

**DESAIN ANTENA MULTIPLE INPUT MULTIPLE OUTPUT 4 x 4 DUAL
BAND MENGGUNAKAN PATCH HYBRID PADA TEKNOLOGI
WIRELESS LOCAL AREA NETWORK 802.11**



SKRIPSI

**Disusun untuk memenuhi salah satu syarat menjadi Sarjana Teknik
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**

Oleh :

**TANIA DWINTHA ANGGRAINI
03041381821044**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2020**

LEMBAR PENGESAHAN

**DESAIN ANTENA MULTIPLE INPUT MULTIPLE OUTPUT 4 x 4 DUAL
BAND MENGGUNAKAN PATCH HYBRID PADA TEKNOLOGI
WIRELESS LOCAL AREA NETWORK 802.11**



SKRIPSI

**Disusun untuk memenuhi salah satu syarat menjadi Sarjana Teknik
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**

Oleh :

TANIA DWINTHA ANGGRAINI

03041381821044

Palembang, Juli 2020

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro**



Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T.,M.Eng.,Ph.D. NIP.197108141999031005

**Menyetujui,
Pembimbing Utama**



**Puspa Kurniasari, ST.,MT
NIP.198404162012122002**

Pembimbing dengan ini menyatakan bahwa saya telah membaca dan menyetujui skripsi ini dan dalam pandangan saya skop dan kualitas skripsi ini mencukupi sebagai skripsi mahasiswa sarjana strata satu (S1).



Tanda tangan :

Pembimbing Utama : Pucpa Kurniasari, S.T., M.T.

Tanggal : 22 Juli 2020

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Tania Dwintha Anggraini

NIM : 03041381821044

Fakultas : Teknik

Jurusan/Prodi : Teknik Elektro

Universitas : Universitas Sriwijaya

Menyatakan bahwa karya ilmiah yang berjudul “Desain Antena *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 Dual Band Menggunakan Patch Hybrid pada Teknologi *Wireless Local Area Network 802.11*” merupakan karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian hari karya ilmiah ini merupakan hasil plagiat atas karya ilmiah orang lain, maka saya bersedia bertanggung jawab dan menerima sanksi yang sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan.

Palembang, Juli 2020



Tania Dwintha Anggraini

HALAMAN MOTTO DAN PERSEMPAHAN

MOTTO

1. Jangan membangdingkan prosesmu dengan orang lain, karena tidak semua bunga tumbuh dan mekar secara bersamaan.

(Tania Dwintha Anggraini)

2. Kesenangan dalam sebuah pekerjaan membuat kesempurnaan pada hasil yang dicapai.

(Aristoteles)

3. Waktu tidak berpihak pada siapapun. Tapi waktu dapat menjadi sahabat bagi mereka yang memegang dan memperlakukannya dengan baik

(Winston Churchill)

PERSEMPAHAN

1. Ibu dan bapak, terima kasih atas do'a dan dukungan yang tiada henti – hentinya untuk kelancaran skripsi ini.
2. Tiara Dhita Pratiwi dan Gilang Adhi Satrya, selaku saudara penulis yang telah membantu dan memberikan *support* pembuatan skripsi.
3. Muhammad Fajar Muhamram, Naufal Ghefari Mohammad, Muhammad Prakeka, Muhammad Berli Rizkiandi, Sari Marienda dan Yolanda Haniyah, selaku teman seperjuangan yang sudah saling membantu dan saling memberi *support*.

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segenap rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Desain Antena *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 *Dual Band* Menggunakan *Patch Hybrid* pada Teknologi *Wireless Local Area Network 802.11*” Dalam penulisan skripsi ini merupakan satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana dari Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Dalam penulisan skripsi ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Kepada orang tua penulis Ibu dan Bapak yang selalu mendoakan, memberikan semangat dan selalu memberikan *support* untuk penulis.
2. Bapak Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng.,Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
3. Ibu Dr. Herlina, S.T.,M.T., selaku sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
4. Ibu Puspa Kurniasari, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah bersedia membimbing dan memberikan saran dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Bapak Dr. Iwan Pahendra Anto Saputra, S.T.,M.T., Bapak Abdul Haris Dalimunthe,S.T.,M.Ti., Ibu Desi Windi Sari, S.T., M.Eng., Ibu Nadia Thereza, S.T.,M.T., dan Ibu Melia Sari S.T., M.T selaku dosen yang mengajar pada konsentrasi Teknik Telekomunikasi dan Informasi (TTI) Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya.
6. Seluruh dosen serta jajaran staf Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya atas segala ilmu dan dedikasinya selama perkuliahan dan seluruh staf pegawai Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang telah membantu penulis baik selama masa perkuliahan maupun dalam menyelesaikan skripsi.
7. Teman - teman seperjuangan Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya D3 – S1 angkatan 2018.

Dalam penulisan skripsi ini penulis sudah berusaha melakukan yang terbaik dalam penulisan maupun isi dari skripsi. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan dan masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun.

Palembang, Juli 2020

Penulis

ABSTRAK

DESAIN ANTENA *MULTIPLE INPUT MULTIPLE OUTPUT 4 x 4 DUAL BAND MENGGUNAKAN PATCH HYBRID PADA TEKNOLOGI WIRELESS LOCAL AREA NETWORK 802.11*

(Tania Dwintha Anggraini,0304138182144, 2020:xxxviii+ 307 hal + lampiran)

Perkembangan antena dengan menggunakan teknologi *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) sangat pesat di dalam sistem telekomunikasi khususnya pada *Wireless Local Area Network* (WLAN) dengan frekuensi kerja *dual band* yaitu 2,4 GHz dan 5,8 GHz. Antena *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 *dual band* di desain menggunakan *software CST (Computer Simulation Technology) Studio Suite 2016*. Antena *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 *dual band* menggunakan *patch hybrid* ini dirancang dengan menggunakan *substrate* jenis FR-4 *Epoxy* dengan nilai konstanta dielektrik (ϵ_r) = 4,3 dengan ketebalan substrat (h) = 1,6 mm, pada frekuensi 2,4 GHz gain yang dihasilkan sebesar 5,460 dBi, 5,462 dBi, 5,462 dBi, 5,460 dBi untuk frekuensi kerja 5,8 GHz gain yang diperoleh yaitu 6,819 dBi, 6,836 dBi, 6,836 dBi, 6,819 dBi, dengan frekuensi kerja 2,4 GHz vswr yang diperoleh 1,6998, 1,5767, 1,5768, dan 1,6997 dan untuk frekuensi kerja 5,8 GHz vswr yang diperoleh 1,4888, 1,4147, 1,4145, dan 1,4889. dengan frekuensi kerja 2,4 GHz *return loss* yang diperoleh -11,731 dB, -85,43 dB, -79,742 dB, -78,018 dB, -86,895 dB, -13,004 dB, -79,748 dB, -80,638 dB, -80,572 dB, -79,75 dB, -13,005 dB, -86,981 dB, -78,007 dB, -79,745 dB, -85,419 dB, -11,726 dB dan untuk frekuensi kerja 2,4 GHz *return loss* yang diperoleh -14,142 dB, -89,338 dB, -74,176 dB, -65,847 dB, -92,097 dB, -15,303 dB, -67,361 dB, -75,21 dB, -75,129 dB, -67,36 dB, -15,305 dB, -92,104 dB, -65,838 dB, -74,167 dB, -89,348 dB, dan -14,139 dB dan pada frekuensi kerja 2,4 GHz *bandwidth* yang diperoleh yaitu 644,1 Mhz, 592,4 Mhz, 752,9 Mhz, 696,8 MHz, dan untuk frekuensi kerja 5,8 GHz *bandwidth* yang diperoleh 601,2 Mhz, 747,1 Mhz, 683,4 Mhz, dan 624,4 Mhz.

