

PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENA MIKROSTRIP MIMO BOWTIE 4X4 PADA FREKUENSI 1,8 GHz UNTUK APLIKASI LTE

DESIGN AND REALIZATION FOR 4X4 MIMO BOWTIE MICROSTRIP ANTENNA ON 1.8 GHz FREQUENCY FOR LTE APPLICATION

Rafelly Jhon¹, A Ali Muayyadi², Yuyu Wahyu³.

^{1,2}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik, Universitas Telkom, Bandung

³ PPET-LIPI (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia)

¹rafelly@students.telkomuniversity.ac.id, ²alimuayyadi@telkomuniversity.ac.id,

³yuyu@ppet.lipi.go.id

Abstrak

Perkembangan zaman dan meningkatnya kebutuhan teknologi telekomunikasi di Indonesia, membuat pemerintah dan operator bekerjasama dalam mewujudkan jaringan LTE yang direalisasikan mulai tahun 2014. Di Indonesia yang umumnya menggunakan teknologi GSM, jaringan LTE juga diimplementasikan pada frekuensi 1,8 GHz. Untuk meningkatkan kualitas dan kapasitas sistem komunikasi LTE digunakan teknologi MIMO. Teknologi MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) merupakan sistem komunikasi dengan menggunakan multi antenna baik disisi *transmitter* maupun *receiver*. Dengan teknologi MIMO, empat antenna mikrostrip akan direalisasikan supaya dihasilkan *data rate* yang lebih tinggi.

Pada tugas akhir ini dirancang dan direalisasikan antenna mikrostrip MIMO Bowtie 4x4 untuk aplikasi pada teknologi LTE pada frekuensi 1,88 GHz dengan *gain* ≥ 3 dBi dan *bandwidth* ≥ 50 MHz.

Dari hasil pengukuran, didapatkan *bandwidth* yang memenuhi syarat $VSWR < 1,6$. *Bandwidth* ≥ 70 MHz pada semua antenna. *Gain* pada antenna pertama 3,62 dBi, pada antenna kedua 3,67 dBi, pada antenna ketiga 3,60 dBi, dan pada antenna keempat 3,50 dBi. Pola radiasi yang dihasilkan ketika simulasi dan pengukuran adalah *bidireksional*. Polarisasi yang dihasilkan ketika simulasi dan pengukuran adalah elips. Berdasarkan frekuensi, *bandwidth*, *gain*, dan dimensi antenna yang dihasilkan, maka antenna ini dapat digunakan sebagai antenna mini BTS pada teknologi LTE

Kata kunci : Antena Mikrostrip Bowtie, MIMO, LTE

Abstract

The times and growing needs for telecommunications technology in Indonesia, pushes Government and Operators to cooperate in realizing LTE network, which is realized starting in 2014. In Indonesia, which generally uses GSM technology, LTE network is also implemented at the frequency of 1.8 GHz. To Increase the quality and capacity of LTE communication system, MIMO technology is used. MIMO (Multiple Input Multiple Output) is a communication system using multiple antennas both on the transmitter and receiver. With MIMO technology, four micro-strip antenna will be realized so that a higher data rate is achieved.

This final project designed and realized Bowtie micro-strip antenna MIMO 4x4 for applications on LTE technology at a frequency of 1.8 GHz with 3 dBi gain and bandwidth ≥ 50 MHz.

From the measurement results, achieved bandwidth with $VSWR < 1,6$. Bandwidth ≥ 70 MHz on all antennas. Measured gain on the first antenna: 3,62 dBi, on the second antenna 3,67 dBi, on the third antenna 3,60 dBi, and on the fourth antenna 3,50 dBi. The radiation pattern generated during simulation and after fabrication is bidirectional. Polarization generated in simulation and measurement is elips. Based on the frequency, bandwidth, gain, and dimensions of the resulting antenna, then this antenna can be used on a mini BTS in the LTE technology.

Keywords: Bowtie Micro-strip Antenna, MIMO, LTE

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Saat ini teknologi yang masih terus dikembangkan yaitu 3GPP Long Term Evolution (LTE) yang dipasarkan dengan nama 4G. LTE merupakan standar komunikasi nirkabel berbasis GSM dan UMTS/HSDPA untuk akses data dengan kecepatan tinggi. Kominfo menetapkan frekuensi 1,8 GHz sebagai salah satu frekuensi yang dipakai operator untuk jaringan LTE^[1]. Karena hal itulah penulis memutuskan frekuensi 1,8 GHz sebagai frekuensi kerja antenna. 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*, bahkan *data rate* bisa mencapai 299.6 Mbps dengan sistem antenna MIMO 4x4 dengan penggunaan *spectrum* frekuensi 20 MHz^[2].

