

Antena Mikrostrip *Multiple Input Multiple Output* dengan *Patch Rectangular* pada *Long Term Evolution*

Eka Wahyudi^{1*)}, Eka Setia Nugraha², Theodora Silva Munthe³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Telekomunikasi ST3 Telkom Purwokerto

email: ¹ekawahyudi@st3telkom.ac.id, ²eka_nugraha@st3telkom.ac.id, ³14101133@st3telkom.ac.id

Abstrak - Komunikasi *wireless* menggunakan antena sebagai pemancar dan penerima sinyal informasi. Antena mikrostrip merupakan salah satu teknologi antena yang dapat dirancang dengan biaya murah, bentuk dan ukuran yang minimalis sehingga dapat diaplikasikan pada perangkat *mobile*. Antena mikrostrip dengan bentuk *rectangular* dirancang pada frekuensi 2,35 GHz untuk aplikasi LTE yang memanfaatkan teknik antena MIMO. Perancangan antena MIMO menggunakan dua buah antena dengan setiap saluran pencatu dibuat sehingga antena tidak saling mempengaruhi dengan melihat parameter koefisien korelasi harus $< 0,2$ dan nilai VSWR < 2 . Untuk mendapatkan nilai VSWR < 2 . Perancangan antena dioptimasi dengan metode *e-shaped* sehingga menghasilkan nilai parameter antena sesuai dengan spesifikasi perancangan antena. Hasil simulasi VSWR bernilai 1,15 sedangkan hasil pengukuran VSWR bernilai 1,16. Nilai *bandwidth* simulasi 48,1 MHz sedangkan hasil pengukuran *bandwidth* 68 MHz. *Return loss* simulasi yaitu -22,17 dB sedangkan saat pengukuran bernilai -22,931 dB. Impedansi simulasi sebesar 49,17 Ω sedangkan saat pengukuran bernilai 43,47 Ω . Sedangkan nilai koefisien pantul bernilai 0,06 sehingga saluran impedansi masih *matching* sempurna. Nilai *gain* simulasi 2,87 dB sedangkan saat pengukuran sebesar 4,99 dB. Untuk nilai koefisien korelasi simulasi saat frekuensi 2,35 GHz sebesar 7×10^{-5} sedangkan saat pengukuran sebesar 0,00192.

Kata Kunci - MIMO, *rectangular*, VSWR, koefisien korelasi.

I. PENDAHULUAN

Salah satu teknologi *wireless* yang saat ini sedang berkembang yaitu *Long Term Evolution* (LTE) yang merupakan teknologi komunikasi selular *Fourth Generation* (4G) keluaran *3rd Generation Partnership Project* (3GPP). LTE sebagai teknologi terbaru komunikasi *wireless* menyediakan layanan akses data dengan kecepatan lebih tinggi dari teknologi sebelumnya. Untuk dapat menggunakan layanan LTE maka dibutuhkan perangkat antena yang dirancang sesuai dengan spesifikasi LTE, baik di sisi pengirim dan penerima. LTE merupakan teknologi yang menggunakan sistem *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) pada penggunaan antenanya. MIMO merupakan sistem antena yang memanfaatkan multi antena pada sisi pengirim dan penerima.

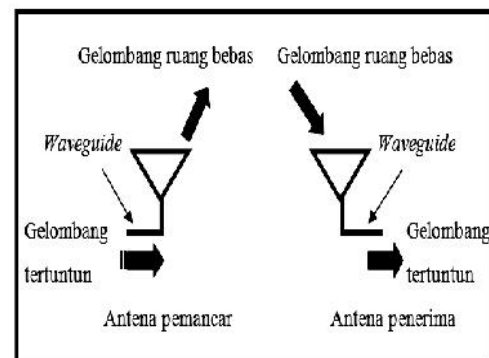
Pada penelitian ini antena MIMO yang dirancang yaitu dengan dua buah antena. Penelitian membahas mengenai perancangan, simulasi dan pabrikan antena mikrostrip MIMO bentuk *rectangular* pada frekuensi tengah 2,35 GHz dengan

menggunakan *software CST microwave studio 2012*.

II. TINJAUAN STUDI

A. Antena

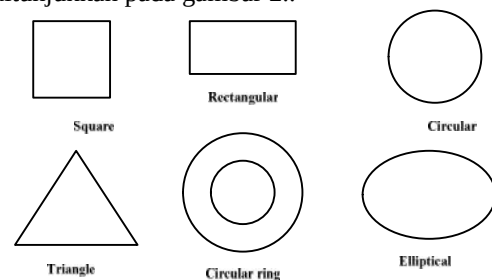
Antena merupakan komponen dalam sistem komunikasi radio gelombang radio yang berfungsi untuk memancarkan dan atau menerima gelombang elektromagnetik. Prinsip kerja antena sebagai pemancar yaitu dengan mengubah gelombang tertuntun di dalam saluran transmisi menjadi gelombang merambat di ruang bebas. Antena sebagai penerima bekerja dengan mengubah gelombang ruang bebas menjadi gelombang tertuntun. Pemanfaatan antena pada sistem telekomunikasi *wireless* diantaranya yaitu berupa telekomunikasi *broadcast* seperti pada televisi, radio dan telekomunikasi dengan menggunakan gelombang radio[1]. Prinsip kerja antena secara sederhana dapat dilihat pada gambar 1.



Gbr 1. Prinsip kerja antena

B. Antena Mikrostrip

Patch merupakan lapisan teratas dari suatu antena mikrostrip. *Patch* terbuat dari bahan konduktor yang umum digunakan yaitu tembaga. *Patch* merupakan komponen yang bekerja meradiasikan gelombang elektromagnetik ke udara. Bentuk *patch* dari antena mikrostrip bermacam-macam seperti ditunjukkan pada gambar 2..



Gbr 2. Bentuk *patch* [2]

*) penulis korespondensi

Pada penulisan penelitian ini antenna mikrostrip yang dibahas yaitu antenna mikrostrip dengan bentuk *patch rectangular*.

Lapisan *substrate* merupakan lapisan kedua pada struktur antenna mikrostrip. *Substrate* merupakan bahan dielektrik yang memiliki nilai dielektrik dan ketebalan yang berbeda dari *patch* dan *groundplane*. *Substrate* merupakan lapisan yang memisahkan *patch* dengan *groundplane*.

Groundplane merupakan lapisan terbawah dari antenna mikrostrip. *Groundplane* pada umumnya terbuat dari bahan yang sama dengan *patch* yaitu konduktor tembaga.

Penggunaan antenna mikrostrip memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan, kelebihan antenna mikrostrip yaitu[2]:

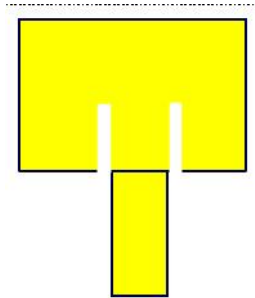
- 1) Relatif lebih mudah untuk dirancang karena ukurannya yang minimalis dan ringan.
- 2) Pabrikasi yang cukup sederhana dan dengan biaya yang relatif murah.
- 3) Mudah terintegrasi dengan gelombang elektromagnetik dan perangkat saluran transmisi.
- 4) Lebih mudah diproduksi dalam jumlah yang banyak.

Sedangkan kekurangan dari antenna mikrostrip yaitu:

- 1) Bekerja pada *bandwidth* yang terbatas atau sempit.
- 2) Memiliki *gain* yang rendah.
- 3) Sensitif terhadap kehilangan daya pada saluran pencatu.
- 4) Rentan terhadap gelombang permukaan.