Kata Kunci : *Keywords : MIMO, Slot, Patch Hybrid, WLAN, Gain*

ABSTRACT

DESIGN OF MULTIPLE INPUT MULTIPLE OUTPUT ANTENNA 4 x 4 DUALBAND USING HYBRID PATCH FOR WIRELESS LOCAL AREA NETWORK 802.11 TECHNOLOGY

**(Tania Dwintha Anggraini, 0304138182144, 2020 : xxxviii + 307 pages +
appendices)**

The development of antennas using Multiple Input Multiple Output (MIMO) technology is very rapid in telecommunications systems, especially on Wireless Local Area Networks (WLAN) with dual band working frequencies, namely 2.4 GHz and 5.8 GHz. 4 x 4 dual band Multiple Input Multiple Output (MIMO) antenna was designed using Studio Suite 2016 CST (Computer Simulation Technology) software. The 4 x 4 dual band Multiple Input Multiple Output (MIMO) antenna using a hybrid patch was designed using a FR-4 Epoxy substrate with a dielectric constant value (ϵ_r) = 4.3 with a substrate thickness (h) = 1.6 mm at a frequency of 2.4 GHz, the gains resulted are of 5,460 dBi, 5,462 dBi, 5,462 dBi, 5,460 dBi, for 5.8 GHz frequency with the gains resulted are of 6,819 dBi, 6,836 dBi, 6,836 dBi, 6,819 dBi. at a frequency of 2.4 GHz Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) resulted are of 1,6998, 1,5767, 1,5768, and 1,6997 ,for 5.8 GHz frequency with the vswr resulted are of 1,4888, 1,4147, 1,4145 and 1,4889, at a frequency of 2.4 GHz return loss resulted are of -11,731 dB, -85,43 dB, -79,742 dB, -78,018 dB, -86,895 dB, -13,004 dB, -79,748 dB, -80,638 dB, -80,572 dB, -79,75 dB, -13,005 dB, -86,981 dB, -78,007 dB, -79,745 dB, -85,419 dB, -11,726 dB at a frequency of 5.8 GHz return loss resulted are of -14,142 dB, -89,338 dB, -74,176 dB, -65,847 dB, -92,097 dB, -15,303 dB, -67,361 dB, -75,21 dB, -75,129 dB, -67,36 dB, -15,305 dB, -92,104 dB, -65,838 dB, -74,167 dB, -89,348 dB, dan -14,139 dB, and at a frequency of 2.4 GHz bandwidth resulted are of 644,1 Mhz, 592,4 Mhz, 752,9 Mhz, 696,8 MHz, at a frequency of 5.8 GHz bandwidth resulted are of 601,2 Mhz, 747,1 Mhz, 683,4 Mhz, dan 624,4 Mhz.

Keywords : MIMO, Slot, Patch Hybrid, WLAN, Gain

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN PEMBIMBING.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	iv
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xxxii
DAFTAR LAMPIRAN	xxxv
DAFTAR ISTILAH	xxxviii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1.Latar Belakang.....	1
1.2.Perumusan Masalah.....	2
1.3.Batasan Masalah.....	2
1.4.Tujuan Penelitian.....	3
1.5.Metode Penelitian.....	3
1.6.Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. <i>Wireless Local Area Network (WLAN)</i>	6
2.2.Antena Mikrostrip.....	8

2.3.Teknologi <i>Multiple Input Multiple Output</i> (MIMO).....	11
2.3.1 <i>Precoding</i>	12
2.3.2 <i>Spatial Multiplexing</i>	12
2.3.3 <i>Diversity Coding</i>	12
2.4.Karakteristik Antena.....	13
2.4.1. <i>Penguatan (Gain)</i>	14
2.4.2. <i>Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)</i>	14
2.4.3. <i>Return Loss</i>	15
2.4.4. <i>Impedansi Masukan</i>	15
2.4.5. <i>Bandwidth</i> (Lebar Pita)	15
2.4.6. <i>Directivity</i> (Keterarahan)	17
2.4.7. Pola Radiasi.....	18
2.5.Teknik Pencatuan.....	19
2.6.Teknik <i>Multiple Input Multiple Output</i> 4 x 4.....	22
2.7.Perancangan Pembuatan Antena.....	22
2.8. <i>Software</i> Perancangan Antena.....	24
2.8.1. <i>CST Studio Suite</i> 2016	24
2.8.2. <i>EAGLE</i>	24
2.8.3. <i>WirelessMon</i>	25
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	26
3.1. Teknik <i>Multiple Input Multiple Output</i> 4 x 4.....	26
3.2. Persiapan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	26
3.3. Persiapan Perangkat Lunak (<i>Software</i>).....	27
3.4. Desain Antena.....	27
3.5. Ilustrasi Pengukuran Dan Pengujian.....	28
3.6. Diagram Alir Penelitian.....	30
3.7. Analisis Pengujian Perancangan dan Hasil Uji Coba.....	33
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	36
4.1 Desain Awal Antena <i>Multiple Input Multiple Output</i> (MIMO)	36

4.1.1. Hasil Rincian Dimensi <i>Patch</i> Antena <i>Multiple Input Multiple Output</i> (MIMO) 4 x 4 Pada Frekuensi 2,4 GHz	37
4.1.2. Hasil Rincian Dimensi <i>Patch</i> Antena <i>Multiple Input Multiple Output</i> (MIMO) 4 x 4 Pada Frekuensi 2,4 GHz	39
4.1.3. Desain Awal Antena <i>Multiple Input Multiple Output</i> (MIMO) 4 x 4 <i>Single Band</i> Sebelum ditambahkan Slot dan <i>Patch Hybrid</i> pada Frekuensi 2,4 GHz.....	41
4.1.4. Desain Awal Antena <i>Multiple Input Multiple Output</i> (MIMO) 4 x 4 <i>Single Band</i> Sebelum ditambahkan Slot dan <i>Patch Hybrid</i> pada Frekuensi 5,8 GHz.....	63
4.1.5. Desain Antena <i>Multiple Input Multiple Output</i> (MIMO) 4 x 4 <i>Single Band</i> Setelah ditambahkan Slot dan <i>Patch Hybrid</i> pada Frekuensi 2,4 GHz.....	84
4.1.6. Desain Antena <i>Multiple Input Multiple Output</i> (MIMO) 4 x 4 <i>Single Band</i> Setelah ditambahkan Slot dan <i>Patch Hybrid</i> pada Frekuensi 5,8 GHz.....	105
4.1.7. Desain Antena <i>Multiple Input Multiple Output</i> (MIMO) 4 x 4 <i>Single Band</i> Setelah di tambahkan Slot dan <i>Patch Hybrid</i> pada Frekuensi 2,4 GHz	127
4.1.8. Desain Antena <i>Multiple Input Multiple Output</i> (MIMO) 4 x 4 <i>Single Band</i> Setelah ditambahkan Slot dan <i>Patch Hybrid</i> pada Frekuensi 5,8 GHz	150
4.1.9. Desain Antena <i>Multiple Input Multiple Output</i> (MIMO) 4 x 4 <i>Dual Band</i> Setelah ditambahkan Slot dan <i>Patch Hybrid</i> pada Frekuensi 2,4 GHz	173
4.1.10. Desain Antena <i>Multiple Input Multiple Output</i> (MIMO) 4 x 4 <i>Dual Band</i> Setelah di tambahkan Slot dan <i>Patch Hybrid</i> pada Frekuensi 5,8 GHz	203
4.2 Perancangan Antena <i>Multiple Input Multiple Output</i> (MIMO) 4 x 4 Menggunakan <i>Patch Hybrid</i>	236

4.3 Pengujian Antena <i>Multiple Input Multiple Output</i> (MIMO) 4 x 4 Menggunakan <i>Patch Hybrid</i> dengan <i>Software WirelessMon</i>	239
4.3.1 Hasil uji coba dengan <i>software WirelessMon</i> saat tidak menggunakan antena <i>Multiple Input Multiple Output</i> (MIMO) 4 x 4 Menggunakan <i>Patch Hybrid</i> atau hanya menggunakan antena yang terpasang pada perangkat laptop.....	240
4.3.2 Hasil uji coba dengan <i>software WirelessMon</i> saat menggunakan antena referensi.....	241
4.3.3 Hasil uji coba dengan <i>software WirelessMon</i> saat menggunakan antena <i>Multiple Input Multiple Output</i> (MIMO) 4x4 <i>Single Band</i> Menggunakan <i>Patch Hybrid</i> pada Frekuensi 2,4 GHz sebagai pengirim.....	243
4.3.4 Hasil uji coba dengan <i>software WirelessMon</i> saat menggunakan antena <i>Multiple Input Multiple Output</i> (MIMO) 4x4 <i>Single Band</i> Menggunakan <i>Patch Hybrid</i> pada Frekuensi 2,4 GHz sebagai penerima	251
4.3.5 Hasil uji coba dengan <i>software WirelessMon</i> saat menggunakan antena <i>Multiple Input Multiple Output</i> (MIMO) 4x4 <i>Single Band</i> Menggunakan <i>Patch Hybrid</i> pada Frekuensi 5,8 GHz sebagai pengirim	258
4.3.6 Hasil uji coba dengan <i>software WirelessMon</i> saat menggunakan antena <i>Multiple Input Multiple Output</i> (MIMO) 4x4 <i>Single Band</i> Menggunakan <i>Patch Hybrid</i> pada Frekuensi 5,8 GHz sebagai penerima.....	266
4.3.7 Hasil uji coba dengan <i>software WirelessMon</i> saat menggunakan antena <i>Multiple Input Multiple Output</i> (MIMO) 4x4 <i>Single Band</i> Menggunakan <i>Patch Hybrid</i> pada Frekuensi 2,4 GHz.....	274
4.3.8 Hasil uji coba dengan <i>software WirelessMon</i> saat menggunakan antena <i>Multiple Input Multiple Output</i>	