Banyak komponen-komponen yang mendukung implementasi LTE. Salah satu pendukungnya, dari segi transmisi yaitu antenna. Salah satu jenis antenna yaitu antenna mikrostrip MIMO (Multiple Input Multiple Output). MIMO adalah teknologi yang menggunakan beberapa antenna untuk secara koheren mengurai lebih banyak informasi dibanding menggunakan satu antenna tunggal. Sistem antenna MIMO pada komunikasi *wireless* berkecepatan tinggi sangat dibutuhkan untuk mengatasi *multipath fading*. Pada komunikasi *mobile*, *multipath fading* terjadi karena orientasi *user* yang tidak tetap dan banyak terdapat *obstacle* pada lintasan kanal propagasi. Kemampuan antenna MIMO dalam mengurangi *multipath fading* bergantung pada jumlah antenna yang digunakan^[3].

Antena mikrostrip dengan *patch* Bowtie memiliki karakteristik *bandwidth* yang besar, karena itu dalam penelitian ini digunakan *patch* Bowtie^[4]. Pada penelitian ini dirancang dan direalisasikan antenna MIMO Bowtie 4x4 dengan slot pada *groundplane* guna memberikan *bandwidth* yang lebih besar. Performa konektivitas *wireless* dan *transfer rate* dapat ditingkatkan dengan konfigurasi MIMO Bowtie 4x4^[5].

Pada penelitian ini direalisasikan antenna mikrostrip MIMO 4x4 dengan *patch* Bowtie pada frekuensi tengah 1.88 GHz

2. Dasar Teori

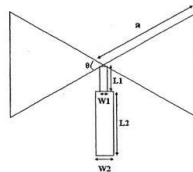
2.1. LTE

Long Term Evolution atau yang biasa disingkat LTE adalah sebuah standar komunikasi akses data nirkabel tingkat tinggi yang berbasis pada jaringan GSM/EDGE dan UMTS/HSPA^[6]. Dipasarkan dengan nama 4G LTE, 3GPP *Long Term Evolution* (LTE) adalah sebuah standard komunikasi nirkabel berbasis jaringan GSM/EDGE dan UMTS/HSDPA untuk akses data kecepatan tinggi menggunakan telepon seluler maupun perangkat *mobile* lainnya. LTE disebut-sebut sebagai jaringan nirkabel tercepat saat ini, sebagai penerus jaringan 3G. 3GPP LTE mewakili kemajuan besar didalam teknologi selular. LTE dirancang untuk memenuhi kebutuhan operator akan akses data dan media angkut yang berkecepatan tinggi serta menyokong kapasitas teknologi suara untuk beberapa dekade mendatang. LTE meliputi data berkecepatan tinggi, *multimedia unicast* dan servis penyiaran multimedia. Selain itu LTE diperkirakan dapat membawa komunikasi pada tahap yang lebih tinggi, tidak hanya menghubungkan manusia saja tetapi dapat juga menyambungkan mesin.

Long Term Evolution (LTE) adalah generasi teknologi telekomunikasi selular. Menurut standar, LTE memberikan kecepatan *uplink* hingga 50 megabit per detik (Mbps) dan kecepatan *downlink* hingga 100 Mbps, bahkan *data rate* bisa mencapai 299.6 Mbps dengan sistem antenna MIMO 4x4^[2]. Tidak diragukan lagi, LTE akan membawa banyak manfaat bagi jaringan selular. Walaupun dipasarkan sebagai teknologi 4G, LTE yang dipasarkan sekarang belum dapat disebut sebagai teknologi 4G sepenuhnya. LTE yang di tetapkan 3GPP pada release 8 dan 9 belum memenuhi standarisasi organisasi ITUR. Teknologi LTE Advanced yang dipastikan akan memenuhi persyaratan untuk disebut sebagai teknologi 4G^[7].

2.2. Antena Mikrostrip Bowtie

Antena *microstrip* dibuat dari tiga lapis bahan, yaitu lapisan konduktor, substrat dielektrik, dan *groundplane*. Konduktor umumnya terbuat dari bahan tembaga, aluminium, atau emas. Dielektrik dengan ketebalan $h < \lambda$ memiliki permitivitas relatif (ϵ_r) berkisar antara 2,2 hingga 10. Konstanta dielektrik dibuat rendah untuk meningkatkan medan limpaan yang berguna dalam radiasi. Dalam analisa, *groundplane* terbuat dari bahan konduktor sempurna, tetapi dalam aplikasi bidang bumi terbuat dari bahan konduktor tak sempurna^[11].

