- Polarisasi Linear : Vertikal
- Gain : ≥ 2 dBi
- S_{12} dan S_{21} : ≤ -20 dB
- Miniaturisasai patch : ≥ 50 % (untuk antenna metamaterial)

Sedangkan spesifikasi substrat yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 3.1 Spesifikasi substrat yang digunakan

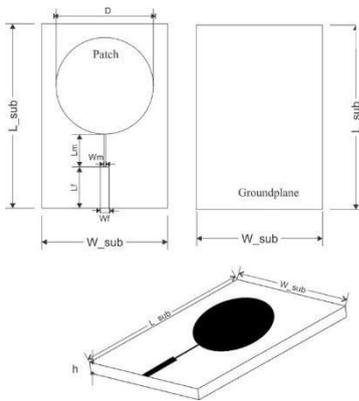
No	Parameter	Nilai
1.	Jenis Substrat	FR4 epoxy
2.	Konstanta Dielektrik Relatif (ϵ_r)	4.3
3.	Dielectric Loss Tangen ($\tan \delta$)	0.02
4.	Tebal Substrat	1.6 mm

3.4.2 Hasil Simulasi Antena Mikrostrip Konvensional

Pada bagian ini, dilakukan simulasi terhadap antenna mikrostrip konvensional dengan menggunakan parameter hasil dari parameterisasi antenna. Dimensi lengkap antenna konvensional hasil parameterisasi diperlihatkan pada tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.2 Dimensi antenna konvensional

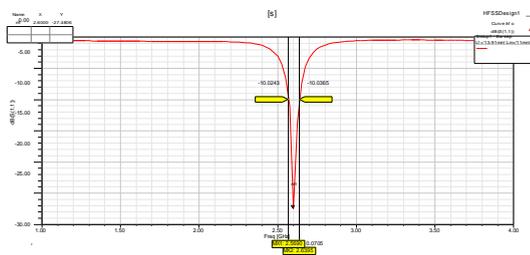
Parameter	Nilai
Diameter patch, D	32,58 mm
Tebal Patch, t	0.035 mm
Lebar feed, W_f	3,11 mm
Panjang feed, L_f	13,91 mm
Lebar feed, W_m	0.6 mm
Panjang feed, L_m	11 m n
Panjang Substrat, L_{sub}	62,29 ⁿ
Lebar substrat, W_{sub}	42,18 ⁿ
Tebal substrat, h	1,6 m ⁿ
Panjang ground	51,29 ⁿ
Lebar ground	42,18 ⁿ



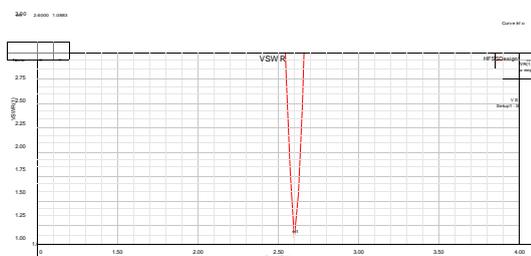
Gambar 3.3 Geometril hasil perancangan antenna mikrostrip konvensional

Berikut merupakan hasil simulasi dari

perancangan antenna dengan nilai-nilai pada tabel (3.2) diatas.

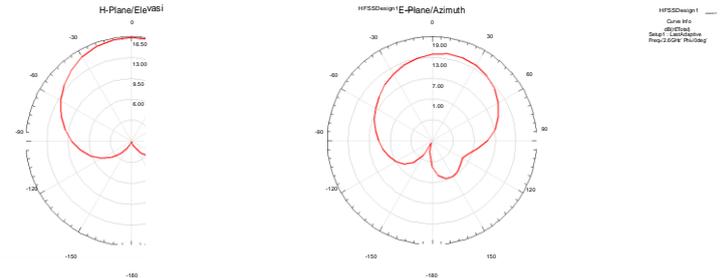


Gambar 3.4 Simulasi Return Loss antenna konvensional



Gambar 3.5 Simulasi VSWR antenna konvensional

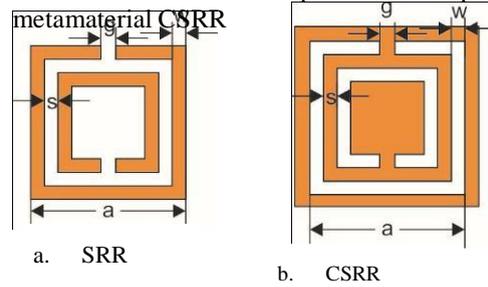
Dari gambar 3.4 dan gambar 3.5 diatas dapat dilihat bahwa antenna konvensional hasil optimalisasi telah dapat beresonansi pada frekuensi 2.6 Ghz dengan nilai return loss sebesar -27.48 dB dan VSWR = 1.083. Pada frekuensi 2.569 Ghz dan 2.6395 GHz nilai Return Loss berturut-turut yaitu sebesar -10,02 dB dan -10,03 dB. Dari data ini dapat diketahui bahwa pada rentang frekuensi 2.569-2,639 GHz, rancangan antenna mampu bekerja pada nilai VSWR ≤ 2 dengan bandwidth antenna sebesar 70.5 MHz.