(MIMO) 4x4 <i>Single Band</i> Menggunakan <i>Patch Hybrid</i> pada Frekuensi 5,8 GHz.....	278
4.3.9 Hasil uji coba dengan <i>software WirelessMon</i> saat menggunakan antena <i>Multiple Input Multiple Output</i> (MIMO) 4 x 4 <i>Dual Band</i> Menggunakan <i>Patch Hybrid</i> pada Frekuensi 5,8 GHz sebagai pengirim	282
4.3.10 Hasil uji coba dengan <i>software WirelessMon</i> saat menggunakan antena <i>Multiple Input Multiple Output</i> (MIMO) 4 x 4 <i>Dual Band</i> Menggunakan <i>Patch Hybrid</i> pada Frekuensi 5,8 GHz sebagai penerima	290
4.3.11 Hasil uji coba dengan <i>software WirelessMon</i> saat menggunakan antena <i>Multiple Input Multiple Output</i> (MIMO) <i>Dualband 4x4</i> Menggunakan <i>Patch Hybrid</i> pada Frekuensi 5,8 GHz.....	298
4.4 Pembahasan	301

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1.Kesimpulan.....	307
5.2.Saran.....	308

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Antena Mikrostrip.....	9
Gambar 2.2 Jenis <i>Conducting Patch</i>	10
Gambar 2.3 Sistem <i>Multiple Input Multiple Output</i> (MIMO).....	12
Gambar 2.4 Rentang frekuensi yang menjadi <i>bandwidth</i> (Lebar Pita).....	16
Gambar 2.5 Pencatuan <i>microstrip line feed</i>	20
Gambar 2.6 Pencatuan <i>coaxial feed</i>	20
Gambar 2.7 Pencatuan <i>aperture coupling</i>	21
Gambar 2.8 Pencatuan <i>proximity coupling</i>	22
Gambar 2.9 CST (<i>Computer Simulation Technology</i>) Studio Suite 2016.....	24
Gambar 2.10 EAGLE (<i>Easily Applicable Graphical Layout Editor</i>).....	25
Gambar 2.11 WirelessMon	25
Gambar 3.1 Desain antena dengan variasi <i>patch hybrid</i> frekuensi 2,4 GHz	28
Gambar 3.2 Desain antena dengan variasi <i>patch hybrid</i> frekuensi 5,8 GHz	28
Gambar 3.3 Ilustrasi pengujian dan pengukuran antena dengan dua laptop satu sebagai penerima dan satu sebagai pengirim yang bekerja di frekuensi 2,4 GHz.....	29
Gambar 3.4 Ilustrasi pengujian dan pengukuran antena dengan menambahkan TPlink dan router satu sebagai penerima dan satu sebagai pengirim yang bekerja di frekuensi 2,4 GHz.....	29
Gambar 3.5 Ilustrasi pengujian dan pengukuran antena dengan dua laptop satu sebagai penerima dan satu sebagai pengirim yang bekerja di frekuensi 5,8 GHz.....	29
Gambar 3.6 Ilustrasi pengujian dan pengukuran antena dengan menambahkan TPlink dan router satu sebagai penerima dan satu sebagai pengirim yang bekerja di frekuensi 5,8 GHz.....	30
Gambar 3.7 Diagram alir penelitian	31
Gambar 4.1 Desain dari antena menggunakan variasi <i>patch hybrid</i> frekuensi 2,4 GHz.....	38
Gambar 4.2 Desain dari antena menggunakan variasi <i>patch hybrid</i> frekuensi 5,8 GHz.....	41
Gambar 4.3 Desain sisi depan antena <i>multiple input multiple output</i> (MIMO) 4 x 4 sebelum ditambahkan slot dan <i>patch hybrid</i> frekuensi 2,4 GHz.....	42
Gambar 4.4 Desain sisi samping antena <i>multiple input</i> frekuensi 2,4 GHz	42

Gambar 4.5 Hasil simulasi <i>gain</i> antena pertama	43
Gambar 4.6 Hasil simulasi <i>gain</i> antena kedua...	43
Gambar 4.7 Hasil simulasi <i>gain</i> antena ketiga	44
Gambar 4.8 Hasil simulasi <i>gain</i> antena keempat.....	44
Gambar 4.9 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena pertama.....	45
Gambar 4.10 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena kedua.....	45
Gambar 4.11 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena ketiga.....	46
Gambar 4.12 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena keempat.....	46
Gambar 4.13 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena satu terhadap antena satu	47
Gambar 4.14 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena satu terhadap antena dua	47
Gambar 4.15 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena satu terhadap antena tiga	48
Gambar 4.16 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena satu terhadap antena empat	48
Gambar 4.17 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena dua terhadap antena satu	49
Gambar 4.18 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena dua terhadap antena dua	49
Gambar 4.19 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena dua terhadap antena tiga	50
Gambar 4.20 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena dua terhadap antena empat	50
Gambar 4.21 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena tiga terhadap antena satu	51
Gambar 4.22 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena tiga terhadap antena dua	51
Gambar 4.23 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena tiga terhadap antena tiga	52
Gambar 4.24 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena tiga terhadap antena empat	52
Gambar 4.25 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena empat terhadap antena satu	53
Gambar 4.26 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena empat terhadap antena dua	53
Gambar 4.27 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena empat terhadap antena tiga	54
Gambar 4.28 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena empat terhadap antena empat...	54
Gambar 4.29 Pola radiasi antena satu	55
Gambar 4.30 Pola radiasi antena dua	55
Gambar 4.31 Pola radiasi antena tiga	56
Gambar 4.32 Pola radiasi antena empat	56

Gambar 4.33 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena pertama.....	57
Gambar 4.34 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena kedua.....	58
Gambar 4.35 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena ketiga.....	59
Gambar 4.36 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena keempat.....	60
Gambar 4.37 Desain sisi depan antena <i>multiple input multiple output</i> (MIMO) 4 x 4 sebelum ditambahkan slot dan <i>patch hybrid</i> frekuensi 5,8 GHz.....	63
Gambar 4.38 Desain sisi samping antena <i>multiple input</i> frekuensi 5,8 GHz	63
Gambar 4.39 Hasil simulasi <i>gain</i> antena pertama	64
Gambar 4.40 Hasil simulasi <i>gain</i> antena kedua...	64
Gambar 4.41 Hasil simulasi <i>gain</i> antena ketiga	65
Gambar 4.42 Hasil simulasi <i>gain</i> antena keempat.....	65
Gambar 4.43 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena pertama.....	66
Gambar 4.44 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena kedua.....	66
Gambar 4.45 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena ketiga.....	67
Gambar 4.46 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena keempat.....	67
Gambar 4.47 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena satu terhadap antena satu	68
Gambar 4.48 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena satu terhadap antena dua	68
Gambar 4.49 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena satu terhadap antena tiga	69
Gambar 4.50 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena satu terhadap antena empat	69
Gambar 4.51 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena dua terhadap antena satu	70
Gambar 4.52 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena dua terhadap antena dua	70
Gambar 4.53 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena dua terhadap antena tiga	71
Gambar 4.54 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena dua terhadap antena empat	71
Gambar 4.55 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena tiga terhadap antena satu	72

Gambar 4.56 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena tiga terhadap antena dua	72
Gambar 4.57 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena tiga terhadap antena tiga	73
Gambar 4.58 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena tiga terhadap antena empat	73
Gambar 4.59 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena empat terhadap antena satu	74
Gambar 4.60 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena empat terhadap antena dua	74
Gambar 4.61 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena empat terhadap antena tiga	75
Gambar 4.62 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena empat terhadap antena empat...	75
Gambar 4.63 Pola radiasi antena satu	76
Gambar 4.64 Pola radiasi antena dua	76
Gambar 4.65 Pola radiasi antena tiga	77
Gambar 4.66 Pola radiasi antena empat	77
Gambar 4.67 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena pertama.....	78
Gambar 4.68 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena kedua.....	79
Gambar 4.69 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena ketiga.....	80
Gambar 4.70 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena keempat.....	81
Gambar 4.71 Desain sisi depan antena <i>multiple input multiple output</i> (MIMO) 4 x 4 setelah ditambah slot frekuensi 2,4 GHz	84
Gambar 4.72 Desain sisi samping antena <i>multiple input multiple output</i> (MIMO) 4 x 4 setelah ditambah slot frekuensi 2,4 GHz.....	84
Gambar 4.73 Hasil simulasi <i>gain</i> antena pertama	85
Gambar 4.74 Hasil simulasi <i>gain</i> antena kedua...	85
Gambar 4.75 Hasil simulasi <i>gain</i> antena ketiga	86
Gambar 4.76 Hasil simulasi <i>gain</i> antena keempat.....	86
Gambar 4.77 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena pertama.....	87
Gambar 4.78 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena kedua.....	87