C. Teknik E-Shaped

E-shaped merupakan salah satu teknik optimasi pada perancangan antenna mikrostrip. *E-shaped* merupakan pemotongan bagian bagian *patch* yang menyatu sejajar dengan saluran pencatu, sehingga menyerupai huruf E. *E-shaped* berpengaruh pada penurunan nilai *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR). Optimasi *E-shaped* ini diikuti dengan perubahan pada ukuran dimensi antenna mikrostrip pada sisi panjang dan lebar. Bentuk *E-shaped* ditunjukkan pada gambar 2.3.

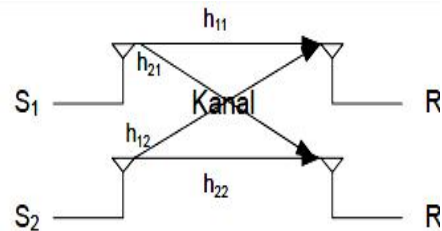


Gbr 3 Teknik E-shaped

D. Multiple Input Multiple Output (MIMO)

Multiple Input Multiple Output (MIMO) [3] merupakan sistem dengan menggunakan banyak *input* dan banyak *output*. Pada sistem jaringan *Long Term Evolution* (LTE) sistem antenna yang digunakan yaitu antenna MIMO.

Prosiding ini membahas perancangan antenna MIMO dengan menggunakan 2 buah antenna. Sehingga akan ada empat jalur transmisi yang digunakan yang berkaitan dengan koefisien korelasi. Ilustrasi konsep MIMO ditunjukkan pada gambar 4.



Gbr 4 Sistem Antena MIMO [4]

Koefisien Korelasi [5] (ρ) pada antenna mikrostrip MIMO berkaitan dengan hubungan antara nilai pada parameter S. Antena MIMO bekerja dengan menggunakan *multiple* antenna, untuk mengetahui nilai koefisien korelasi pada antenna mikrostrip dengan menggunakan persamaan [5]:

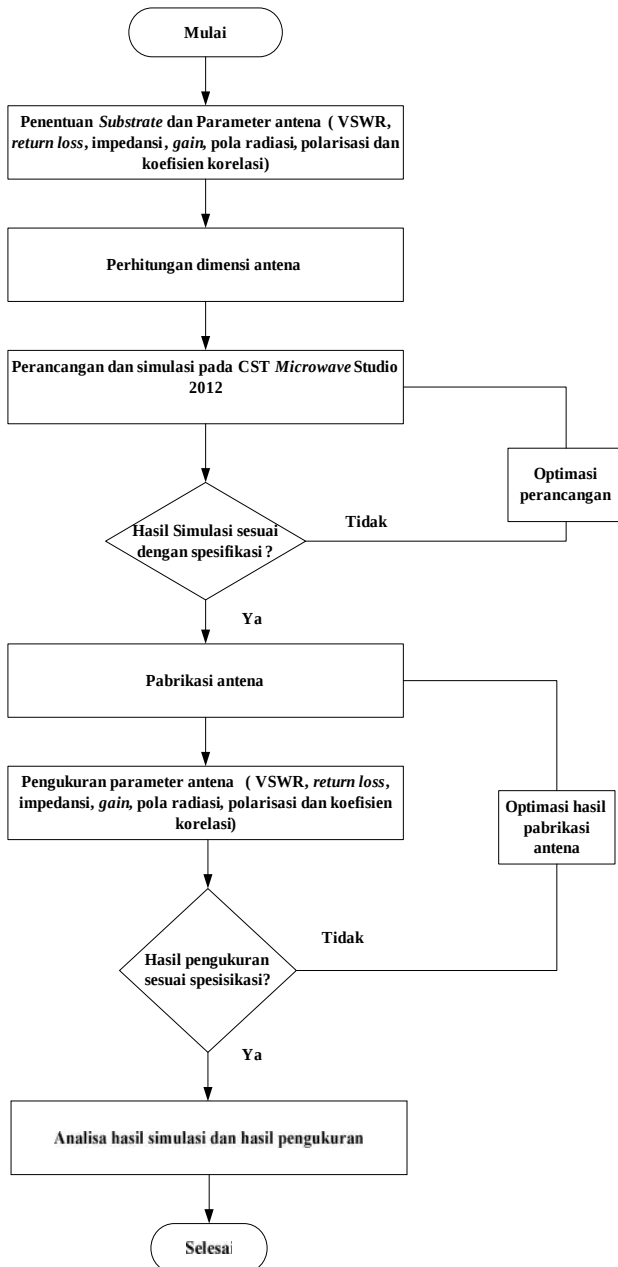
$$\rho = \frac{|S_{11} \cdot S_{12} + S_{21} \cdot S_{22}|^2}{(1 - (|S_{11}|^2 + |S_{21}|^2))(1 - (|S_{22}|^2 + |S_{12}|^2))} \quad (1)$$

Nilai S11, S12, S22 dan S21 diperoleh dari parameter pada simulasi dan pengukuran untuk perancangan antenna MIMO. Nilai koefisien korelasi pada sistem antenna MIMO yang ideal yaitu 0.

III. METODE PENELITIAN

A. Flowchart Pengerjaan

Tahapan pengerjaan untuk perancangan antenna mikrostrip yaitu penentuan spesifikasi antenna mikrostrip yang akan dirancang. Penentuan parameter yang digunakan pada perancangan antenna mikrostrip. Setelah menentukan spesifikasi antenna tahapan selanjutnya yaitu melakukan perhitungan dimensi antenna berdasarkan penggunaan bahan yang akan digunakan untuk realisasi antenna. Setelah diketahui ukuran atau dimensi antenna yang akan dirancang, dilanjutkan dengan perancangan antenna dengan menggunakan simulasi *software CST microwave studio 2012*, perancangan pada CST disesuaikan dengan hasil perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya. Jika hasil simulasi sesuai dengan spesifikasi maka hasil perancangan pada CST dapat dilanjutkan ke tahap realisasi atau pencetakan antenna, dilanjutkan dengan pengukuran dari hasil pencetakan antenna dan dilanjutkan dengan membandingkan hasil simulasi dengan pengukuran sebagai analisa. Jika hasil simulasi tidak sesuai dengan spesifikasi, maka dilakukan optimasi pada simulasi dimensi antenna pada simulator. Pengerjaan penelitian ini ditunjukkan pada gambar 5.



Gbr .5 Blok diagram pengerjaan penelitian

B. Rancangan Data

1) Perhitungan Perancangan Dimensi Antena

a) Menghitung lebar patch[6]

Menentukan lebar elemen peradiasi dengan menggunakan frekuensi yaitu 2,35 GHz.

$$W = \frac{C}{2xf_c \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (2)$$

$$= \frac{3 \times 10^8}{2 \times 2,35 \times 10^9 \sqrt{\frac{4,4 + 1}{2}}} = 0,0388 \text{ m} = 38,846 \text{ mm}$$

b) Menghitung konstanta dielektrik efektif[7]

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \times \frac{h}{W} \right)^{-2/\epsilon_r} \quad (3)$$

$$= \frac{4,4 + 1}{2} + \frac{4,4 - 1}{2} \left(1 + 12 \times \frac{1,6}{38,846} \right)^{-2/4,4} = 4,09$$

c) Menghitung jarak antar elemen antenna

Perhitungan jarak antar elemen berdasarkan penggunaan lamda, lamda yang digunakan yaitu $\frac{1}{2} \lambda$.

$$\lambda_0 = \frac{C}{f \cdot \sqrt{\epsilon_r}} \quad (4)$$

$$= \frac{3 \times 10^8}{(2,35 \times 10^9)(\sqrt{4,4})} = 0,06085 \text{ m} = 60,859 \text{ mm}$$