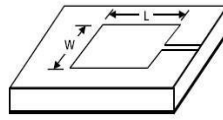


Gambar 2.3 Bentuk Antena Mikrostrip Bowtie^[4]

2.3. Teknik Pencatutan *Microstrip Line*

Teknik pencatutan saluran mikrostrip (*microstrip line*) merupakan teknik pencatutan yang paling mudah perancangannya. *Microstrip line* dibuat dalam satu substrat sehingga konfigurasi antenna menjadi simetris. Kekurangannya, radiasi yang dihasilkan oleh saluran mikrostrip (*feed line*) akan menambah level *cross polarization*.

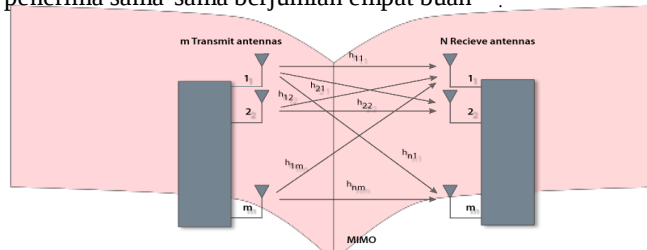
Pencatutan dengan saluran mikrostrip pada substrat yang sama merupakan pendekatan termudah karena fabrikasi pencatutan dilakukan bersamaan dengan fabrikasi *patch*, dengan konfigurasi seperti pada Gambar 2.4. Oleh karena itu *patch* juga dapat dianggap sebagai perpanjangan dari *feed*.



Gambar 2. 4 Microstrip Line [8]

2.4. MIMO

MIMO merupakan suatu sistem yang menggunakan antenna lebih dari satu baik pada sisi pemancar maupun pada sisi penerima. Sistem ini menggunakan sejumlah M antenna pemancar dan sejumlah N antenna penerima. Sehingga sering ditulis dengan sistem penulisan MIMO M x N. Dengan demikian MIMO 4x4 menyatakan bahwa jumlah antenna pada sisi pemancar dan sisi penerima sama-sama berjumlah empat buah [5].



Gambar 2.5 Sistem MIMO [5]

Sistem antenna MIMO pada komunikasi *wireless* berkecepatan tinggi dibutuhkan untuk mengatasi *multipath fading*. Penyebab utama dari *multipath fading* adalah mobilitas *user* yang tidak menentu membuat lintasan sinyal yang berbeda-beda dari *base station* ke *handset user*. *Multipath fading* dapat menyebabkan sinyal yang diterima di sisi *user* menjadi lemah, cacat, atau terjadi interferensi. Dengan sistem MIMO, akibat dari *multipath fading* dapat dikurangi.

2.5. Dimensi Antena Mikrostrip Patch Bowtie

Untuk mencari dimensi suatu antenna mikrostrip (a, W, dan L) harus diketahui parameter bahan yang akan digunakan yaitu ketebalan dielektrik (h), konstanta dielektrik (ϵ_r), tebal konduktor (t), dan rugi-rugi bahan. Panjang antenna mikrostrip harus disesuaikan, karena panjang pendeknya suatu panjang antenna mikrostrip akan mempengaruhi nilai *bandwidth*. Semakin panjang maka *bandwidth* akan semakin lebar, sedang semakin pendek maka *bandwidth* akan semakin sempit. Dengan mengatur lebar antenna mikrostrip akan mempengaruhi impedansi masukan antenna tersebut.

Untuk mencari panjang dari a, W, dan L, dapat digunakan persamaan [4]:

$$Z_0 = \frac{2\epsilon}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.1)$$

$$\epsilon_{eff} = \epsilon_r + \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.2)$$

Nantinya nilai ϵ_{eff} digunakan untuk mencari nilai LP (panjang patch) dan WP (lebar patch) menggunakan persamaan cos dan sin, dengan nilai awal $\theta = 80^\circ$.

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{4\sqrt{1 + \frac{12h}{a}}} + \frac{\epsilon_r - 1}{4\sqrt{1 + \frac{12h}{a}}} \quad (2.3)$$

$$L = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2.5)$$

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} \quad (2.4)$$

Kemudian lebar dan panjang saluran transmisi didapat menggunakan rumus :

$$l_1 = h \quad (2.6)$$

$$l_2 = \frac{\lambda_0}{4} \quad (2.7)$$

Dimana nilai λ_0 akan bernilai 100Ω untuk W_1 dan 50Ω untuk W_2 , Dimana A :

$$W = \frac{8\epsilon}{A} \quad (2.8)$$

$$A = \frac{10}{\sqrt{\epsilon_r + 1}} + \frac{\epsilon_r - 1}{0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r}} \quad (2.9)$$

$$h = \frac{60}{\epsilon_r + 1} \quad (2.10)$$

$$2 \quad \epsilon_r + 1 \quad \epsilon_r$$

Panjang sisi groundplane (L_1), Lebar sisi groundplane (W_1)

$$L_1 \geq 3h + \frac{1}{2}L + L_1 + L_2 \quad (2.10) \quad W_1 \geq 6h + W \quad (2.11)$$