(a) Arah elevasi, phi=0⁰ (b) Arah Azimuth, phi=90⁰
Gambar 3.6 Pola radiasi antenna

3.5 Perancangan Unit Sel Metamaterial CSRR

Berikut ini merupakan desain perancangan



Gambar 3.7 Dimensi Struktur Metamaterial

Rancangan CSRR pada Gambar 3.7(b) merupakan komplementer dari Split Ring Resonator (SRR), yang dibentuk dengan mengganti bagian metal SRR menjadi celah-celah dan sebaliknya celah-celah SRR digantikan dengan strip-strip metal. Pada tugas akhir ini ukuran CSRR yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 3.3 Nilai parameter CSRR

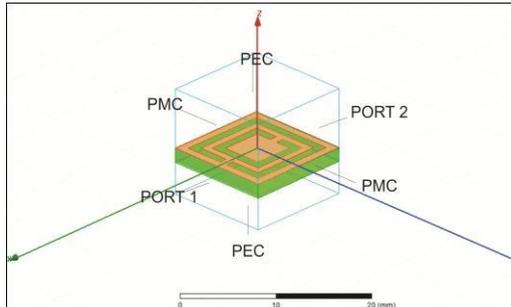
No	Parameter	Nilai
1.	Panjang ring terluar (a)	10,25 mm
2.	Lebar ring (w)	0.9 mm
3.	Celah antar ring (s)	0.9 mm
4	Gap/Celah ring (g)	1 mm

Hasil rancangan pada tabel 3.3 merupakan nilai optimum setelah melalui proses parameterisasi. Metamaterial CSRR pada tugas akhir ini lebih

difokuskan pada miniaturisasi antena, yang diletakkan pada bagian ground antena mikrostrip.

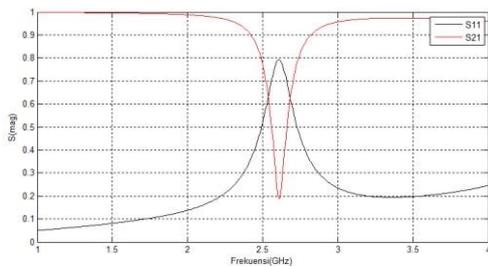
3.5.1 Simulasi Hasil Perancangan Metamaterial CSRR

Untuk mensimulasikan satu “sel” metamaterial dibutuhkan suatu kondisi simulasi yang seakan-akan periodik. Simulator memberikan fasilitas simulasi struktur yang berulang (*infinite structure*) dengan menggunakan “pembatasan yang berulang” atau lebih dikenal dengan *periodic boundary* [21]. Skema yang digunakan pada simulasi ini yaitu menggunakan paralel *Perfect Electric Conductor* (PEC) pada kedua dinding *boundary* bidang *xy*, dan *Perfect Magnetic Conductor* (PMC) kedua bidang *xz* sel metamaterial yang akan diuji. Eksitasi berupa *wave port* pada sisi yang lain (bidang *yz*). Ilustrasi kondisi simulasi sel metamaterial yang dilakukan terdapat pada gambar berikut.

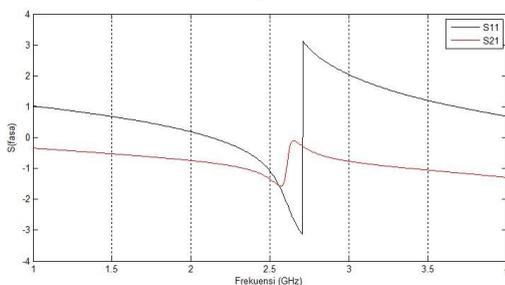


Gambar 3.8 Konfigurasi simulasi metamaterial CSRR

Berikut hasil simulasi metamaterial CSRR yang dilakukan :



Gambar 3.9 Magnituda CSRR



Gambar 3.10 Fasa CSRR

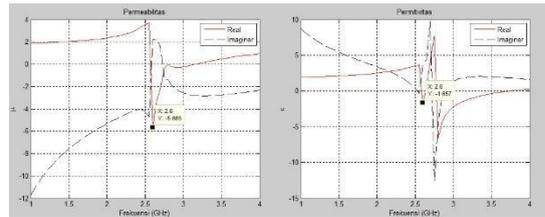
bahwa CSRR mempunyai frekuensi resonan di 2.6 GHz.