Perhitungan jarak antar elemen patch (D)

$$\frac{1}{2} \lambda = \frac{1}{2} \times 60,859 = 30,429 \text{ mm} \quad (5)$$

d) Menghitung length (L_{eff})[6] :

$$L_{eff} = \frac{C}{2xf_c \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (6)$$

$$= \frac{3 \times 10^8}{2 \times 2,35 \times 10^9 \sqrt{4,09}} = 0,0315 \text{ m} = 31,561 \text{ mm}$$

e) Menghitung pertambahan panjang patch[7]

$$\Delta L = 0,412 h \left[\frac{(\epsilon_{eff} + 0,3) \left(\frac{W}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0,258) \left(\frac{W}{h} + 0,8 \right)} \right] \quad (7)$$

$$= 0,412 \times 1,6 \left[\frac{(4,09 + 0,3) \left(\frac{38,846}{1,6} + 0,264 \right)}{(4,09 - 0,258) \left(\frac{38,846}{1,6} + 0,8 \right)} \right]$$

$$= 0,6592 \left[\frac{(4,39)(24,542)}{(3,832)(25,07875)} \right] = 0,7388 \text{ mm}$$

f) Menghitung panjang patch[6]

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (8)$$

$$= 31,561 - (2 \times 0,7388) = 30,0834 \text{ mm}$$

g) Menghitung lebar substrat[8]

$$W_g = W_{patch} + 6(h) \quad (9)$$

$$= 38,846 + 6(1,6)$$

$$= 48,446 \text{ mm}$$

h) Menghitung panjang substrat[8]

$$\begin{aligned} L_g &= L_{patch} + 6(h) \\ &= 30,0834 + 6(1,6) \\ &= 39,6834 \text{ mm} \end{aligned} \quad (10)$$

i) Menghitung dimensi saluran pencatu dengan impedansi 50 Ω [9]

$$\begin{aligned} B &= \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \\ &= \frac{60\pi^2}{50\sqrt{4,4}} \\ &= 5,64 \Omega \end{aligned} \quad (11)$$

Lebar stripline[9]

$$\begin{aligned} W_{st} &= \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\pi\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \\ &= \frac{2 \times 1,6}{\pi} \left\{ 5,64 - 1 - \ln(2 \times 5,64 - 1) + \frac{4,4 - 1}{2 \times 4,4} \left[\ln(5,64 - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{4,4} \right] \right\} \\ &= 1,019 \{ 4,64 - \ln(10,28) + 0,38636 [\ln(4,64) + 0,25] \} \\ &= 1,019 (2,3097 + 0,6888) \\ &= 3,055 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\frac{W}{h} = \frac{3,055}{1,6} = 1,909$$

Karena nilai $W/h > 1$, maka :

$$\begin{aligned} \epsilon_{eff} &= \frac{4,4 + 1}{2} + \frac{4,4 - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \left(\frac{1,6}{3,055} \right)}} \right] \\ &= 3,32985 \end{aligned} \quad (12)$$

dengan $f_c = 2350 \text{ MHz}$

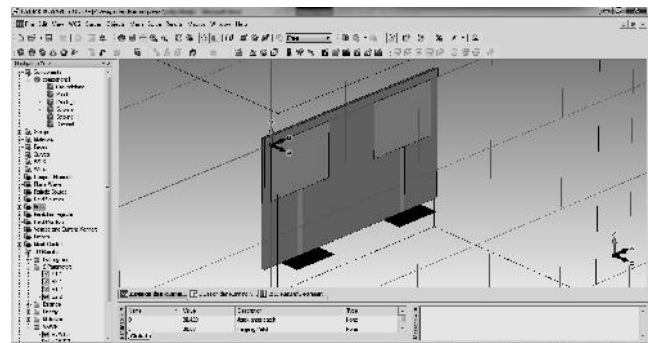
$$\begin{aligned} \lambda_0 &= \frac{c}{f_c} = \frac{3 \times 10^8}{2,35 \times 10^9} = 0,1276 \text{ m} \\ &= 127,659 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda_g &= \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} = \frac{127,659}{\sqrt{3,32985}} \\ &= 68,9582 \text{ mm} \end{aligned}$$

j) Untuk perhitungan nilai *line stripline* (Lst) :

$$\begin{aligned} Lst &= \frac{\lambda_g}{2} = \frac{68,9582}{2} \\ &= 34,479 \text{ mm} \end{aligned}$$

Gambar 6 merupakan hasil perancangan antenna mikrostrip MIMO menggunakan CST Studio 2012 berdasarkan hasil perhitungan.



Gbr 6 Dimensi patch dan strip line

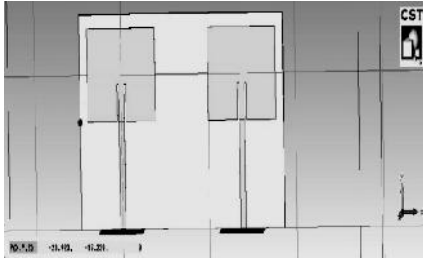
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Simulasi E-shaped

Perancangan antenna mikrostrip dengan dimensi yang sesuai dengan perhitungan untuk dimensi antenna menghasilkan nilai parameter yang belum sesuai dengan spesifikasi antenna. Untuk itu hasil perancangan antenna dioptimasi dengan metode *E-shaped*. Penambahan teknik *E-shaped* pada antenna mikrostrip diikuti dengan perubahan dimensi antenna. Gambar 47 merupakan hasil perancangan antenna mikrostrip MIMO menggunakan CST Studio 2012 dengan optimasi *E-shaped*.

TABEL I
DIMENSI ANTENA

Komponen	Simbol	Dimensi (mm)	
		Awal	E-shaped
Lebar Patch	W	30,046	28,846
Jarak antar patch	D	30,429	30,429
Panjang patch	L	30,08	30,08
Tebal patch	Tp	0,035	0,035
Lebar stripline	Wst	3,057	3,057
Panjang stripline	Lst	34,978	32,112
Panjang E-shaped	PE	-	12
Lebar E-shaped	LE	-	1

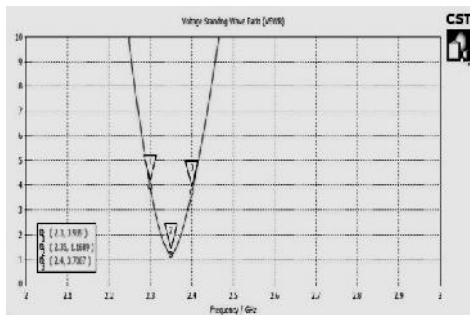


Gbr 7. Antena E-shaped

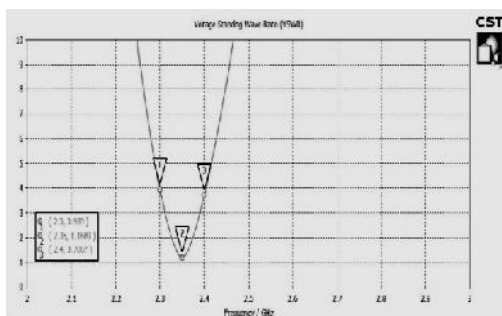
Pada penelitian ini dimensi antenna yang mengalami perubahan yaitu lebar antenna dan panjang saluran transmisi. Berdasarkan optimasi *E-Shaped*, dimensi antenna mengalami perubahan ditunjukkan pada tabel 1.

a) Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

Nilai Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) dengan menggunakan optimasi *E-shaped* ditunjukkan pada gambar 4.2 dan 4.3. Nilai VSWR yang diperoleh untuk kedua antenna sudah sesuai dengan spesifikasi dari antenna yang dirancang. Frekuensi kerja yang diperoleh yaitu berada pada 2,35 GHz dengan nilai VSWR 1,16.