Gambar 4.79 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena ketiga.....	88
Gambar 4.80 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena keempat.....	88
Gambar 4.81 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena satu terhadap antena satu	89
Gambar 4.82 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena satu terhadap antena dua	89
Gambar 4.83 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena satu terhadap antena tiga	90
Gambar 4.84 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena satu terhadap antena empat	90
Gambar 4.85 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena dua terhadap antena satu	91
Gambar 4.86 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena dua terhadap antena dua	91
Gambar 4.87 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena dua terhadap antena tiga	92
Gambar 4.88 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena dua terhadap antena empat	92
Gambar 4.89 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena tiga terhadap antena satu	93
Gambar 4.90 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena tiga terhadap antena dua	93
Gambar 4.91 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena tiga terhadap antena tiga	94
Gambar 4.92 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena tiga terhadap antena empat	94
Gambar 4.93 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena empat terhadap antena satu	95
Gambar 4.94 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena empat terhadap antena dua	95
Gambar 4.95 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena empat terhadap antena tiga	96
Gambar 4.96 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena empat terhadap antena empat...	96
Gambar 4.97 Pola radiasi antena satu	97
Gambar 4.98 Pola radiasi antena dua	97
Gambar 4.99 Pola radiasi antena tiga	98
Gambar 4.100 Pola radiasi antena empat	98
Gambar 4.101 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena pertama.....	99
Gambar 4.102 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena kedua.....	100
Gambar 4.103 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena ketiga.....	101
Gambar 4.104 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena keempat.....	102

Gambar 4.105 Desain sisi depan antena <i>multiple input multiple output</i> (MIMO) 4 x 4 setelah ditambah slot frekuensi 5,8 GHz	106
Gambar 4.106 Desain sisi samping antena <i>multiple input multiple output</i> (MIMO) 4 x 4 setelah ditambah slot frekuensi 5,8 GHz.....	106
Gambar 4.107 Hasil simulasi <i>gain</i> antena pertama	107
Gambar 4.108 Hasil simulasi <i>gain</i> antena kedua...	107
Gambar 4.109 Hasil simulasi <i>gain</i> antena ketiga	108
Gambar 4.110 Hasil simulasi <i>gain</i> antena keempat.....	108
Gambar 4.111 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena pertama.....	109
Gambar 4.112 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena kedua.....	109
Gambar 4.113 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena ketiga.....	110
Gambar 4.114 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena keempat.....	110
Gambar 4.115 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena satu terhadap antena satu	111
Gambar 4.116 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena satu terhadap antena dua	111
Gambar 4.117 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena satu terhadap antena tiga	112
Gambar 4.118 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena satu terhadap antena empat...112	
Gambar 4.119 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena dua terhadap antena satu	113
Gambar 4.120 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena dua terhadap antena dua	113
Gambar 4.121 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena dua terhadap antena tiga	114
Gambar 4.122 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena dua terhadap antena empat...114	
Gambar 4.123 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena tiga terhadap antena satu	115
Gambar 4.124 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena tiga terhadap antena dua	115
Gambar 4.125 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena tiga terhadap antena tiga	116
Gambar 4.126 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena tiga terhadap antena empat...116	
Gambar 4.127 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena empat terhadap antena satu ..117	
Gambar 4.128 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena empat terhadap antena dua...117	
Gambar 4.129 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena empat terhadap antena tiga...118	

Gambar 4.130 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena empat terhadap antena empat.....	118
Gambar 4.131 Pola radiasi antena satu	119
Gambar 4.132 Pola radiasi antena dua	119
Gambar 4.133 Pola radiasi antena tiga	120
Gambar 4.134 Pola radiasi antena empat	120
Gambar 4.135 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena pertama.....	121
Gambar 4.136 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena kedua.....	122
Gambar 4.137 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena ketiga.....	123
Gambar 4.138 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena keempat.....	124
Gambar 4.139 Desain sisi depan antena <i>multiple input multiple output</i> (MIMO) 4 x 4 setelah ditambahkan slot dan <i>patch hybrid</i> frekuensi 2,4 GHz	127
Gambar 4.140 Desain sisi samping antena <i>multiple input multiple output</i> (MIMO) 4 x 4 setelah ditambahkan slot dan <i>patch hybrid</i> frekuensi 2,4 GHz...128	
Gambar 4.141 Hasil simulasi <i>gain</i> antena pertama	128
Gambar 4.142 Hasil simulasi <i>gain</i> antena kedua...	129
Gambar 4.143 Hasil simulasi <i>gain</i> antena ketiga	129
Gambar 4.144 Hasil simulasi <i>gain</i> antena keempat.....	130
Gambar 4.145 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena pertama.....	130
Gambar 4.146 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena kedua.....	131
Gambar 4.147 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena ketiga.....	131
Gambar 4.148 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena keempat.....	132
Gambar 4.149 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena satu terhadap antena satu.....	132
Gambar 4.150 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena satu terhadap antena dua	133

Gambar 4.151 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena satu terhadap antena tiga	133
Gambar 4.152 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena satu terhadap antena empat...	134
Gambar 4.153 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena dua terhadap antena satu	134
Gambar 4.154 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena dua terhadap antena dua	135
Gambar 4.155 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena dua terhadap antena tiga	135
Gambar 4.156 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena dua terhadap antena empat ...	136
Gambar 4.157 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena tiga terhadap antena satu	136
Gambar 4.158 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena tiga terhadap antena dua	137
Gambar 4.159 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena tiga terhadap antena tiga	137
Gambar 4.160 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena tiga terhadap antena empat...	138
Gambar 4.161 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena empat terhadap antena satu ..	138
Gambar 4.162 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena empat terhadap antena dua...	139
Gambar 4.163 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena empat terhadap antena tiga...	139
Gambar 4.164 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena empat terhadap antena empat.....	140
Gambar 4.165 Pola radiasi antena satu	141
Gambar 4.166 Pola radiasi antena dua	141
Gambar 4.167 Pola radiasi antena tiga	142
Gambar 4.168 Pola radiasi antena empat	142
Gambar 4.169 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena pertama.....	143
Gambar 4.170 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena kedua.....	144
Gambar 4.171 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena ketiga.....	145
Gambar 4.172 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena keempat.....	146
Gambar 4.173 Desain sisi depan antena <i>multiple input multiple output</i> (MIMO) 4 x 4 setelah ditambahkan slot dan <i>patch hybrid</i> frekuensi 5,8 GHz	150
Gambar 4.174 Desain sisi samping antena <i>multiple input multiple output</i> (MIMO) 4 x 4 setelah ditambahkan slot dan <i>patch hybrid</i> frekuensi 5,8 GHz...151	
Gambar 4.175 Hasil simulasi <i>gain</i> antena pertama	151

Gambar 4.176 Hasil simulasi <i>gain</i> antena kedua.....	152
Gambar 4.177 Hasil simulasi <i>gain</i> antena ketiga	152
Gambar 4.178 Hasil simulasi <i>gain</i> antena keempat.....	153
Gambar 4.179 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena pertama.....	153
Gambar 4.180 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena kedua.....	154
Gambar 4.181 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena ketiga.....	15
Gambar 4.182 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena keempat.....	155
Gambar 4.183 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena satu terhadap antena satu	155
Gambar 4.184 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena satu terhadap antena dua	156
Gambar 4.185 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena satu terhadap antena tiga	156
Gambar 4.186 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena satu terhadap antena empat...	157
Gambar 4.187 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena dua terhadap antena satu	157
Gambar 4.188 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena dua terhadap antena dua	158
Gambar 4.189 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena dua terhadap antena tiga	158
Gambar 4.190 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena dua terhadap antena empat...	159
Gambar 4.191 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena tiga terhadap antena satu	159
Gambar 4.192 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena tiga terhadap antena dua	160
Gambar 4.193 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena tiga terhadap antena tiga	160
Gambar 4.194 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena tiga terhadap antena empat...	161
Gambar 4.195 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena empat terhadap antena satu ..	161
Gambar 4.196 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena empat terhadap antena dua...	162
Gambar 4.197 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena empat terhadap antena tiga...	162
Gambar 4.198 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena empat terhadap antena empat.....	163
Gambar 4.199 Pola radiasi antena satu	164
Gambar 4.200 Pola radiasi antena dua	164
Gambar 4.201 Pola radiasi antena tiga	165
Gambar 4.202 Pola radiasi antena empat	165