3.5.2 Ekstraksi Paramater Metamaterial dari S-

Paramater

Hasil Ekstraksi untuk permitivitas dan

gambar 3.11 di bawah ini. dari grafik tersebut, diperlihatkan bahwa struktur metamaterial yang didesain memiliki permitivitas dan permeabilitas yang negatif pada frekuensi 2.6 GHz dengan nilai permitivitas dan permeabilitas secara berturut-turut -1,657 dan -5,665, sehingga material ini dapat dikatakan sebagai *double negative metamaterial (DNG)/left handed material*..

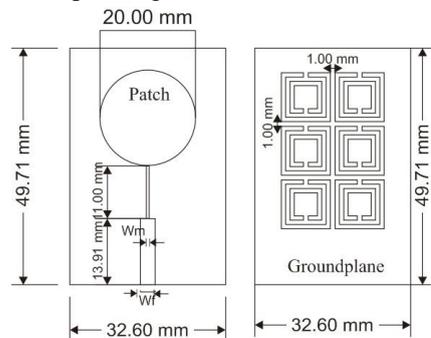


Gambar 3.11 Nilai permitivitas dan permeabilitas material

3.6 Perancangan Antena Mikrostrip Metamaterial

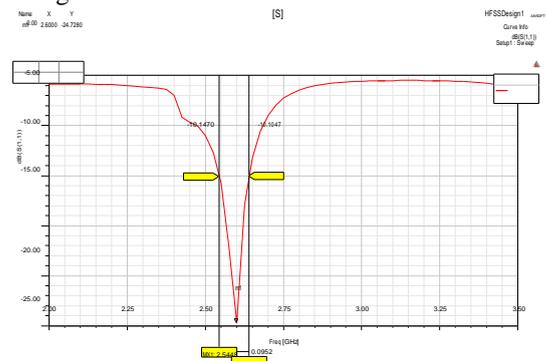
Antena mikrostrip metamaterial dibuat dengan menambahkan struktur metamaterial CSRR pada bagian ground plane antena mikrostrip konvensional. Dalam tugas akhir ini miniaturisasi patch antena yang ingin dicapai yaitu sebesar 50% dari ukuran patch antena konvensional.

Berikut perancangan antena mikrostrip metamaterial pada tugas akhir ini



Gambar 3.12 Desain dan ukuran antena tunggal metamaterial

Hasil simulasi antena mikrostrip metamaterial adalah sebagai berikut :



permeabilitas masing-masing dapat dilihat pada

Gambar 3.13 nilai return loss antenna metamaterial

Dari gambar 3.13 dapat dilihat bahwa antenna metamaterial telah dapat beresonansi pada frekuensi

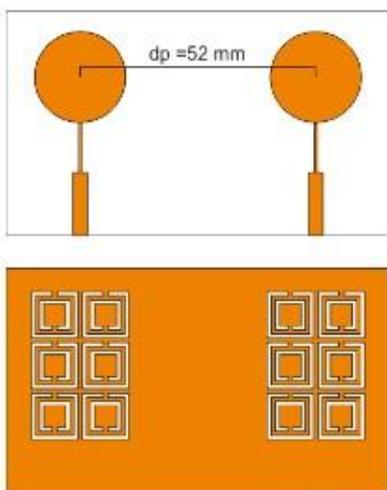
2.6 Ghz dengan nilai return loss sebesar -24.72 dB . Pada frekuensi 2.544 Ghz dan 2.645 GHz nilai Return

dB. Dari data ini dapat diketahui bahwa pada rentang frekuensi 2.544-2,640 GHz, rancangan antenna mampu bekerja pada nilai VSWR ≤ 2 dengan bandwidth antenna sekitar 95 MHz.

3.7 Perancangan Antena MIMO 2x2

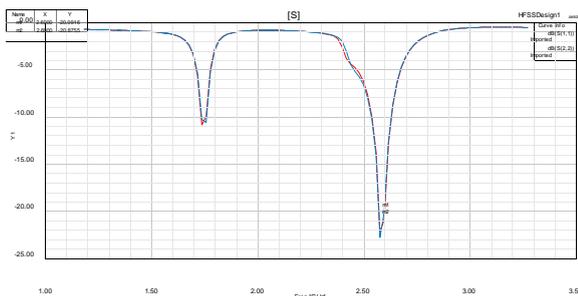
3.7.1 Desain dan Simulasi Antena Mikrostrip MIMO 2x2 Metamaterial