Gbr 8 VSWR 1 Optimasi



Gbr 9 VSWR 2 Optimasi

Nilai VSWR dari optimasi *E-shaped* ditunjukkan pada tabel 2.

TABEL III
VSWR E-SHAPED

Frekuensi (GHz)	VSWR 1	VSWR 2
2,3	3,939	3,939
2,35	1,168	1,168
2,4	3,7	3,7

Gambar 8 dan 9 menunjukkan frekuensi tengah atau

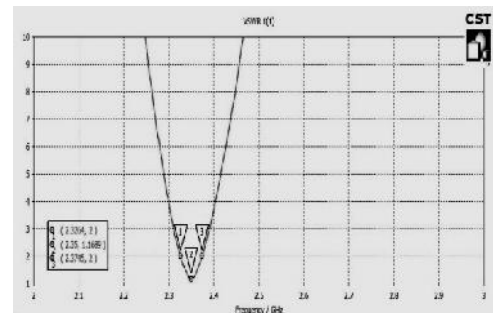
frekuensi kerja yang digunakan adalah 2,35 GHz dengan nilai VSWR 1,16. Sedangkan frekuensi rendah yaitu 2,3 GHz memiliki nilai VSWR 3,939 dan frekuensi tinggi 2,4 GHz memiliki nilai VSWR 3,7. Hal ini berkaitan dengan *bandwidth* dari antenna mikrostrip yang dirancang. Dari kondisi ini frekuensi rendah dan frekuensi tinggi akan mengalami pergeseran. Dilihat dari posisi frekuensi ketika VSWR bernilai 2. Pergeseran frekuensi rendah dan frekuensi tinggi ditunjukkan pada gambar 4.4. Frekuensi rendah mengalami pergeseran menjadi 2,32 GHz dan frekuensi tinggi turun menjadi 2,37 GHz. Dari gambar 4.4 ini dapat diketahui *bandwidth* dari antenna yang dirancang sesuai hasil simulasi yaitu 48,1 MHz[10].

$$Bw_{simulasi} = f_h - f_l \quad (13)$$

$$Bw_{simulasi} = 2,3745 - 2,3264$$

$$Bw_{simulasi} = 0,0481 \text{ GHz} = 48,1 \text{ MHz}$$

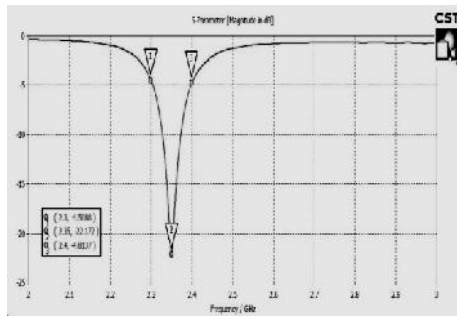
Hasil simulasi untuk *bandwidth* ini sangat sempit, hal berkaitan dengan salah satu kekurangan dari antenna mikrostrip yaitu memiliki *bandwidth* yang sempit. Tetapi jika dibandingkan dengan simulasi awal sebelum optimasi, *bandwidth* dari antenna mikrostrip *rectangular* yang dirancang tidak dapat didefinisikan. Hasil ini menunjukkan pengaruh *E-shaped* yaitu memperlebar *bandwidth*.



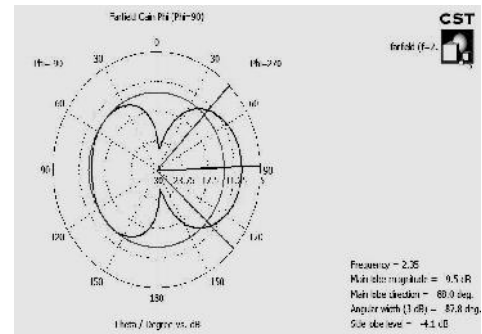
Gbr 10 Pergeseran f_h dan f_l optimasi

b) Return loss

Return loss merupakan parameter yang berkaitan dengan koefisien pantul. Return loss hasil simulasi *E-shaped* ditunjukkan pada gambar 11. Dari hasil optimasi perancangan antenna, nilai return loss dari frekuensi tengah 2,35 GHz yaitu -22,17 dB. Dari hasil simulasi optimasi *E-shaped* ini dapat dilihat semakin kecil nilai return loss maka nilai dari VSWR semakin kecil.



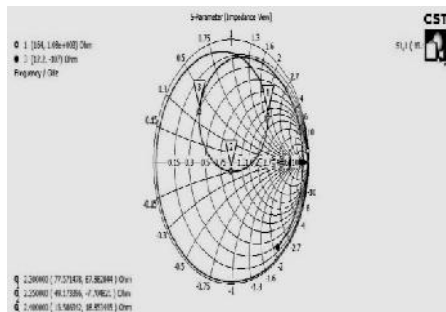
Gbr 11 Return loss optimasi



Gbr 14 Pola radiasi vertikal optimasi

c) Impedansi

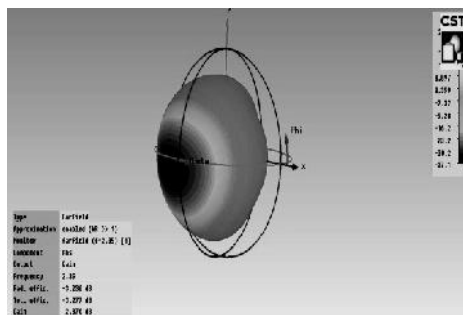
Penurunan nilai *return loss* diikuti dengan peningkatan dari impedansi dari antenna yang dirancang. Gambar 12 menunjukkan nilai impedansi dari antenna pada frekuensi 2,35 GHz yaitu 49,17 Ω . Nilai ini menunjukkan kesesuaian antara beban saluran transmisi dengan antenna karena sudah mendekati 50 Ω .



Gbr 12 Impedansi Optimasi

d) Gain

Gain atau penguatan antenna yang diperoleh dari hasil optimasi ditunjukkan pada gambar 4.7. Nilai *gain* dari antenna pada frekuensi 2,35 GHz yaitu 2,87 dB setelah dioptimasi den sesuai dengan spesifikasi antenna yaitu > 2,5 dB.



Gbr 13 Gain optimasi

e) Pola radiasi

Pola radiasi atau pola pancar dari antenna mikrostrip dapat dilihat secara horizontal dan vertikal. Pola radiasi vertikal atau elevasi ditunjukkan pada gambar 14.