Keterangan :

ϵ_{eff} = panjang sisi efektif

c = konstanta cahaya di ruang bebas

h = ketebalan substrat λ_0 = panjang gelombang di udara
 ϵ_r = permitivitas dielektrik substrat λ_s = panjang gelombang pada bahan substrat
 f_0 = frekuensi resonansi / frekuensi kerja W = lebar saluran transmisi
 L = panjang saluran transmisi

3. Perancangan Antena

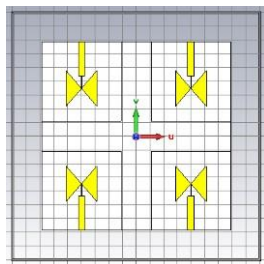
3.1 Penentuan Spesifikasi Antena

Prosedur perancangan Antena mikrostrip bowtie mimo 4x4 ini dimulai dari penentuan spesifikasi perangkat yang diinginkan. Adapun spesifikasi yang diperlukan dalam perancangan Antena pada tugas akhir ini sebagai berikut :

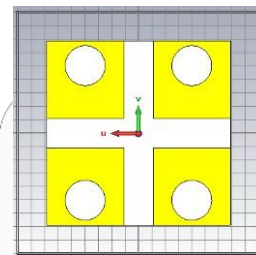
- | | | | |
|----|----------------------|-------------|--|
| a) | Desain antena | : | Mikrostrip MIMO 4×4 |
| b) | Jenis antena | : | Mikrostrip MIMO |
| c) | Frekuensi kerja | : | 1.850 – 1.910 GHz ^[14] |
| d) | Frekuensi tengah | : | 1.88 GHz ^[14] |
| e) | VSWR | : | $\leq 1,6$ |
| f) | Pola Radiasi | : | Omnidireksional |
| g) | Polarisasi | : | Linear |
| h) | Gain | : Impedansi | ≥ 3 dB |
| i) | | | 50 Ω |
| j) | Mutual Coupling | : | ≤ -20 dB |

Dalam pembuatan antena ini dipilih Antena susunan mikrostrip mimo *patch bowtie* dengan catuan *microstrip line* ini dikarenakan dengan menggunakan teknik ini dapat memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan untuk sistem LTE.

3.1.1 Simulasi 4 elemen mimo bowtie



Gambar 3. 1 (a) Patch Antena MIMO bowtie 4x4



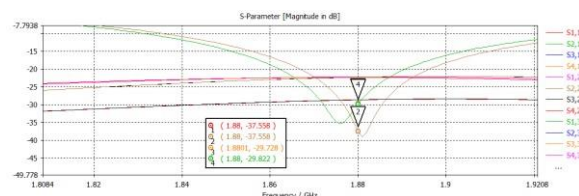
(b) Groundplane Antena MIMO bowtie 4x4

3.2 Hasil optimasi Antena MIMO bowtie 4x4

Tabel 3. 1 Dimensi akhir antena MIMO bowtie 4x4

Parameter	Dimensi (mm)	Keterangan
LP	51.7	Panjang Patch
WP	44.9	Lebar Patch
L1	18	Panjang feed
L2	50	Panjang feed
W1	1	Lebar feed
W2	9.1	Lebar feed
D	44	Jarak antar elemen
LGP	275	Panjang Groundplane
WGP	275	Lebar Groundplane

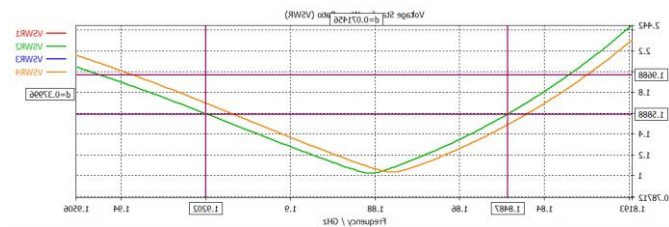
3.2.1 Mutual Coupling dan Return loss



Gambar 3. 1 Return loss dan Mutual Coupling Antena MIMO Bowtie 4x4

Berdasarkan gambar 3.3 terlihat bahwa frekuensi tengah antenna berada di frekuensi 1880 MHz dan tercapai nilai dari *mutual coupling* berada pada < -22 dB, dan *return loss* < -29 dB.