Perancangan antenna mimo metamaterial dilakukan setelah perancangan antenna tunggal metamaterial telah mencapai kondisi yang optimum. antenna tunggal metamaterial kemudian digabungkan dan diletakkan pada jarak $dp = 52$ mm untuk dibuat perancangan antenna MIMO 2x2 pada sisi penerima. Antena MIMO dikonfigurasi seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut ini :



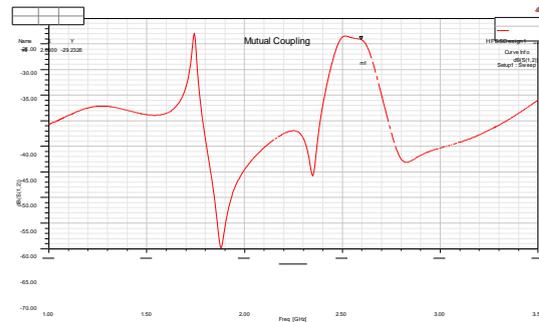
Gambar 3.14 Konfigurasi antenna MIMO Metamaterial

Dengan desain perancangan seperti pada gambar diatas, diperoleh nilai return loss sebagai berikut.



Gambar 3.15 Return Loss Antena MIMO Metamaterial dengan jarak $dp = 52$ mm

tunggal metamaterial sekitar 4 dB hal ini disebabkan karena pengaruh dari elemen antenna yang berdekatan.



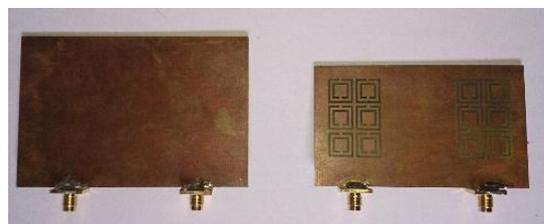
Gambar 3.16 Nilai mutual coupling saat jarak $dp = 52$ mm

Nilai mutual coupling $S_{12} < -29.23$ dB diperoleh saat jarak antar patch antenna sejauh 52 mm. Nilai ini telah memenuhi spesifikasi awal yang ditentukan.

3.8 Realisasi Antena



a) Tampak depan



b) Tampak belakang

Gambar 3.17 Antena MIMO konvensional dan MIMO metamaterial hasil realisasi

4. ANALISIS DAN PENGUKURAN ANTENA

4.1 Hasil dan Analisis Pengukuran Antena

Pada proses simulasi menggunakan perangkat lunak Ansoft Hffs, yang dibahas pada bab tiga sebelumnya, telah diperoleh 2 buah rancangan antenna MIMO, yaitu antenna MIMO Konvensional dan Antena MIMO Metamaterial. Antena MIMO metamaterial selanjutnya diukur dan dibandingkan terhadap parameter antenna MIMO konvensional untuk parameter

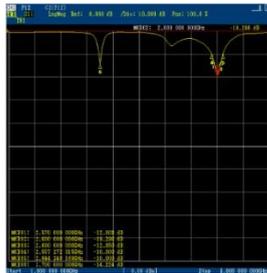
Dengan desain perancangan seperti pada gambar diatas, diperoleh nilai return loss antenna mimo S_{11} dan S_{22} berturut-turut sebesar -20.09 dB dan -20,875 dB di frekuensi 2.6 GHz. Nilai return loss ini mengalami penurunan bila dibandingkan pada antenna

tertentu.

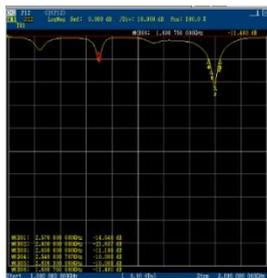
4.4.1 Hasil Pengukuran Return Loss, VSWR dan Impedansi Masukan

Hasil pengukuran parameter Return Loss (S_{11} dan S_{22}) pada antena MIMO metamaterial ditunjukkan gambar berikut ini. Parameter S_{11} menyatakan perbandingan antara tegangan yang direfleksikan dengan tegangan yang dikirimkan, dimana tegangan

tersebut masuk melalui port 1 dan keluar melalui port 1.

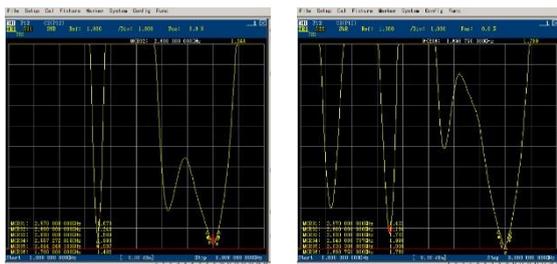


Gambar 4.1 Hasil Pengukuran Return Loss (S₁₁) antenna MIMO metamaterial



Gambar 4.2 Hasil pengukuran Return Loss (S₂₂) antenna MIMO metamaterial

Dari hasil pengukuran, didapatkan *Return loss* dari Antena MIMO metamaterial yang cukup bagus dengan bandwidth yang cukup lebar. Pada frekuensi tengah di 2.6 GHz return loss S11 hasil pengukuran didapatkan nilai -19.23 dB, sedangkan S22 adalah -21.63 dB. Pada frekuensi 2.57 dan 2.63 nilai return loss S11 berturut turut adalah -12.03 dB dan -12.85 dB.