Pola radiasi vertikal menunjukkan bahwa antenna yang dirancang memiliki pola pancar *bidirectional* karena dari gambar 14 menunjukkan bahwa terdapat dua pola pancar yang sama besar.

f) Polarisasi

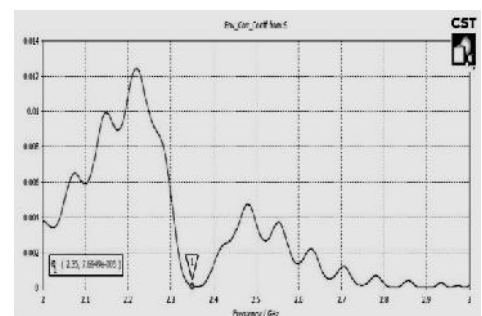
Polarisasi merupakan gambaran dari arah atau pola pancaran dari antenna, polarisasi berkaitan dengan pola radiasi. Polarisasi pada optimasi *E-shaped* berdasarkan pola radiasi elevasi yaitu polarisasi elips. Diperoleh dengan cara membandingkan nilai sumbu mayor dan sumbu minor dengan menggunakan persamaan nilai *axial ratio*. Sumbu mayor merupakan sumbu terpanjang dari pola radiasi dan sumbu minor adalah sumbu terpendek dari pola radiasi.

$$AR = \frac{\text{sumbu mayor}}{\text{sumbu minor}} = \frac{36}{8} = 4,5$$

maka polarisasi dari antenna yang dirancang adalah polarisasi elips[11].

g) Koefisien korelasi

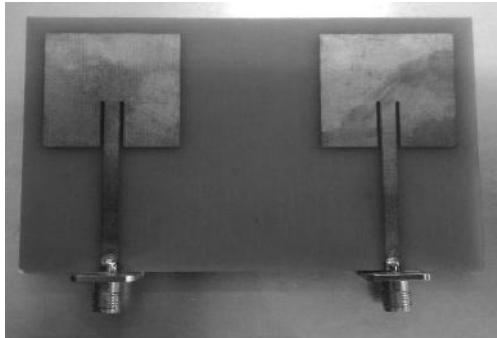
Koefisien korelasi dari antenna pada simulasi ditunjukkan pada gambar 4.10. Sesuai dengan spesifikasi antenna yang dirancang koefisien korelasi dirancang < 0,2. Pada gambar 4.9 nilai koefisien korelasi sudah sesuai dengan spesifikasi. Nilai koefisien korelasi pada frekuensi 2,35 GHz yaitu 7×10^{-5} .



Gbr 15 Koefisien korelasi optimasi

Dari hasil simulasi dengan menggunakan metode optimasi *E-shaped*, nilai-nilai parameter dari antenna yang dirancang sudah sesuai dengan spesifikasi maka dapat dilanjutkan untuk pabrikasi. Hasil simulasi ini digunakan sebagai bahan untuk

pabrikasi atau pencetakan antenna mikrostrip. Dengan menggunakan aplikasi *corel draw*, hasil simulasi dibuat sebagai bentuk film untuk pencetakan berupa *prototype*. Hasil dari pencetakan antenna ditunjukkan pada gambar 16. *Prototype* antenna menggunakan konektor SMA *female* yang terbuat dari bahan kuningan. Pemasangan *port* ini sebagai terminal untuk menyambungkan alat ukur dengan antenna agar dapat dilakukan pengukuran.



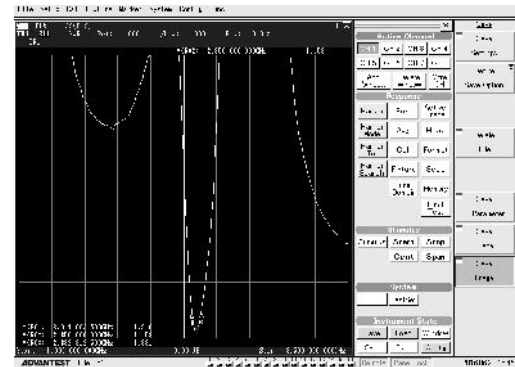
Gbr 16 *Prototype* antenna *rectangular*

B. Hasil Pengukuran Antena Mikrostrip Rectangular

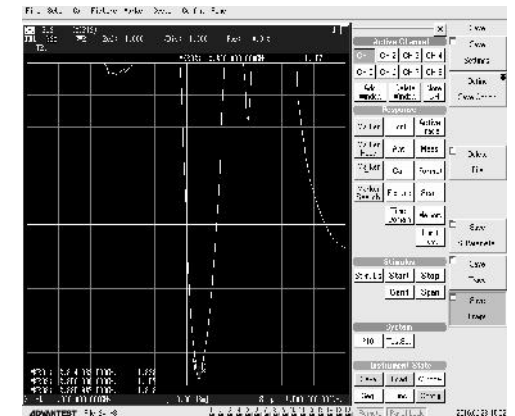
1) Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

VSWR merupakan perbandingan antara gelombang maksimum yang dikirim dengan gelombang maksimum yang dipantulkan. Nilai VSWR yang diukur yaitu dua VSWR untuk masing-masing antenna. Hasil pengukuran VSWR 1 ditunjukkan pada gambar 17 dan hasil ukur VSWR 2 ditunjukkan pada gambar 18. Hasil pengukuran nilai VSWR untuk kedua antenna memiliki nilai yang tidak jauh berbeda. Hasil pengukuran VSWR antenna pada frekuensi 2,35 GHz tidak jauh berbeda dengan hasil simulasi. Nilai VSWR 1 yaitu 1,153 dan VSWR dua yaitu 1,157.

Dari hasil pengukuran ini, terdapat pergeseran pada frekuensi rendah dan frekuensi tinggi baik pada VSWR 1 dan VSWR 2. Pada antenna 1 hasil pengukuran frekuensi rendah bergeser menjadi 2,314 GHz dengan nilai VSWR yaitu 1,916 dan frekuensi tinggi yaitu 2,382 GHz dengan nilai VSWR yaitu 1,931. Sedangkan pada simulasi frekuensi terendah dan frekuensi tertinggi untuk kedua antenna yaitu 2,3264 dan 2,3745 GHz dengan nilai VSWR 2. Dari pergeseran frekuensi rendah dan tinggi ini maka diperoleh peningkatan *bandwidth* antenna antenna yang dirancang. Berdasarkan hasil pengukuran *bandwidth* dari antenna yang dirancang yaitu mengalami kenaikan atau peningkatan.



Gbr 17 Hasil pengukuran VSWR 1



Gbr 18 Hasil pengukuran VSWR 2

Hasil pengukuran VSWR antenna 1 dan antenna 2 ditunjukkan pada tabel 4.3 dan tabel 4.4.

TABEL IIIII
PENGUKURAN ANTENA 1

Frekuensi (GHz)	VSWR
2,314	1,916
2,35	1,153
2,382	1,931

TABEL IVV
PENGUKURAN ANTENA 2

Frekuensi (GHz)	VSWR
2,314	1,929
2,35	1,157
2,385	1,813

Hasil pengukuran dari antenna 1 dan antenna 2, memiliki nilai pengukuran yang tidak jauh berbeda.

Nilai pengukuran *bandwidth* antenna 1 yaitu:

$$B_w = 2,382 - 2,314 = 68 \text{ MHz}$$

Nilai pengukuran *bandwidth* antenna 2 yaitu:

$$B_w = 2,385 - 2,314 = 71 \text{ MHz}$$

Nilai VSWR hasil pengukuran ini sudah sesuai dengan spesifikasi antenna yang dirancang yaitu $\leq 1,5$ dan tidak jauh berbeda dengan hasil simulasi. Dapat diketahui nilai koefisien

refleksi dari antenna pada simulasi dan pengukuran. Hasil simulasi pada frekuensi 2,35 GHz nilai VSWR[10] antenna 1 yang diperoleh yaitu 1,16.

$$VSWR = \frac{|1+\Gamma|}{|1-\Gamma|} \quad (14)$$

$$1,16 = \frac{|1+\Gamma|}{|1-\Gamma|}$$

$$\begin{aligned} |1,16 - 1,16\Gamma| &= |1 + \Gamma| \\ |-1,16\Gamma - \Gamma| &= |1 - 1,16| \\ |2,16\Gamma| &= |-0,16| \\ |\Gamma| &= 0,074 \end{aligned}$$

$$VSWR = \frac{|1+0,074|}{|1-0,074|} = 1,16$$

Hasil pengukuran pada frekuensi 2,35 GHz nilai VSWR antenna 1 yang diperoleh yaitu 1,15.