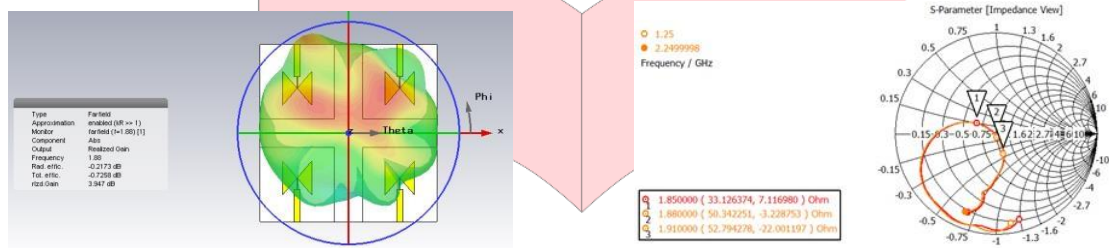
3.2.2 VSWR dan Bandwidth



Gambar 3. 2 VSWR dan Bandwidth Antena Mimo Bowtie 4x4

Berdasarkan gambar 3.4 terlihat bahwa nilai dari VSWR berada pada 1,0266 dan 1.0674 sedangkan *bandwidth* yang dihasilkan yaitu >70 MHz.

3.2.3 Gain dan Impedansi



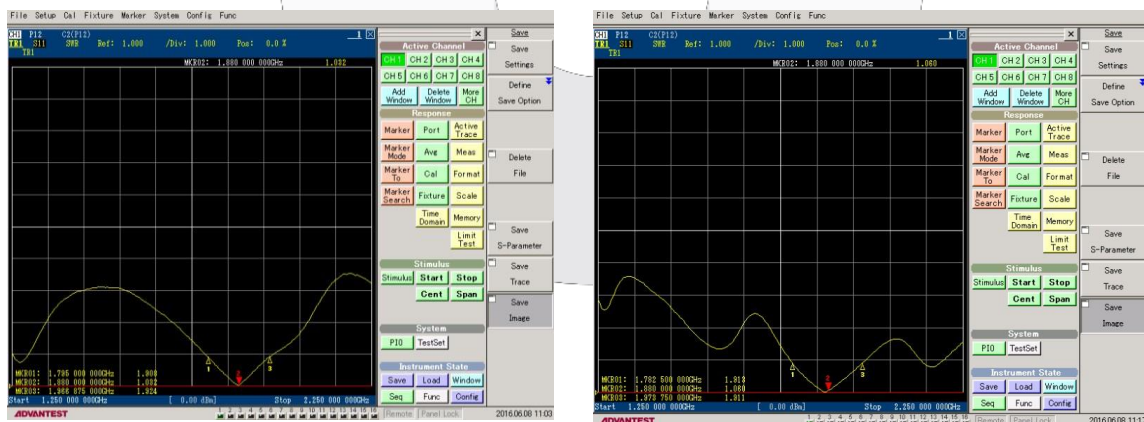
Gambar 3. 3 (a) Gain Antena 1

(b) impedansi

Berdasarkan gambar 3.5 (a) terlihat bahwa nilai *gain* yang didapat dari simulasi berada pada 3,99 dB. Impedansi antenna setelah digunakan teknik matching impedance pada simulasi ditunjukkan pada Gambar 3.5 (b), Antena ini memiliki impedansi sebesar $(50,342, -j3,228) \Omega$.

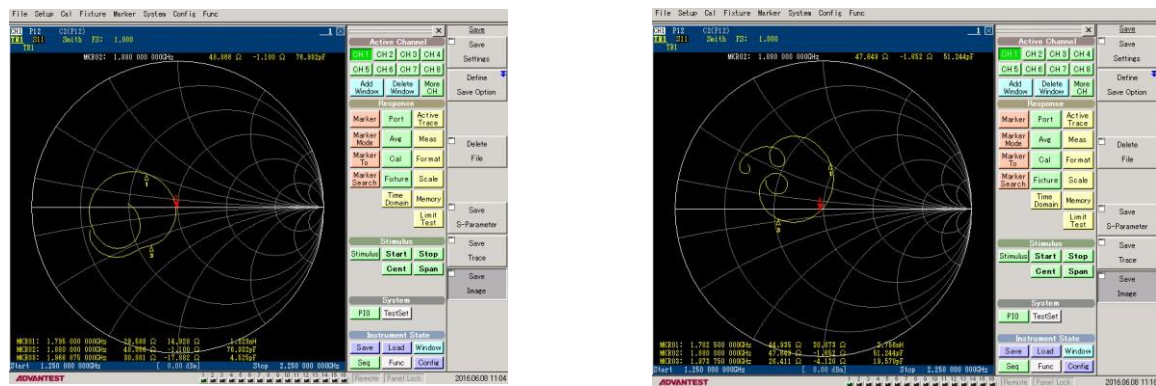
4. Pengukuran dan analisis

4.1 Hasil Pengukuran VSWR , Bandwidth dan Impedansi



Gambar 4. 1 (a) Hasil pengukuran antenna 1, 2 VSWR di Network Analyzer (b) antenna 3,4