(a) VSWR Port1 (b) VSWR Port 2

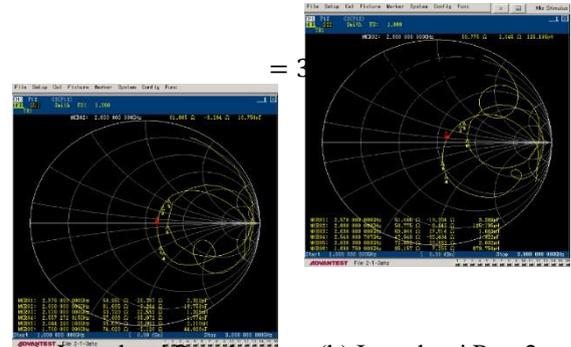
Gambar 4.3 Grafik VSWR antenna MIMO metamaterial

Pada antenna patch 1 nilai VSWR hasil pengukuran yang diperoleh pada frekuensi 2.557 GHz dan 2.644 GHz masing-masing adalah 1,930 dan 1,937. Nilai VSWR pada frekuensi 2.6 GHz sebesar 1.243. Sementara Bandwith yang diperoleh dengan VSWR < 2 atau Return Loss dibawah -10 dB

Port 1 :

$$S_{11} = \frac{P_{refl}}{P_{inc}} \times 100\%$$

$$S_{11} = \frac{P_{refl}}{P_{inc}} \times 100\%$$



(a) Impedansi Port 1 (b) Impedansi Port 2

Gambar 4.4 Hasil Pengukuran Impedansi Input antenna MIMO metamaterial

Impedansi antenna diukur pada titik catuan antenna. Nilai impedansi erat hubungannya dengan pantulan dan transfer daya maksimum. Ketika nilai impedansi di dapatkan 50 ohm maka daya mengalami transfer maksimum karena tidak ada daya yang dipantulkan

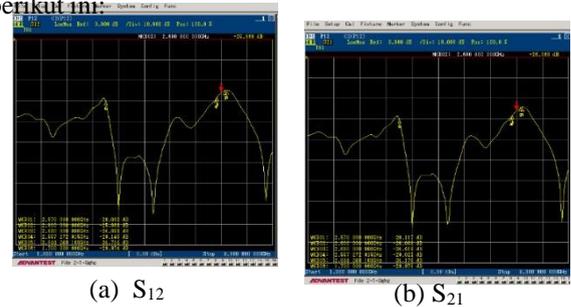
Pada hasil pengukuran didapat nilai impedansi sebesar :

Impedansi 1 : -61.665 – j3.246 ohm

Impedansi 2 : -58.775 + j2.045 ohm

4.4.2 Hasil Pengukuran Mutual Coupling

Hasil pengukuran *mutual coupling* ini dapat dilihat pada grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 4.5 berikut ini:



(a) S₁₂ (b) S₂₁

Gambar 4.5 Grafik mutual coupling antenna MIMO metamaterial

Tabel 4-1 Perbandingan mutual coupling hasil simulasi dan pengukuran

Frekuensi (GHz)	S ₁₂		S ₂₁	
	Simulasi	Pengukuran	Simulasi	Pengukuran
2.57	-28.965	-28.083	-28.965	-28.117
2.6	-29.232	-25.863	-29.236	-26.068
2.63	-30.775	-24.863	-30.775	-24.410

S₁₂ adalah parameter kopling antar patch antenna 1 dan antenna 2. dari table diatas dapat dilihat pada frekuensi 2.6 Ghz nilai mutual coupling antenna

Port 2 : = 3.34% (87 ~~00~~)

pada didapatkan nilai sebesar -37.53 dB. Sementara pada hasil pengukuran adalah sebesar -29.2 dB. adalah

terjadi penurunan nilai mutual coupling antenna dari hasil simulasi.

Perbedaan nilai S_{12} antara hasil simulasi dan pengukuran disebabkan oleh bergesernya jarak antar patch dalam proses pabrikasi, karena dalam pembuatan antenna mikrostrip diperlukan keakuratan yang tinggi, pergeseran kecil dimensi akan berpengaruh pada hasil pengukuran.