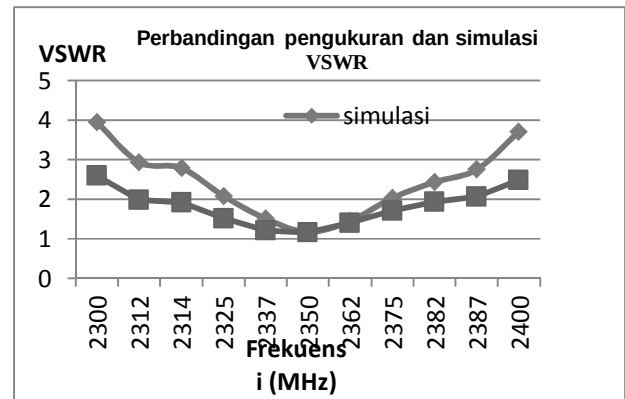
$$VSWR = \frac{|1+\Gamma|}{|1-\Gamma|} \quad (15)$$

$$1,15 = \frac{|1+\Gamma|}{|1-\Gamma|}$$

$$\begin{aligned} |1,15 - 1,15\Gamma| &= |1 + \Gamma| \\ |-1,15\Gamma - \Gamma| &= |1 - 1,15| \\ |2,15\Gamma| &= |-0,15| \\ |\Gamma| &= 0,0697 \end{aligned}$$

$$VSWR = \frac{|1+0,0697|}{|1-0,0697|} = 1,15$$

VSWR merupakan pengukuran untuk mengetahui bagaimana tegangan yang dipantulkan kembali ke sumber daya. Dengan nilai VSWR pada simulasi dan pengukuran pada frekuensi 2,35 GHz yaitu 1,16 dan 1,15 maka dapat dikatakan bahwa pemantulan yang terjadi cukup sedikit. Berdasarkan nilai koefisien refleksi yang mendekati nol, maka pada frekuensi 2,35 GHz saluran transmisi dalam keadaan mendekati *matching* sempurna. Dapat dilihat pada hasil pengukuran impedansi. Perbandingan nilai VSWR pada simulasi dan pengukuran ditunjukkan pada gambar 4.13.



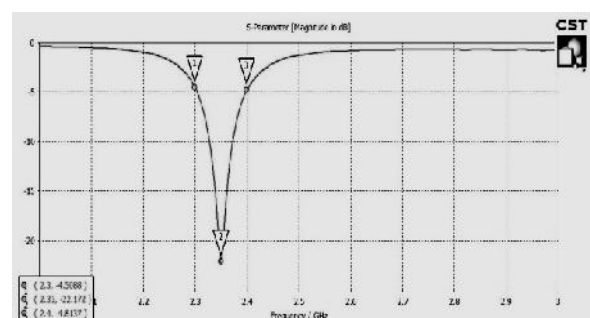
Gbr 19 Perbandingan simulasi dan pengukuran VSWR

2) Return loss

Pada sistem antenna MIMO *return loss* dapat dilihat pada parameter S. Parameter S berkaitan dengan *return loss* pada antenna MIMO. Pada penelitian ini antenna MIMO dirancang dengan dua buah antenna yang masing-masing memiliki saluran pencatu. *Return loss* atau koefisien pantul dilihat pada parameter S11 dan S22 sedangkan parameter S21 dan S12 untuk mengetahui mutual coupling yang akan digunakan untuk koefisien korelasi. Parameter S11 menunjukkan pengiriman sinyal dari antenna satu dari sisi pengirim menuju antenna satu pada sisi penerima dan parameter S22 menunjukkan pengiriman sinyal dari antenna dua pada sisi pengirim menuju antenna dua pada sisi penerima. Parameter S12 menunjukkan pengiriman sinyal dari antenna satu dari sisi pengirim menuju antenna dua pada sisi penerima dan parameter S21 menunjukkan pengiriman sinyal dari antenna dua pada sisi pengirim menuju antenna satu pada sisi penerima. Hasil simulasi *return loss* S11 dan S22 menunjukkan nilai yang sama ditunjukkan pada gambar 20. Nilai *return loss* hasil simulasi ditunjukkan pada tabel 4.

TABEL VV
NILAI RETURN LOSS SIMULASI

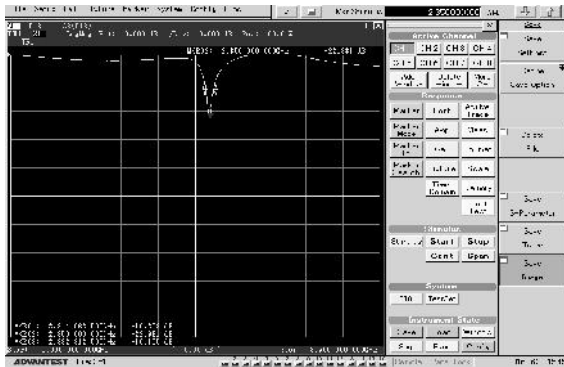
Frekuensi (GHz)	Return loss (dB)
2,3	-4,508
2,35	-22,172
2,4	-4,813



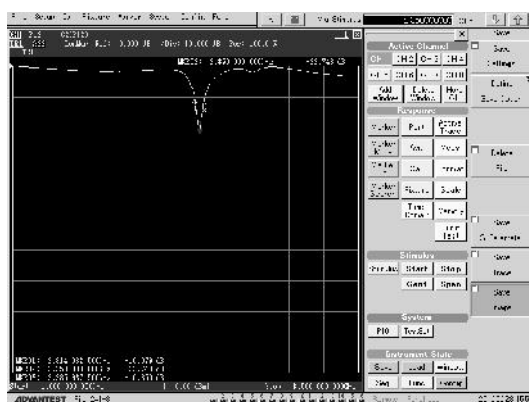
Gbr 20. Return loss S11-S22

Hasil pengukuran *return loss* S11 dan S22 ditunjukkan pada gambar 21 dan 22. Pada gambar nilai S11 pada

frekuensi 2,35 GHz yaitu -22,931 dB sedangkan pada S22 nilai *return loss* yaitu -22,748 dB. Pada hasil pengukuran S11 dan S22 ini nilai yang diperoleh tidak jauh berbeda sehingga yang ditampilkan yaitu nilai S11.



Gbr 21 Return loss S11



Gbr 22 Return loss S22

Pengukuran *return loss* S11 dan S22 ditunjukkan pada tabel 5 dan 6

TABEL V
RETURN LOSS S11

Frekuensi (GHz)	Return loss (dB)
2,314	-10,202
2,35	-22,931
2,382	-10,105

TABEL VI
RETURN LOSS S22

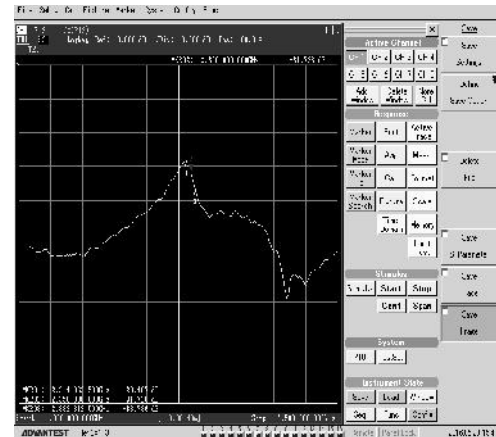
Frekuensi (GHz)	Return loss (dB)
2,314	-10,079
2,35	-22,748
2,382	-10,850