Gambar 4.203 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena pertama.....	166
Gambar 4.204 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena kedua.....	167
Gambar 4.205 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena ketiga.....	168
Gambar 4.206 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena keempat.....	169
Gambar 4.207 Desain sisi depan antena <i>multiple input multiple output</i> (MIMO) 4 x 4 setelah ditambahkan slot dan <i>patch hybrid</i> frekuensi 2,4 GHz	173
Gambar 4.208 Desain sisi samping antena <i>multiple input multiple output</i> (MIMO) 4 x 4 setelah ditambahkan slot dan <i>patch hybrid</i> frekuensi 2,4 GHz...174	
Gambar 4.209 Hasil simulasi <i>gain</i> antena pertama frekuensi 2,4 GHz.....174	
Gambar 4.210 Hasil simulasi <i>gain</i> antena kedua frekuensi 2,4 GHz.....175	
Gambar 4.211 Hasil simulasi <i>gain</i> antena ketiga frekuensi 2,4 GHz.....175	
Gambar 4.212 Hasil simulasi <i>gain</i> antena keempat frekuensi 2,4 GHz.....176	
Gambar 4.213 Hasil simulasi <i>gain</i> antena pertama frekuensi 5,8 GHz.....176	
Gambar 4.214 Hasil simulasi <i>gain</i> antena kedua frekuensi 5,8 GHz.....177	
Gambar 4.215 Hasil simulasi <i>gain</i> antena ketiga frekuensi 5,8 GHz.....177	
Gambar 4.216 Hasil simulasi <i>gain</i> antena keempat frekuensi 5,8 GHz.....178	
Gambar 4.217 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena pertama.....	178
Gambar 4.218 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena kedua.....	179
Gambar 4.219 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena ketiga.....	179
Gambar 4.220 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena keempat.....	180
Gambar 4.221 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena satu terhadap antena satu	181
Gambar 4.222 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena satu terhadap antena dua	181
Gambar 4.223 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena satu terhadap antena tiga	182
Gambar 4.224 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena satu terhadap antena empat...182	

Gambar 4.225 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena dua terhadap antena satu	183
Gambar 4.226 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena dua terhadap antena dua	183
Gambar 4.227 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena dua terhadap antena tiga	184
Gambar 4.228 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena dua terhadap antena empat...	184
Gambar 4.229 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena tiga terhadap antena satu	185
Gambar 4.230 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena tiga terhadap antena dua	185
Gambar 4.231 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena tiga terhadap antena tiga	186
Gambar 4.232 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena tiga terhadap antena empat...	186
Gambar 4.233 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena empat terhadap antena satu..	187
Gambar 4.234 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena empat terhadap antena dua...	187
Gambar 4.235 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena empat terhadap antena tiga...	188
Gambar 4.236 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena empat terhadap antena empat.....	188
Gambar 4.237 Pola radiasi antena pertama frekuensi 2,4 GHz.....	189
Gambar 4.238 Pola radiasi antena kedua frekuensi 2,4 GHz.....	189
Gambar 4.239 Pola radiasi antena ketiga frekuensi 2,4 GHz.....	190
Gambar 4.240 Pola radiasi antena keempat frekuensi 2,4 GHz.....	190
Gambar 4.241 Pola radiasi antena pertama frekuensi 5,8 GHz.....	191
Gambar 4.242 Pola radiasi antena kedua frekuensi 5,8 GHz.....	191
Gambar 4.243 Pola radiasi antena ketiga frekuensi 5,8 GHz.....	192
Gambar 4.244 Pola radiasi antena keempat frekuensi 5,8 GHz.....	192
Gambar 4.245 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena pertama.....	193
Gambar 4.246 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena kedua.....	194
Gambar 4.247 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena ketiga.....	196
Gambar 4.248 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena keempat.....	197
Gambar 4.249 Desain sisi depan antena <i>multiple input multiple output</i> (MIMO) 4 x 4 setelah ditambahkan slot dan <i>patch hybrid</i> frekuensi 5,8 GHz	204

Gambar 4.250 Desain sisi samping antena <i>multiple input multiple output</i> (MIMO) 4 x 4 setelah ditambahkan slot dan <i>patch hybrid</i> frekuensi 5,8 GHz...204
Gambar 4.251 Hasil simulasi <i>gain</i> antena pertama frekuensi 2,4 GHz.....205
Gambar 4.252 Hasil simulasi <i>gain</i> antena kedua frekuensi 2,4 GHz.....205
Gambar 4.253 Hasil simulasi <i>gain</i> antena ketiga frekuensi 2,4 GHz.....206
Gambar 4.254 Hasil simulasi <i>gain</i> antena keempat frekuensi 2,4 GHz.....206
Gambar 4.255 Hasil simulasi <i>gain</i> antena pertama frekuensi 5,8 GHz.....207
Gambar 4.256 Hasil simulasi <i>gain</i> antena kedua frekuensi 5,8 GHz.....207
Gambar 4.257 Hasil simulasi <i>gain</i> antena ketiga frekuensi 5,8 GHz.....208
Gambar 4.258 Hasil simulasi <i>gain</i> antena keempat frekuensi 5,8 GHz.....208
Gambar 4.259 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena pertama.....209
Gambar 4.260 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena kedua.....209
Gambar 4.261 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena ketiga.....210
Gambar 4.262 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena keempat.....210
Gambar 4.263 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena satu terhadap antena satu211
Gambar 4.264 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena satu terhadap antena dua212
Gambar 4.265 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena satu terhadap antena tiga212
Gambar 4.266 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena satu terhadap antena empat...213
Gambar 4.267 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena dua terhadap antena satu213
Gambar 4.268 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena dua terhadap antena dua214
Gambar 4.269 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena dua terhadap antena tiga214
Gambar 4.270 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena dua terhadap antena empat...215
Gambar 4.271 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena tiga terhadap antena satu215
Gambar 4.272 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena tiga terhadap antena dua216
Gambar 4.273 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena tiga terhadap antena tiga216
Gambar 4.274 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena tiga terhadap antena empat...217
Gambar 4.275 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena empat terhadap antena satu ..217
Gambar 4.276 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena empat terhadap antena dua...218

Gambar 4.277 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena empat terhadap antena tiga...	218
Gambar 4.278 Hasil simulasi <i>return loss</i> antena empat terhadap antena empat.....	219
Gambar 4.279 Pola radiasi antena pertama frekuensi 2,4 GHz.....	219
Gambar 4.280 Pola radiasi antena kedua frekuensi 2,4 GHz.....	220
Gambar 4.281 Pola radiasi antena ketiga frekuensi 2,4 GHz.....	220
Gambar 4.282 Pola radiasi antena keempat frekuensi 2,4 GHz.....	221
Gambar 4.283 Pola radiasi antena pertama frekuensi 5,8 GHz.....	221
Gambar 4.284 Pola radiasi antena kedua frekuensi 5,8 GHz.....	222
Gambar 4.285 Pola radiasi antena ketiga frekuensi 5,8 GHz.....	222
Gambar 4.286 Pola radiasi antena keempat frekuensi 5,8 GHz.....	223
Gambar 4.287 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena pertama.....	223
Gambar 4.288 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena kedua.....	225
Gambar 4.289 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena ketiga.....	226
Gambar 4.290 Hasil simulasi VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) antena keempat.....	226
Gambar 4.291 Antena tampak depan Frekuensi 2,4 GHz <i>Single Band</i>	236
Gambar 4.292 Antena tampak belakang Frekuensi 2,4 GHz <i>Single Band</i>	237
Gambar 4.293 Antena tampak depan Frekuensi 5,8 GHz <i>Single Band</i>	238
Gambar 4.294 Antena tampak belakang Frekuensi 5,8 GHz <i>Single Band</i>	238
Gambar 4.295 Antena tampak depan Frekuensi 5,8 GHz <i>Dual Band</i>	238
Gambar 4.296 Antena tampak belakang Frekuensi 5,8 GHz <i>Dual Band</i>	239
Gambar 4.297 Tampilan pada <i>WirelessMon</i>	240
Gambar 4.298 Hasil uji coba menggunakan antena yang terpasang di perangkat laptop dan tersambung ke wifi	240
Gambar 4.299 Hasil uji coba menggunakan antena yang terpasang di perangkat laptop dan tersambung ke hotspot telepon	241
Gambar 4.300 Hasil uji coba menggunakan antena yang terpasang di perangkat di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke wifi.....	242