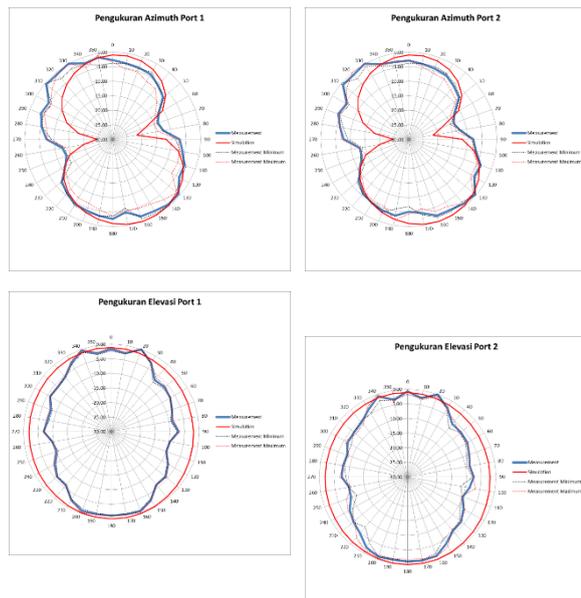
Untuk nilai mutual coupling ini dapat ditarik kesimpulan bahwa performa antenna hasil realisasi telah memenuhi spesifikasi antenna MIMO.

4.4.3 Hasil Pengukuran Pola radiasi, Polarisasi dan Gain

Data hasil pengukuran antenna MIMO metamaterial ini dapat dilihat pada Lampiran A. Dilakukan pengukuran pola radiasi, polarisasi dan gain pada masing-masing port antenna. MIMO metamaterial, data yang didapat kemudian dinormalisasikan terhadap nilai yang maksimum. Hasil normalisasi selanjutnya di-plot dalam grafik. Pengolahan data ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel 2013.

Dari proses pengukuran yang dilakukan didapatkan hasil polaradiasi antenna yang ditampilkan

pada gambar 4.6 berikut ini :

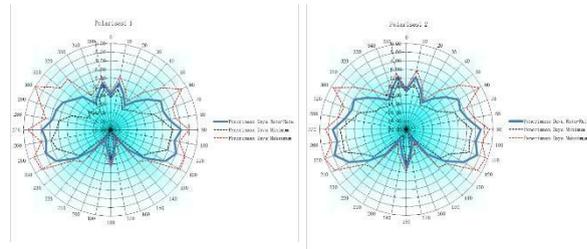


Gambar 4.6 Pola radiasi secara azimuth dan elevasi pada masing –masing port antenna MIMO

Dari hasil pengukuran polaradiasi secara azimuth dan elevasi didapatkan bentuk yang hampir sama pada masing-masing port antenna, hal ini disebabkan karena kedua antenna yang digunakan adalah identik. Terdapat perbedaan daya terima hasil pengukuran terhadap hasil simulasi yang dikarenakan kondisi lingkungan saat pengukuran seperti pantulan dari benda-benda yang terdapat di dalam ruang ukur sehingga nilai daya yang diterimapun berbeda. Namun dari hasil pengukuran yang didapat, telah mampu diperlihatkan bahwa pola radiasi masing-masing port

antenna pada antenna MIMO tidak jauh berbeda dari hasil simulasi yaitu mempunyai bentuk omnidirectional.

Gambar 4.7 berikut ini menampilkan polarisasi antenna dari data pengukuran yang diperoleh.



Gambar 4.7 Polarisasi antenna

Untuk mengetahui jenis dari polarisasi antenna maka dilakukan perhitungan terhadap data yang didapat dari hasil pengukuran polarisasi. Dengan analisis axial ratio, maka dapat diketahui tipe polarisasi antenna.

Hubungan antara daya terima dengan axial ratio dapat sebagai berikut:

$$AR = \frac{P_{max}}{P_{min}} = \sqrt{\frac{P_{max} \times 377}{P_{min} \times 377}}$$

dengan P_{max} dan P_{min} saling tegak lurus terbesar pada sudut $\theta = 0^\circ$ dibandingkan nilai yang

Dari hasil pengukuran pada sudut $\theta = 0^\circ$ diperoleh data sebagai berikut :

Daya terima maksimum (sumbu mayor) = -40,94 dBm = 1.2375×10^{-5} mW

Daya terima minimum (sumbu minor) = -49,07 dBm = $8,0563 \times 10^{-6}$ mW

$$AR = \sqrt{\frac{1.2375 \times 10^{-5}}{8,0563 \times 10^{-6}}} = 2.55 = 4.07 \text{ dB}$$