Hasil pengukuran *return loss* S11 dan VSWR 1 menunjukkan bahwa semakin kecil nilai *return loss* maka semakin kecil nilai VSWR sehingga dapat memperlebar *bandwidth*. Pada pengukuran VSWR 1 diperoleh nilai VSWR 1,153. Dengan menggunakan persamaan 16 nilai *return loss* pada VSWR 1,153 diketahui nilai koefisien pantul adalah 0,074 maka nilai *return loss* yaitu yaitu:

$$\text{Return Loss} = 20 \log_{10} |\Gamma| \quad [12] \quad (16)$$

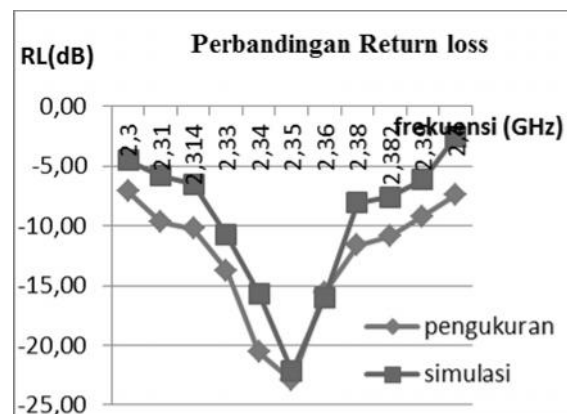
$$\text{Return Loss} = 20 \log_{10} | -0.074 | = -22,615 \text{ dB}$$

Hasil perhitungan *return loss* menggunakan persamaan, simulasi dan rumus tidak jauh berbeda. Hasil simulasi *return loss* ditunjukkan pada gambar 23.



Gbr.23 Pengukuran *return loss* S21

Perbandingan pengukuran *return loss* S11 pada simulasi dan pengukuran ditunjukkan pada gambar 24.



Gbr.24 Perbandingan simulasi dan pengukuran *return loss* (S11)

3) Impedansi

Hasil pengukuran impedansi ditunjukkan pada gambar 25 untuk impedansi antenna satu dan 26 untuk pengukuran impedansi antenna kedua. Pada simulasi nilai impedansi pada frekuensi 2,35 GHz yang diperoleh yaitu 49,17 Ω untuk kedua antenna. Antena yang dirancang yaitu menggunakan impedansi 50 Ω . Pada hasil simulasi dengan perancangan impedansi mendekati *matching* sempurna. Dan dari hasil pengukuran nilai impedansi pada antenna satu yaitu 43,47 Ω dan untuk antenna kedua yaitu 55,39 Ω . Pada hasil pengukuran nilai impedansi yang diperoleh lebih kecil dari pada hasil simulasi tetapi nilai impedansi ini masih sesuai spesifikasi dilihat dari nilai koefisien pantul pada VSWR

ketika pengukuran. Dengan menggunakan persamaan 2.4 nilai impedansi antenna satu masih dalam kategori *matching* sempurna.

$$\Gamma = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \quad (17)$$

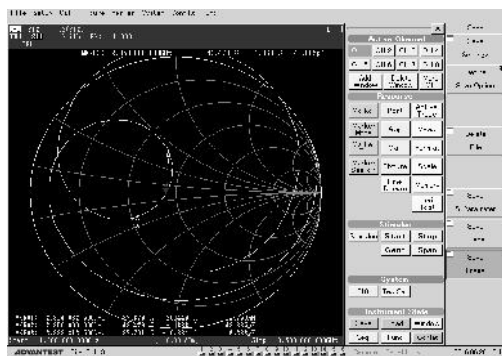
$$\Gamma = \frac{43,47 - 50}{43,47 + 50} = -0,06,$$

nilai koefisien pantul merupakan nilai mutlak sehingga nilai negatif diabaikan, kondisi ini menunjukkan koefisien pantul mendekati nol dan dalam kategori *matching* mendekati sempurna.

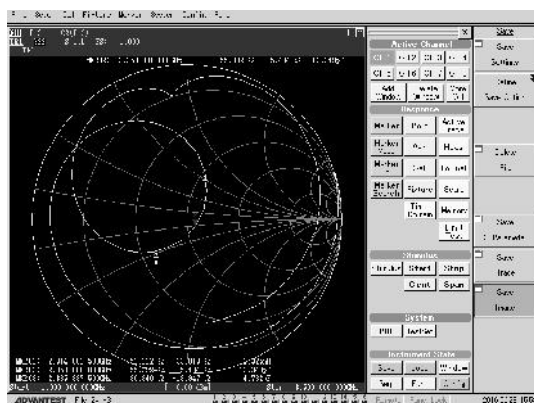
Untuk impedansi antenna kedua pada frekuensi 2,35 GHz dengan nilai impedansi 55,39.

$$\Gamma = \frac{55,39 - 50}{55,39 + 50} = 0,05,$$

nilai koefisien pantul mendekati 0, termasuk dalam kategori *matching* sempurna.



Gambar.25 Pengukuran impedansi satu



Gbr.26 Pengukuran impedansi 2

4) Gain

Pengukuran *gain* berkaitan dengan pancaran antenna pada sisi penerima, pengirim dan antenna referensi dengan daya input yang sama. Pengukuran *gain* antenna yaitu, antenna mikrostrip digunakan sebagai antenna pengirim (Tx) dan menggunakan antenna horn sebagai antenna referensi. Ketika

antenna mikrostrip digunakan sebagai Tx maka antenna horn difungsikan sebagai antenna penerima (Rx) dan ketika antenna mikrostrip digunakan sebagai Rx maka antenna horn sebagai Tx. Nilai *gain* dari antenna *horn* yang digunakan untuk pengukuran yaitu 12 dB. Hasil pengukuran nilai *gain* ditunjukkan pada gambar 27 dan 28. Gambar 27 merupakan pengukuran ketika antenna mikrostrip sebagai Rx dengan daya terima yaitu -30,58 dBm. Gambar 28 merupakan pengukuran ketika antenna mikrostrip digunakan sebagai Tx dengan level daya terima -23,57 dBm.



Gbr.27 Pengukuran Rx



Gbr. 28 Pengukuran Tx

Dari hasil pengukuran ini, nilai *gain* dapat dicari dengan menggunakan persamaan 18.

$$\text{Gain (dB)} = P_{rx} - P_{tx} + 12 \text{ dB} \quad (18)$$

$$\text{Gain} = -30,58 - (-23,57) + 12 \text{ dB} = 4,99 \text{ dB}$$

Dari hasil pengukuran *gain*, nilai *gain* mengalami kenaikan dibandingkan dengan hasil simulasi dan spesifikasi. Pada simulasi nilai *gain* yaitu 2,87 dB spesifikasi antenna yang ditentukan yaitu > 2,5 dB.

5) Pola radiasi

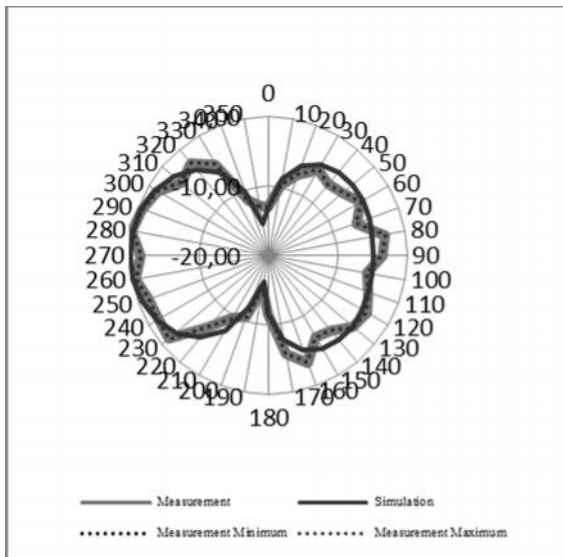
Pola radiasi merupakan pengukuran untuk mengetahui arah atau daerah daya pancar dari antenna. Pengukuran pola radiasi dilakukan secara elevasi dan horizontal yaitu dengan

memutar antenna secara vertikal dan horizontal dari 0 sampai 350 derajat. Pola radiasi diukur berdasarkan pendekatan daerah medan jauh. Nilai medan jauh dapat dihitung dengan menggunakan persamaan $R \geq \frac{2D^2}{\lambda}$. Dengan nilai D merupakan dimensi diagonal terbesar antenna dan λ merupakan panjang gelombang. Pada prosiding ini panjang diagonal antenna yaitu 11,6 cm.

$$\text{Panjang gelombang} = \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{2350 \times 10^6} = 0,127 \text{ m}$$

$$\text{Daerah medan jauh antenna } R = \frac{2 \times 0,116^2}{0,127} = 0,211 \text{ m}.$$

Sehingga, di peroleh jarak lebih besar antenna ialah $R \geq 0,211$ m. Pengukuran pola radiasi untuk antenna mikrostrip *rectangular* pada penelitian ini yaitu 1 meter. Hasil pengukuran elevasi ditunjukkan pada gambar 29.