Gambar 4.301 Hasil uji coba menggunakan antena yang terpasang di perangkat di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke hotspot telepon.....	242
Gambar 4.302 Antena pertama di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N da tersambung ke wifi.....	243
Gambar 4.303 Antena pertama di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke hotspot telepon.....	244
Gambar 4.304 Antena kedua di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke wifi.....	245
Gambar 4.305 Antena kedua di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke hotspot telepon.....	245
Gambar 4.306 Antena ketiga di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke wifi.....	246
Gambar 4.307 Antena ketiga di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke hotspot telepon.....	247
Gambar 4.308 Antena keempat di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke wifi.....	247
Gambar 4.309 Antena keempat di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke hotspot telepon.....	248
Gambar 4.310 Antena pertama di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke wifi.....	251
Gambar 4.311 Antena pertama di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke hotspot telepon.....	252
Gambar 4.312 Antena kedua di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke wifi.....	252
Gambar 4.313 Antena kedua di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke hotspot telepon.....	253
Gambar 4.314 Antena ketiga di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke wifi.....	254
Gambar 4.315 Antena ketiga di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke hotspot telepon.....	254
Gambar 4.316 Antena keempat di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke wifi.....	255

Gambar 4.317 Antena keempat di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke hotspot telepon.....	256
Gambar 4.318 Antena pertama di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke wifi.....	258
Gambar 4.319 Antena pertama di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke hotspot telepon.....	259
Gambar 4.320 Antena kedua di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke wifi.....	259
Gambar 4.321 Antena kedua di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke hotspot telepon.....	260
Gambar 4.322 Antena ketiga di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke wifi.....	261
Gambar 4.323 Antena ketiga di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke hotspot telepon.....	261
Gambar 4.324 Antena keempat di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke wifi.....	262
Gambar 4.325 Antena keempat di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke hotspot telepon.....	263
Gambar 4.326 Antena pertama di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke wifi.....	263
Gambar 4.327 Antena pertama di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke hotspot telepon.....	267
Gambar 4.328 Antena kedua di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke wifi.....	268
Gambar 4.329 Antena kedua di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke hotspot telepon.....	268
Gambar 4.330 Antena ketiga di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke wifi.....	269
Gambar 4.331 Antena ketiga di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke hotspot telepon.....	270
Gambar 4.332 Antena keempat di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke wifi.....	270

Gambar 4.333 Antena keempat di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke hotspot telepon.....	271
Gambar 4.334 Antena pertama di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan <i>router TP-Link</i> tipe WA801ND.....	274
Gambar 4.335 Antena kedua di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan <i>router TP-Link</i> tipe WA801ND.....	275
Gambar 4.336 Antena ketiga di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan <i>router TP-Link</i> tipe WA801ND.....	276
Gambar 4.337 Antena keempat di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan <i>router TP-Link</i> tipe WA801ND.....	276
Gambar 4.338 Antena pertama di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan <i>router TP-Link</i> tipe WA801ND.....	278
Gambar 4.339 Antena kedua di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan <i>router TP-Link</i> tipe WA801ND.....	279
Gambar 4.340 Antena ketiga di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan <i>router TP-Link</i> tipe WA801ND.....	280
Gambar 4.341 Antena keempat di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan <i>router TP-Link</i> tipe WA801ND.....	281
Gambar 4.342 Antena pertama di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke wifi.....	283
Gambar 4.343 Antena pertama di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke hotspot telepon.....	283
Gambar 4.344 Antena kedua di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke wifi.....	284
Gambar 4.345 Antena kedua di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke hotspot telepon.....	285
Gambar 4.346 Antena ketiga di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke wifi.....	285
Gambar 4.347 Antena ketiga di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke hotspot telepon.....	286
Gambar 4.348 Antena keempat di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke wifi.....	287

Gambar 4.349 Antena keempat di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke hotspot telepon.....	287
Gambar 4.350 Antena pertama di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke wifi.....	290
Gambar 4.351 Antena pertama di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke hotspot telepon.....	291
Gambar 4.352 Antena kedua di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke wifi.....	292
Gambar 4.353 Antena kedua di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke hotspot telepon.....	292
Gambar 4.354 Antena ketiga di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke wifi.....	293
Gambar 4.355 Antena ketiga di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke hotspot telepon.....	294
Gambar 4.356 Antena keempat di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke wifi.....	294
Gambar 4.357 Antena keempat di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan tersambung ke hotspot telepon.....	295
Gambar 4.358 Antena pertama di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan <i>router TP-Link</i> tipe WA801ND.....	298
Gambar 4.359 Antena kedua di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan <i>router TP-Link</i> tipe WA801ND.....	299
Gambar 4.360 Antena ketiga di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan <i>router TP-Link</i> tipe WA801ND.....	299
Gambar 4.361 Antena keempat di perangkat <i>TP-Link</i> tipe WN722N dan <i>router TP-Link</i> tipe WA801ND.....	300

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Standar spesifikasi IEEE 802.11 (<i>Wireless</i>).....	7
Tabel 2.2 Jenis dari bahan <i>substrate</i> dan dari nilai permivitas elektrik (ϵ_r)..	10
Tabel 2.3 Kelebihan dan Kelemahan antena mikrostrip.....	11
Tabel 2.4 Karakteristik antena.....	13
Tabel 3.1 Perlengkapan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	26
Tabel 4.1 <i>Bandwidth</i> antena pertama.....	57
Tabel 4.2 <i>Bandwidth</i> antena kedua.....	58
Tabel 4.3 <i>Bandwidth</i> antena ketiga.....	59
Tabel 4.4 <i>Bandwidth</i> antena keempat.....	60
Tabel 4.5 Hasil simulasi <i>software</i> CST (<i>Computer Simulation Technology</i>) <i>Microwave Suite Studio</i> 2016.....	61
Tabel 4.6 <i>Bandwidth</i> antena pertama.....	78
Tabel 4.7 <i>Bandwidth</i> antena kedua.....	79
Tabel 4.8 <i>Bandwidth</i> antena ketiga.....	80
Tabel 4.9 <i>Bandwidth</i> antena keempat.....	81
Tabel 4.10 Hasil simulasi <i>software</i> CST (<i>Computer Simulation Technology</i>) <i>Microwave Suite Studio</i> 2016.....	82
Tabel 4.11 Penambahan 4 slot.....	99
Tabel 4.12 <i>Bandwidth</i> antena pertama.....	100
Tabel 4.13 <i>Bandwidth</i> antena kedua.....	101
Tabel 4.14 <i>Bandwidth</i> antena ketiga.....	102
Tabel 4.15 <i>Bandwidth</i> antena keempat.....	103
Tabel 4.16 Hasil simulasi <i>software</i> CST (<i>Computer Simulation Technology</i>) <i>Microwave Suite Studio</i> 2016.....	103
Tabel 4.17 Penambahan 4 slot.....	121
Tabel 4.18 <i>Bandwidth</i> antena pertama.....	122
Tabel 4.19 <i>Bandwidth</i> antena kedua.....	123
Tabel 4.20 <i>Bandwidth</i> antena ketiga.....	124
Tabel 4.21 <i>Bandwidth</i> antena keempat.....	124
Tabel 4.22 Hasil simulasi <i>software</i> CST (<i>Computer Simulation Technology</i>) <i>Microwave Suite Studio</i> 2016.....	125

Tabel 4.23 Bandwidth antena pertama.....	143
Tabel 4.24 Bandwidth antena kedua.....	144
Tabel 4.25 Bandwidth antena ketiga.....	145
Tabel 4.26 Bandwidth antena keempat.....	146
Tabel 4.27 Hasil simulasi software CST (<i>Computer Simulation Technology</i>) <i>Microwave Suite Studio 2016</i>	147
Tabel 4.28 Hasil Mutual Coupling.....	149
Tabel 4.29 Bandwidth antena pertama.....	166
Tabel 4.30 Bandwidth antena kedua.....	167
Tabel 4.31 Bandwidth antena ketiga.....	168
Tabel 4.32 Bandwidth antena keempat.....	169
Tabel 4.33 Hasil simulasi software CST (<i>Computer Simulation Technology</i>) <i>Microwave Suite Studio 2016</i>	170
Tabel 4.34 Hasil Mutual Coupling.....	172
Tabel 4.35 Bandwidth antena pertama frekuensi 2,4 GHz.....	193
Tabel 4.36 Bandwidth antena pertama frekuensi 5,8 GHz.....	194
Tabel 4.37 Bandwidth antena kedua frekuensi 2,4 GHz.....	195
Tabel 4.38 Bandwidth antena kedua frekuensi 5,8 GHz.....	195
Tabel 4.39 Bandwidth antena ketiga rekuensi 2,4 GHz.....	196
Tabel 4.40 Bandwidth antena ketiga frekuensi 5,8 GHz.....	197
Tabel 4.41 Bandwidth antena keempat frekuensi 2,4 GHz.....	198
Tabel 4.42 Bandwidth antena kedua frekuensi 5,8 GHz.....	198
Tabel 4.43 Hasil simulasi software CST (<i>Computer Simulation Technology</i>) <i>Microwave Suite Studio 2016</i>	199
Tabel 4.44 Hasil Mutual Coupling.....	202
Tabel 4.45 Bandwidth antena pertama frekuensi 2,4 GHz.....	224
Tabel 4.46 Bandwidth antena pertama frekuensi 5,8 GHz.....	224
Tabel 4.47 Bandwidth antena kedua frekuensi 2,4 GHz.....	225
Tabel 4.48 Bandwidth antena kedua frekuensi 5,8 GHz.....	226
Tabel 4.49 Bandwidth antena ketiga rekuensi 2,4 GHz.....	227
Tabel 4.50 Bandwidth antena ketiga frekuensi 5,8 GHz.....	227
Tabel 4.51 Bandwidth antena keempat frekuensi 2,4 GHz.....	228