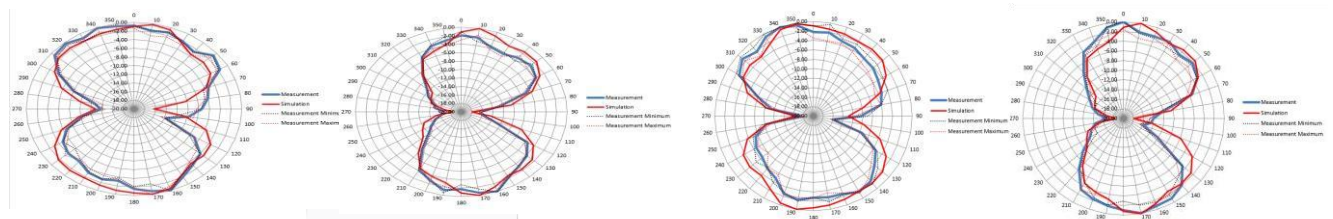
Berdasarkan gambar 4.1 (a) menunjukkan grafik VSWR antenna 1 dan 2 pada frekuensi 1,88 adalah 1,032 dan bandwidth senilai 112 MHz. Dan pada gambar 4.1 (b) menunjukkan VSWR antenna 3 dan 4 bernilai 1.060 dan bandwidth senilai 140 MHz. Hal ini menunjukkan bahwa proses fabrikasi dapat mengurangi kualitas dari output dikarenakan dalam proses fabrikasi yang sulit serta pengaruh pemasangan konektor pada filter. Pada proses fabrikasi perlu ketelitian dalam penentuan substrat yang sesuai spesifikasi sehingga nilai dari s – parameter dapat sesuai dengan nilai optimasi. Selain itu perlu diperhatikan pemasangan konektor sehingga daya yang dikirim akan sama dengan daya yang diterima di masing masing *port*.



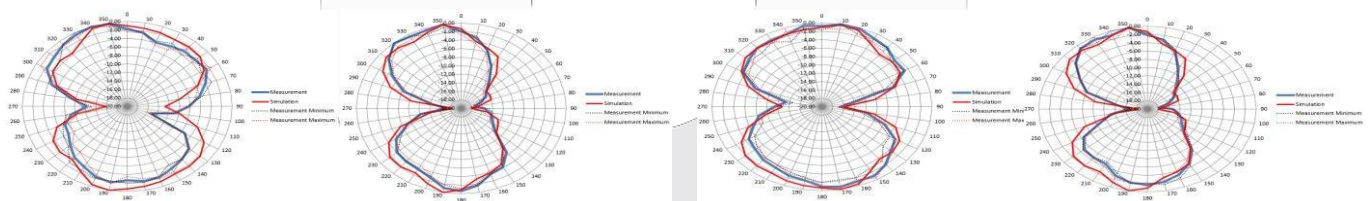
Gambar 4. 2 (a) Hasil pengukuran Impedansi antenna 1, 2 di Network Analyzer (b) antenna 3,4

Pada gambar 4.2 (a) menunjukkan hasil pengukuran impedansi antenna 1 dan 2 menunjukkan nilai impedansi pada frekuensi tengah 1.88 GHz yaitu $48.866 - j1.100 \Omega$ dan 4.2 (b) menunjukkan nilai pengukuran impedansi antenna 3 dan 4 yaitu $47.649 - j1.652 \Omega$. ini menunjukkan bahwa impedansi antenna ini telah mencapai kondisi yang mendekati *matching* yaitu berada di nilai impedansi 50Ω .

4.2 Hasil Pengukuran pola radiasi dan polarisasi

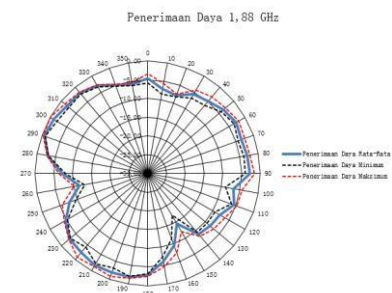


Gambar 4. 3 (a) Hasil pengukuran pola radiasi antenna 1 (b) Hasil pengukuran pola radiasi antenna 2



Gambar 4. 4 (a) Hasil pengukuran pola radiasi antenna 3 (b) Hasil pengukuran pola radiasi antenna 4

Namun dengan melihat hasil simulasi dan pengukuran menunjukkan bahwa kedua hasil tersebut (Gambar 4.3 (a) dan (b)) menunjukkan jenis pola radiasi *bidirectional* karena daya terbesar mengarah pada lebih dari dua sudut. Maka hal ini tidak sesuai dengan spesifikasi awal antenna yang diinginkan mempunyai pola radiasi *onnidirectional*. Hasil pengukuran polarisasi memiliki nilai AR= 4,95 berbeda dengan simulasi memiliki nilai axial ratio 26,36 dB maka hasil pengukuran menunjukkan jenis polarisasi elips. Grafik daya terima pada gambar 4.5.