Seluruh sudut dihitung, kemudian untuk mendapatkan nilai axial ratio pada satu frekuensi adalah dengan melakukan rata-rata nilai axial ratio pada masing-masing sudut. Dari proses tersebut diatas, maka didapatkan nilai axial ratio sebagai berikut :

Tabel 4-2 Nilai axial ratio Antena MIMO

Port	Axial Ratio Rata –rata	Axial Ratio Minimum	Axial Ratio Maximum
Port 1	4.05	3.59	4.72
Port 2	4.00	3.64	4.56

Dari hasil pengukuran dapat diketahui jenis polarisasi antenna dari analisis nilai axial ratio. Jika nilai

axial ratio \gg 3 dB, maka dapat dikatakan polarisasi yang dihasilkan adalah linier. Hasil

perhitungan menunjukkan bahwa axial ratio pada port 1 dan port 2 antena MIMO $\gg 3$ dB sehingga dapat dikatakan antena berpolarisasi linear.

Pengukuran gain antena pada pengerjaan tugas akhir ini menggunakan metode perbandingan 3 antena. Penulis menggunakan 3 antena yaitu antena horn (1), Antena dipole (2), dan antena MIMO metamaterial sebagai AUT (3). Pengukuran dilakukan dalam 3 kombinasi, yaitu kombinasi pertama ketika antena 1 sebagai pengirim dan antena 2 sebagai penerima. Kombinasi kedua adalah ketika antena 1 sebagai pengirim dan antena 3 sebagai penerima. Kombinasi ketiga adalah ketika antena 2 sebagai pengirim dan antena 3 sebagai penerima.

Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran gain adalah sebagai berikut

Tabel 4-3 Nilai gain antena

Antena	Gain	
	Simulasi	Pengukuran
Port 1	0.29 dB	1.71 dB
Port 2	0.29 dB	1.75 dB

Dari hasil pengukuran didapatkan *gain* antena pada frekuensi 2.6 GHz pada antena MIMO metamaterial yaitu sebesar 1.71 dB untuk port 1 dan 1.75 untuk port 2 Antena MIMO. Hasil gain ini berbeda dengan hasil pengukuran karena kondisi pengukuran yang tidak ideal. Terjadi peningkatan gain dibandingkan antena hasil simulasi disebabkan karena adanya gelombang lain yang diterima saat pengukuran sehingga mempengaruhi daya penerimaan.

5.1 Kesimpulan

Telah dilakukan perancangan antena MIMO dengan menggunakan metamaterial CSRR untuk mereduksi patch antena. Tahapan proses dimulai dari penentuan spesifikasi awal, perancangan antena tunggal konvensional dan metamaterial, lalu

perancangan antena MIMO metamaterial. Dari hasil pengukuran dan analisis akhir antena dapat di ambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Antena tunggal metamaterial mampu mereduksi ukuran patch sebesar 62.32% dibandingkan dengan antena konvensional. Ini membuktikan bahwa struktur metamaterial dapat mengurangi ukuran antena
2. Semakin banyak jumlah elemen metamaterial CSRR pada bidang ground antena, maka semakin besar dalam penurunan frekuensi resonansi antena sehingga dapat diperoleh persentase miniaturisasi yang semakin besar namun terjadi penurunan gain pada antena.
3. Telah berhasil di realisasikan antena MIMO metamaterial dengan nilai parameter masing-masing port pada frekuensi 2.6 GHz sebagai berikut.
 $S_{11} = -19.23$ dB, $S_{22} = -21.63$ dB, $S_{12} = -25.86$ dB, -26.068 dB. Bandwith port 1 sebesar 87 MHz, dan Bandwith port 2 88 MHz. gain yang

dihasilkan sebesar 1.71 dB untuk antena 1 dan 1.75 dB untuk antena 2. Polaradiasi yang dibentuk antena yaitu polaradiasi omnidirectional dengan polarisasi vertical.

4. Terdapat perbedaan hasil simulasi dengan hasil pengukuran antena, karena adanya beberapa kesalahan yang dilakukan dalam pengukuran antena. Namun masih memenuhi spesifikasi yang diharapkan..