Tabel 4.52 Bandwidth antena kedua frekuensi 5,8 GHz.....	229
Tabel 4.53 Hasil simulasi software CST (<i>Computer Simulation Technology</i>) <i>Microwave Suite Studio</i> 2016.....	229
Tabel 4.54 Hasil Mutual Coupling.....	232
Tabel 4.55 Hasil Penelitian sebelumnya pada frekuensi 2,4 GHz.....	234
Tabel 4.56 Hasil Penelitian sebelumnya pada frekuensi 5,8 GHz.....	234
Tabel 4.57 Hasil Antena yang dirancang pada frekuensi 2,4 GHz.....	235
Tabel 4.58 Hasil Antena yang dirancang pada frekuensi 5,8 GHz.....	235
Tabel 4.59 Hasil uji coba software <i>WirelessMon</i> Frekuensi 2,4 GHz menggunakan TP-Link sebagai pengirim.....	249
Tabel 4.60 Hasil uji coba software <i>WirelessMon</i> Frekuensi 2,4 GHz menggunakan TP-Link sebagai penerima.....	256
Tabel 4.61 Hasil uji coba software <i>WirelessMon</i> Frekuensi 5,8 GHz menggunakan TP-Link sebagai pengirim.....	264
Tabel 4.62 Hasil uji coba software <i>WirelessMon</i> Frekuensi 5,8 GHz menggunakan TP-Link sebagai penerima.....	272
Tabel 4.63 Hasil uji coba software <i>WirelessMon</i> Frekuensi 2,4 GHz menggunakan <i>router</i>	277
Tabel 4.64 Hasil uji coba software <i>WirelessMon</i> Frekuensi 5,8 GHz menggunakan <i>router</i>	281
Tabel 4.65 Hasil uji coba software <i>WirelessMon</i> Frekuensi 5,8 GHz menggunakan TP-Link sebagai pengirim.....	288
Tabel 4.66 Hasil uji coba software <i>WirelessMon</i> Frekuensi 5,8 GHz menggunakan TP-Link sebagai penerima.....	296
Tabel 4.67 Hasil uji coba software <i>WirelessMon</i> Frekuensi 5,8 GHz menggunakan <i>router</i>	301

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pengujian Antena Satu *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 2,4 GHz tersambung ke wifi

Lampiran 2. Pengujian Antena dua *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 2,4 GHz tersambung ke wifi

Lampiran 3. Pengujian Antena tiga *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 2,4 GHz tersambung ke wifi

Lampiran 4. Pengujian Antena Empat *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 2,4 GHz tersambung ke wifi

Lampiran 5. Pengujian Antena Satu *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 5,8 GHz tersambung ke wifi

Lampiran 6. Pengujian Antena dua *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 5,8 GHz tersambung ke wifi

Lampiran 7. Pengujian Antena Tiga *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 5,8 GHz tersambung ke wifi

Lampiran 8. Pengujian Antena Empat *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 5,8 GHz tersambung ke wifi

Lampiran 9. Pengujian Antena Satu *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 2,4 GHz tersambung ke hotspot seluler

Lampiran 10. Pengujian Antena Dua *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 2,4 GHz tersambung ke hotspot seluler

Lampiran 11. Pengujian Antena Tiga *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 2,4 GHz tersambung ke hotspot seluler

Lampiran 12. Pengujian Antena Empat *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 2,4 GHz tersambung ke hotspot seluler

Lampiran 13. Pengujian Antena Satu *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 5,8 GHz tersambung ke hotspot seluler

Lampiran 14. Pengujian Antena Dua *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 5,8 GHz tersambung ke hotspot seluler

Lampiran 15. Pengujian Antena Tiga *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 5,8 GHz tersambung ke hotspot seluler

Lampiran 16. Pengujian Antena Empat *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 5,8 GHz tersambung ke hotspot seluler

Lampiran 17. Pengujian Antena Satu *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 2,4 GHz dengan *router*

Lampiran 18. Pengujian Antena Dua *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 2,4 GHz dengan *router*

Lampiran 19. Pengujian Antena Tiga *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 2,4 GHz dengan *router*

Lampiran 20. Pengujian Antena Empat *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 2,4 GHz dengan *router*

Lampiran 21. Pengujian Antena Satu *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 5,8 GHz dengan *router*

Lampiran 22. Pengujian Antena Dua *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 5,8 GHz dengan *router*

Lampiran 23. Pengujian Antena Tiga *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 5,8 GHz dengan *router*

Lampiran 24. Pengujian Antena Empat *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 5,8 GHz dengan *router*

Lampiran 25. Pengujian Antena Satu *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 5,8 GHz tersambung ke wifi

Lampiran 26. Pengujian Antena dua *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 5,8 GHz tersambung ke wifi

Lampiran 27. Pengujian Antena Tiga *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 5,8 GHz tersambung ke wifi

Lampiran 28. Pengujian Antena Empat *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 5,8 GHz tersambung ke wifi

Lampiran 29. Pengujian Antena Satu *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 5,8 GHz tersambung ke hotspot seluler

Lampiran 30. Pengujian Antena Dua *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 5,8 GHz tersambung ke hotspot seluler

Lampiran 31. Pengujian Antena Tiga *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 5,8 GHz tersambung ke hotspot seluler

Lampiran 32. Pengujian Antena Empat *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 5,8 GHz tersambung ke hotspot seluler

Lampiran 33. Pengujian Antena Satu *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 5,8 GHz dengan *router*

Lampiran 34. Pengujian Antena Dua *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 5,8 GHz dengan *router*

Lampiran 35. Pengujian Antena Tiga *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 5,8 GHz dengan *router*

Lampiran 36. Pengujian Antena Empat *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 5,8 GHz dengan *router*

Lampiran 37. Antena *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 2,4 GHz

Lampiran 38. Antena *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 menggunakan *Patch Hybrid* pada Frekuensi 5,8 GHz

Lampiran 39. TP-Link Tipe WN722N

Lampiran 40. Router Tipe WA801ND

Lampiran 41. Berita Acara Sidang Sarjana

Lampiran 42. Lembar Presentase Plagiarisme

DAFTAR ISTILAH

<i>Bandwidth</i>	: Rentang Frekuensi
<i>Directivity</i>	: Keterarahan
<i>Gain</i>	: Penguatan
Hibrida	: Hasil dari persilangan antara dua atau lebih sesuatu yang berbeda
<i>Isotropis</i>	: Arah pancaran antena ke berbagai arah dengan energi sama besar pada seluruh bidang
MIMO	: <i>Multiple Input Multiple Output</i> merupakan sebuah teknologi antena yang digunakan pada komunikasi wireless dengan antena ganda yang digunakan untuk kedua sumber pengirim dan penerima.
<i>Mutual Coupling</i>	: Efek yang menyebabkan terjadinya penurunan kualitas parameter antena karena adanya dua antena atau lebih yang jaraknya terlalu berdekatan
<i>Omnidirectional</i>	: Arah pancaran antena ke berbagai arah dengan energi pada satu bidang sama besar
<i>Patch</i>	: Plat ini terletak paling atas dari keseluruhan sistem antena
<i>Return Loss</i>	: Perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirim
<i>Substrat dielektrik</i>	: Media penyalur gelombang elektro magnetik dari catuan.
<i>Unidirectional</i>	: Arah pancaran antena searah
VSFR	: <i>Voltage Standing Wave Ratio</i> yaitu perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri maksimum ($ V _{\max}$) dengan minimum ($ V _{\min}$).
WLAN	: Wireless Local Area Network yaitu suatu jenis jaringan yang mentransmisikan datanya menggunakan gelombang radio.