Untuk polarisasi antenna.

Daya terima maksimum (sumbu mayor) = $-44,7777 \text{ dBm}$

= $3,328357 \times 10^{-8} \text{ Watt}$

Daya terima minimum (sumbu minor) = $-58,6797 \text{ dBm}$

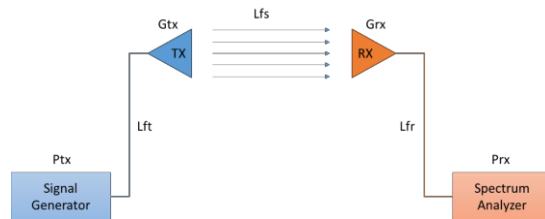
= $1,355283 \times 10^{-9} \text{ Watt}$

$$= \frac{\sqrt{3,328357}}{\sqrt{1,355283}} = 4.9556429 \text{ dB}$$

Gambar 4.5 Grafik Daya Terima Pengukuran Polarisasi

4.3 Hasil Pengukuran *Gain*

Menggunakan analisis *link budget* metode 3 antena dan skema seperti pada gambar 4.6, pengukuran *gain* dilakukan dengan daya pancar sebesar 0 dBm dan pengukuran memenuhi syarat medan jauh.



Gambar 4.6 Skema Pengukuran *Gain*^[16].

Gain antena yang didapatkan pada pengukuran sebesar 3,62 dBi untuk antena pertama, 3,67 dBi untuk antena kedua, 3,60 dBi untuk antena ketiga, dan 3,50 dBi untuk antena keempat, sedangkan pada simulasi didapatkan 3.99 dBi pada setiap hasil simulasi antena. Menunjukkan antena hasil fabrikasi sudah sesuai dengan spesifikasi.

4.4 Perbandingan nilai spesifikasi, simulasi, dan hasil pengukuran

Tabel 4.1 Perbandingan Spesifikasi Kebutuhan, Hasil Simulasi, dan Realisasi.

No.	Parameter	Spesifikasi Kebutuhan	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
1	Frekuensi kerja	1,88 GHz	1,88 GHz	1,88 GHz
2	VSWR	$\leq 1,6$	1,026	1,032
3	<i>Gain</i>	≥ 3 dBi	$\geq 3,9$ dBi	$\geq 3,5$
4	Impedansi	50 Ω	48,709 Ω	48,866 Ω
5	<i>Bandwidth</i> (VSWR $\leq 1,6$)	≥ 50 MHz	≥ 70 MHz	≥ 112 MHz
6	Pola Radiasi	Omnidireksional	Bidireksional	Bidireksional
7	Polarisasi	Linear	Elips	Elips
8	<i>Axial Ratio</i>	≥ 40 dB	25,604 dB	4,955 dB
9	Return Loss	≤ -20 dB	$\leq -29,8$ dB	$\leq -30,62$ dB
10	Mutual Coupling	≤ -20 dB	$\leq -22,179$ dB	$\leq -30,539$ dB

Pada perbandingan pengukuran parameter, seperti terlihat pada tabel diatas bahwa hasil simulasi dan hasil pengukuran tidak memiliki perbedaan yang besar. Yang artinya antena yang telah dibuat telah sesuai dengan spesifikasi awal yang ditentukan dan bahkan untuk beberapa parameter lebih bagus dari hasil simulasi.

5. Kesimpulan dan saran

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari seluruh proses perancangan dan realisasi antena mikrostrip MIMO bowtie 4x4 adalah sebagai berikut,

1. Semua Antena yang dirancang dan direalisasikan dapat bekerja pada rentang frekuensi yang sesuai dengan spesifikasi yaitu 1,88 GHz dengan VSWR $\leq 1,6$. *Bandwidth* hasil pengukuran ≥ 112 MHz pada VSWR $\leq 1,6$. *Mutual Coupling* keempat antena dari hasil pengukuran $\leq -30,539$ dB, *Gain* antena pertama 3,62 dBi, antena kedua 3,67 dBi, antena ketiga 3,60 dBi, antena keempat 3,50 dBi.
2. Perubahan dimensi pada *patch* dan substrat setelah proses optimasi mempengaruhi pergeseran nilai frekuensi kerja dan juga membuat VSWR menjadi lebih baik.
3. Pola radiasi yang dihasilkan antena adalah *bidireksional*. Sedangkan polarisasi yang dihasilkan antena adalah elips.
4. Dengan menambahkan slot pada *groundplane* dapat memperlebar *bandwidth*.
5. Antena mikrostrip MIMO bowtie 4x4 ini bisa diimplementasikan untuk teknologi TDD bukan FDD dikarenakan *bandwidth*-nya yang belum mencukupi.
6. Patch Bowtie memberikan lebar *bandwidth* yang luas pada frekuensi resonansi yang lebih tinggi, e.g.: > 3 GHz.