Gbr. 29 Pengukuran elevasi

Pola radiasi vertikal menunjukkan bahwa antenna yang dirancang memiliki pola pancar *bidirectional* karena dari gambar 29 menunjukkan bahwa terdapat dua pola pancar yang sama besar.

6) Polarisasi

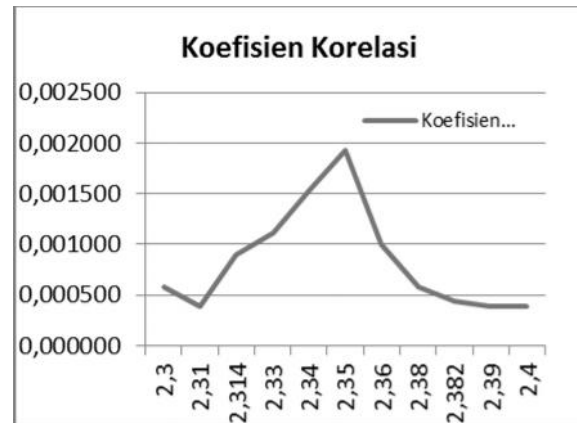
Berdasarkan hasil pengukuran, polarisasi antenna *rectangular* pada penelitian ini yaitu elips, karena nilai AR tidak sama dengan satu.

$$AR = \frac{\sqrt{P_{\text{watt mayor}} \times 377}}{\sqrt{P_{\text{watt minor}} \times 377}} = \frac{\sqrt{12,19 \times 10^{-3} \times 377}}{\sqrt{1,939 \times 10^{-3} \times 377}} = 10,69$$

7) Koefisien Korelasi

Koefisien korelasi berkaitan dengan kinerja antenna dikaitkan dengan pengaruh antenna satu dengan yang lain.

Koefisien korelasi pada antenna MIMO pada diamati dari S-Parameter. Pada penelitian ini menggunakan dua buah antenna sehingga parameter yang mempengaruhi yaitu S11, S12, S22, S21. S11 dan S22 berkaitan dengan nilai VSWR dari antenna. S21 berkaitan dengan pemantulan dari *port* dua yang mempengaruhi *port* satu. S12 berkaitan dengan pemantulan dari *port* satu yang dipengaruhi oleh *port* 2. Nilai koefisien korelasi sesuai spesifikasi yaitu $< 0,2$. Berdasarkan hasil pengukuran pada frekuensi 2,35 GHz yaitu 0,00192 untuk nilai S11 yaitu -22,93 dB, S21 dan S12 yaitu -31,728 dB dan nilai S22 yaitu -22,748 dB. Nilai koefisien korelasi berdasarkan hasil pengukuran ditunjukkan pada gambar 30.



Gbr 30 Koefisien korelasi pengukuran

Berdasarkan hasil pengukuran nilai koefisien korelasi sudah sesuai dengan spesifikasi perancangan antenna. Dari hasil simulasi nilai koefisien korelasi dari rentang frekuensi 2,3 GHz sampai dengan 2,4 GHz menunjukkan kurang dari $\leq 0,2$. Kondisi ini menunjukkan bahwa antenna *rectangular* MIMO yang dirancang tidak mengalami banyak pemantulan yang menurunkan kinerja antenna. Nilai koefisien korelasi ini juga menunjukkan bahwa setiap antenna bekerja tanpa mempengaruhi antenna lainnya.

V. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Dari hasil perancangan, pencetakan dan pengukuran antenna mikrostrip *rectangular* MIMO untuk aplikasi LTE beserta hasil penulisan analisa, kesimpulan dari penelitian ini yaitu:

1. VSWR pada simulasi yaitu 1,16 sedangkan pada pengukuran yaitu 1,15.
2. *Bandwidth* pada simulasi yaitu 48,1 MHz sedangkan pada pengukuran *bandwidth* meningkat menjadi 68 MHz.
3. Nilai *return loss* pada fekuensi 2,35 GHz pada simulasi yaitu -22,17 dB sedangkan pada pengukuran yaitu -22,931 dB.

4. Impedansi frekuensi 2,35 GHz pada simulasi yaitu 49,17 Ω sedangkan pada pengukuran yaitu 43,47 Ω tetapi masih sesuai dengan spesifikasi.
5. Nilai *gain* pada simulasi yaitu 2,87 dB sedangkan pada diperoleh nilai *gain* 4,99 dB sesuai dengan spesifikasi > 2,5 dB.
6. Pola radiasi pada simulasi yaitu pola radiasi dan pada pengukuran yaitu *bidirectional*.

Nilai koefisien korelasi frekuensi 2,35 GHz pada simulasi yaitu 7×10^{-5} sedangkan hasil pengukuran yaitu 0,00192.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mudrik Alaydrus, "Antena Prinsip dan Aplikasi." Edisi Pertama. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2011.
- [2] Ramesh Garg, "Microstrip Antenna Design Handbook." p. 845, 2001.
- [3] Lingga Wardhana, "2G/3G RF Planning and Optimization for Consultant," Jakarta www. nulisbuku. com, 2011.
- [4] Alfin Hikmaturokhman and Lingga Wardhana, dkk, "4G Handbook Edisi Bahasa Indonesia," vol. 1. www.nulisbuku.com, 2014.
- [5] Eka S. Nugraha, "Desain Dan Realisasi Sistem Antena MIMO 2 x 2 Model PIFA Asymetric E-Shaped Untuk Modem Berbasis Wimax," 2014.
- [6] Salman Haider, "Depart of Electrical & Electronics Engineering Part 4 Project Report Microstrip Patch Antennas for Broadband Indoor Wireless Systems," 2003.
- [7] Constantine A. Balanis, "Antenna Theory: Analysis and Design", 2005.
- [8] Sonam Thakur, "Performance Analysis of Different Shapes Patch Antennas At 2.45 Ghz," vol. 3, no. 9, pp. 83–86, 2014.
- [9] Yanottama, "Rancang Bangun Antena Mikrostrip Rectangular 4 Array Pada Frekuensi 1950 MHz Untuk Aplikasi 3g," 2015.
- [10] Herry Sujendro, "Perekayasaan Sistem Antena," 2013.
- [11] John D. Kraus and Ronald J. Marhefka, "Antenna," 1988.
- [12] Denny O. Pelawi, "Studi Perancangan Antena Mikrostrip Patch Segi Empat Dengan Tipe Polarisasi Melingkar Menggunakan Ansoft," 2012.
- [13] Girish Kumar and K. P. Ray, "Broadband Microstrip Antenna," 2003.