5.2 Saran

Berikut adalah beberapa saran yang diberikan untuk penelitian dan pengembangan lebih lanjut :

1. Dapat melakukan modifikasi bentuk dan letak elemen metamaterial serta kegunaan metamaterial yang dapat digunakan untuk peningkatan parameter yang lain misalnya dual/multi band frekuensi, peningkatan bandwidth, gain, isolasi dan sebagainya.
2. Melakukan analisis ekstraksi parameter metamaterial menggunakan metode dan perhitungan yang lain.
3. Melakukan pengukuran antena ditempat yang lebih ideal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Uke K U., Galuh P., Denny K.H dan Sigit D.P. 2012. Fundamental Teknologi Seluler LTE. Bandung : Penerbit Rekayasa Sains.
- [2] Notis Dimitris T., Phaedra C., Dimitris P. Dual Polarized Microstrip Patch Antenna, Reduced in Size by Use of Peripheral Splits. Aristotle University of Thessaloniki. Department of Electrical & Computer Engineering. Yunani.
- [3] Li Ronglin, Gerald D., Manos M. T. Joy L. 2004. Development and Analysis of a Folded Shorted-Patch Antenna With Reduced Sized. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 52, No. 2.
- [4] Lai. A, Leong. K, and Itoh.T. 2007. Infinite Wavelength Resonant Antenna with monopolar radiation Pattern Based on Periodic Structure. IEEE Trans Vol. 55, No. 3. Maret.
- [5] Prashant R.T, Vani R. M, and Hunagund P.V. 2014. Design of Microstrip Patch Antenna Using Complementary Split Ring Resonator Loaded Ground Plane for Size Reduction.IJAREIE Vol. 3, Issue 3, March 2014
- [6] Aparna U. Limaye, and Jayanti Venkataraman. 2006.Size Reduction in Microstrip Antennas using Left-Handed Materials Realized by Complementary Split-Ring Resonators in Ground Plane. Master Thesis, Department of Electrical Engineering, Kate Gleason College of Engineering (KGC OE), Rochester Institute of Technology, New York

- [7] A.C. Balanis. 2005. *Antenna Theory : Analysis Design* Third Edition. John Wiley & Sons. Inc.
- [8] J.R. James and P.S.Hall. 1989. *Handbook of Microstrip Antennas*. London:United Kindom.
- [9] R. Garg, B. Prakash, and I. Bahl, A.Ittipiboon. 2001.. *Microstrip Antenna Design Handbook*. London: Artech House.
- [10] G.Kumar and K.P. Ray. 2003.. *Broadband Microstrip Antennas*. London: Artech House.
- [11] Pozar, David M., *Microwave Engineering*, John Wiley and Sons, 1997.
- [12] Molisch, A dan Win, M. 2004. *MIMO Systems with Antenna Selection – An Overview*. Cambridge : Mitsubishi Electric Research Laboratory.
- [13] Ali Imran Najam, Yvan Duroc and Smail Tedjini . 2012. *Multiple-Input Multiple-Output Antennas for Ultra Wideband Communications, Ultra Wideband .InTech*,.
- [14] J. D. Baena, J. Bonache, F. Martin, R. Marques, F. Falcone, T. Lopetegui, M. A. G. Laso, J. Garcia, I. Gil, and M. Sorolla. 2005. Equivalent-circuit models for split-ring resonators and complementary split-ring resonators coupled to planar transmission lines. *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 53, no. 4.
- [15] Rumney, Moray. 2013.. *LTE and the Evolution to 4G Wireless : Design and Measurement Challenge* second edition. John Wiley & Sons. Inc.
- [16] 3rd Generation Partnership Project. 3rd generation project . 2009. technical spesification group radio acces network; Evolved Universal Terrestrial Radio Acces (E-Utra); Radio Frequency (RF) system scenarios; (Release 8). Valbonne : 3GPP.
- [17] Caloz, Christophe and Tatsuo Itoh. 2006.. *Electromagnetic Metamaterials: Transmission Line Theory and Microwave Applications*. John Wiley & Sons, Inc.
- [18] V. G. Veselago. 1968.. “The electrodynamics of media with simultaneously negative values of permittivity and magnetic permeability,” *Sov. Phys. \—Usp.*, vol. 47, pp. 509-514, Jan.–Feb. 1968.
- [19] Pendry, J. B., et al. 1996. “Extremely Low Frequency Plasmons in Metallic Microstructures”. *Phys. Rev. Lett.* 76 4773-6 (1996).
- [20] Smith, D. R., et al. 2000 *Composite Medium with Simultaneously Negative Permeability and Permittivity*. *Physical Review E*.84, Number 18.
- [21] Chen, Xudong, et al. 2004. Robust method to retrieve the constitutive effective parameters of metamaterials. *Physical Review E* 70. The American Physical Society.
- [22] Jigar M. Patel, Shobhit K. Patel and Falgun N. Thakkar. 2013 . “Defected Ground Structure Multiband Microstrip Patch Antenna using Complementary Split Ring Resonator”. *IJETEE*. Vol. 3,
- [23] Arif Harfianto , Mohammad. 2013 .“ Realisasi antena patch pita ganda 1,575 GHz dan 2,45 GHz menggunakan struktur metamaterial”. Bandung. Universitas Telkom.