5.2 Saran

Untuk mendapatkan performansi antenna yang lebih baik pada perancangan berikutnya, terdapat beberapa hal yang bisa dijadikan saran dan sebagai bahan pertimbangan antara lain:

1. Untuk mendapatkan hasil antenna mikrostrip yang lebih baik, disarankan untuk memilih bahan *substrat* yang lebih baik daripada FR-4 untuk penelitian yang lebih lanjut.
2. Untuk meningkatkan performansi antenna, selain beberapa faktor di atas, disarankan juga untuk memperhatikan faktor-faktor lain, seperti: ketelitian dalam pemasangan konektor dan pengukuran antenna sebaiknya dilakukan di ruangan yang ideal seperti *anechoic chamber* dan menggunakan alat yang ukur yang lebih modern dan akurat.
3. Fabrikasi antenna sebaiknya dilakukan dengan lebih presisi agar didapatkan hasil realisasi antenna yang sesuai dengan simulasi.
4. Sebaiknya lakukan optimasi yang lebih baik pada parameter *Axial Ratio* agar tercapai *polarisasi* linear.
5. Gunakan teknik pencatutan yang lebih baik agar *bandwidth* yang diinginkan lebih mudah terpenuhi.

Daftar Pustaka

- [1] Ezio Biglieri, Robert Calderbank, Anthony Constantinides, Andrea Goldsmith, Arogyaswami Paulraj, and H.Vincent Poor : "MIMO Wireless Communications," Cambridge.
- [2] Moray Rumney , Agilent Technologies : "LTE and the Evolution to 4G Wireless Design and Measurement Challenges, 2nd Edition , " John Wiley & Son,inc ,2013.
- [3] Pratama, Arif : "Perancangan dan Implementasi Antena Mikrostrip MIMO 4x4 Dengan Catuan EMC (Electromagnetically Coupled) untuk Aplikasi LTE 2,3 GHz," Telkom University, 2015.
- [4] David M. Pozar, Daniel H. Schaubert : "Microstrip Antennas: The Analysis and Design of Microstrip Antennas and Arrays," John Wiley & Son, inc , 1995.
- [5] Ramesh Garg, Prakash Bhartia, Inder Bahl, Apisak Ittipoboon : " Microstrip Antenna Design Handbook," Artech House, inc , Norwood, 2001.
- [6] Kurnia Sari, Dian : "Simulasi Dan Implementasi Antena Microstrip Bowtie Untuk Aplikasi ISM Pada Frekuensi 2,4GHz" Telkom University, 2008
- [7] M.K.A. Rahim, M.Z.A Abdul Aziz, C.S. Goh, Wireless Communication Centre, Faculty of Electrical Engineering, University Teknologi Malaysia: "Bow-tie Microstrip Antenna Design," 2005 IEEE
- [8] Balanis, Constantine A. 2005. "Antena Theory Analisis and Desain 3rd edition". United States: Wiley InterScience.
- [9] Molisch, A dan Win, M. 2004.MIMO Systems with Antenna Selection – An Overview. Cambridge : Mitsubishi Electric Research Laboratory
- [10] Ali Imran Najam, Yvan Duroc and Smail Tedjini . 2012. Multiple-Input MultipleOutput Antennas for Ultra Wideband Communications, Ultra Wideband .InTech,.
- [11] Balanis, Constantine A. 2005. "Antena Theory Analisis and Desain 3rd edition". United States: Wiley InterScience.
- [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 MultipleOutput Antennas for Ultra Wideband Communications, Ultra Wideband .InTech,.
- [14] Suvarna s. Phule, and Prof. A. Y. Kazi. 2012. MIMO Antenna system for LTE (4G), 2012 1st International Conference on Emerging Technology Trends in Electronics, Communication and Networking.
- [15] Ridwan Sanusi. Implementasi dan Analisis Antena PIFA MIMO 4x4 Untuk Aplikasi Handset TDD-LTE Pada Frekuensi 2.3 GHz dan 2.6 GHz, Bandung, 2013.
- [16] Darmawan W., Fahmi, "Perancangan dan Realisasi Antena Mikrostrip Triple Proximity-Fed Dengan Polarisasi Sirkular Untuk Inter-Satellite Link (ISL) Pada Satelit Mikro," Universitas Telkom, Bandung, 2015.