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi *Wireless Local Area Network* (WLAN) merupakan sesuatu yang berperan penting dalam media transmisi untuk pertukaran data. Dalam proses peralihan data dari satu perangkat ke perangkat lainnya *Wireless Local Area Network* (WLAN) ini sebagai media transmisinya tanpa menggunakan kabel melainkan menggunakan cara dengan memanfaatkan gelombang radio atau disebut juga dengan radio elektromagnetik. Sebagai lembaga standarisasi internasional, IEEE sudah menetapkan standar 802.11 untuk *Wireless Local Area Network* (WLAN) dalam mengatur regulasi pada bidang perangkat elektronik [1]. Akan tetapi, sampai sudah dengan ditetapkannya IEEE 802.11n sebagai standar jaringan nirkabel, saat ini masih terdapat beberapa keterbatasan tertentu pada standar tersebut.

Berdasarkan permasalahan tersebut maka perlu pengembangan lebih lanjut. IEEE menetapkan IEEE 802.11ac ini juga sudah memperhitungkan dari berbagai faktor yaitu berupa jarak, tahanan mitigasi, resistansi koneksi, *roaming*, kekuatan dan ketersediaan sistem yang sangat baik. Pengembangan sebuah teknologi antena *Multiple Input and Multiple Output* (MIMO) dilakukannya lebih banyak dari IEEE 802.11n sehingga cara transmisinya baik *transmitter* atau *receiver* jauh lebih baik dari teknologi *wi-fi* yang telah ada sebelumnya.

Pada penelitian sebelumnya antena yang dirancang yaitu antena mikrostrip *dual band* dengan menggunakan *patch rectangular* dan teknologi yang digunakan yaitu MIMO 4 x 4 untuk *access point* pada aplikasi *wifi* menghasilkan *return loss* ≤ -10 dB, *bandwidth* ≥ 40 MHz untuk frekuensi 2,441 GHz dan ≥ 100 MHz untuk frekuensi 5,8 GHz, dengan *gain* ≥ 3 dB, dan *mutual coupling* ≤ -20 dB dengan pola radiasi *unidirectional* untuk frekuensi 2,441 GHz dan 5,8 GHz [2]. Dari parameter yang dihasilkan menunjukkan bahwa antena masih dapat menghasilkan kinerja yang lebih optimal.

Penulis merancang antena mikrostrip berbasis *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4. *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 4 x 4 dirancang baik pada pemancar maupun penerimanya berperan dalam penunjang teknologi baik di perangkat maupun jaringan yang tersedia. Teknik yang digunakan berdasarkan penelitian ini yaitu *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) agar antena mempunyai performasi yang baik, antena *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) menggunakan teknik pencatuan *proximity coupled*.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun sebagai berikut perumusan masalah dalam penelitian ini :

1. Bagaimana merancang antena *Multiple Input Multiple Output* 4 x 4 *dual band* menggunakan *patch hybrid* pada teknologi *Wireless Local Area Network* 802.11 n pada pita frekuensi radio 2,4 GHz sampai dengan 2,48 GHz atau pita frekuensi radio 5,7 GHz sampai dengan 5,8 GHz ?
2. Bagaimana hasil pengujian desain antena *Multiple Input Multiple Output* 4 x 4 *dual band* pada teknologi *Wireless Local Area Network* 802.11 n pada pita frekuensi radio 2,4 GHz sampai dengan 2,48 GHz atau pita frekuensi radio 5,7 GHz sampai dengan 5,8 GHz ?
3. Bagaimana menganalisis hasil desain serta pengujian antena *Multiple Input Multiple Output* 4 x 4 *dual band* pada teknologi *Wireless Local Area Network* 802.11 n pada pita frekuensi radio 2,4 GHz sampai dengan 2,48 GHz atau pita frekuensi radio 5,7 GHz sampai dengan 5,8 GHz ?

1.3 Batasan Masalah

Adapun berikut ini merupakan batasan masalah yang terdapat pada penelitian ini terdiri dari :

1. Antena yang didesain hanya menggunakan bahan papan PCB jenis FR-4 *Epoxy*.
2. Antena yang dirancang hanya menggunakan metode *Multiple Input Multiple Output* (MIMO).
3. Antena dirancang hanya menggunakan dimensi *patch* 4 x 4.
4. Desain antena dirancang hanya menggunakan *patch hybrid*.

5. Parameter yang digunakan untuk analisis meliputi *gain*, *VSWR* (*Voltage Standing Wave Ratio*) , *return loss*, *bandwidth* dan pola radiasi.
6. Frekuensi kerja hanya beroperasi di jaringan *dual band* yaitu 2,4 GHz dan 5,8 GHz.
7. Simulasi yang dipakai hanya memakai *Software CST (Computer Simulation Technology) Studio Suite 2016*.
8. Antena didesain hanya menggunakan pencatuan jenis *proximity coupled*.
9. Hasil uji coba antena yang dilakukan hanya menggunakan *Software WirelessMon*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian berikut ini adalah merancang antena *Multiple Input Multiple Output* 4×4 *dual band* menggunakan *patch hybrid* pada teknologi *Wireless Local Area Network* 802.11 yang bekerja pada frekuensi 2,4 GHz dan 5,8 GHz untuk jaringan *wifi*.

1.5 Metode Penelitian

Adapun metode yang digunakan penelitian pada tugas akhir yang terdiri dari :

1. Kajian Pustaka

Pada metode penelitian ini, penulis melakukan kajian pustaka yang didapat dari buku referensi, artikel, dan juga jurnal sebagai referensi teori pada skripsi.

2. Desain Antena MIMO

Pada metode ini, antena didesain dengan menggunakan bahan *substrate FR-4 Epoxy* dengan frekuensi yang bekerja di *dual band* yaitu 2,4 GHz dan 5,8 GHz dan mensimulasikannya dengan menggunakan *software CST (Computer Simulation Technology) Studio Suite 2016*.

3. Pembuatan *Prototype* Antena MIMO

Pada metode ini antena dirancang melalui teknik *Multiple Input Multiple Output (MIMO)* dengan *patch hybrid*.

4. Hasil uji coba Antena MIMO

Pada bagian ini, pengujian berdasarkan parameter antena yang meliputi VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*), penguatan antena (*gain*), *return loss*, *bandwidth* dan pola radiasi.

5. Analisis Desain Antena dan Analisis Pengujian Antena MIMO

Pada bagian ini, antena hasil desain dianalisis setelah melalui tahap perhitungan dan simulasi. Analisis yang dilakukan dengan cara melakukan pengujian menggunakan *tp-link* dan *router* yang dihubungkan dengan laptop menggunakan *software WirelessMon*.

1.6. Sistematika Penulisan

Berikut ini terdapat lima sistematika penulisan yang terdiri dari :

BAB 1 : PENDAHULUAN

Pada bab ini membahas latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini membahas teori yang menjadi landasan dan mendasari guna mendukung penyusunan skripsi sesuai dengan judul yang telah ditetapkan.

BAB 3 : METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini membahas tentang metode *patch hybrid* menggunakan teknologi *Multiple Input Multiple Output* (MIMO), alat dan bahan untuk penerapan antena, desain antena, diagram alir penelitian, gambar pengukuran dan hasil uji coba, analisis hasil perancangan dan analisis hasil uji coba.

BAB 4 : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang desain awal antena mikrostrip, desain antena mikrostrip dengan teknologi *Multiple Input Multiple Output* (MIMO), perancangan antena dengan *patch hybrid* menggunakan teknologi *Multiple Input Multiple Output* (MIMO), hasil uji coba antena dengan menggunakan *patch hybrid* menggunakan slot dan

hasil uji coba antena *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) dengan *software WirelessMon* serta pembahasannya.

BAB 5 : KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bagian ini merupakan bab yang membahas mengenai kesimpulan serta saran yang berhubungan dengan hasil pengembangan antena *multiple input multiple output* (MIMO).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Afdhal., Elizar., 2016, *IEEE 802.11ac sebagai Standar Pertama untuk Gigabit Wireless LAN*, Jurnal Rekayasa Elektrika
- [2] Prima Agusta, Ramaska., Wijanto, Heroe., Syihabuddin, Budi., 2018, *Antena MIMO 4×4 Mikrostrip Persegi Panjang Hibrida Patch dan Slot untuk Access Point pada WI-FI 2,4 GHz dan 5,8 GHz*, e-Proceeding of Engineering : Vol.5,No.3
- [3] Akbar, Dziqru., Astuti, Rina Pudji., Nugroho, Bambang Setia., 2018, *Perancangan dan Analisis MIMO Mikrostrip patch rectangular dual band (6GHz dan 28 GHz) untuk komunikasi indoor*, Jurnal Tektrika, Vol.3, No.1
- [4] Setiawan, Arif Milano, 2018, *Perancangan Antena Mikrostrip Mimo Patch Persegi Panjang untuk Aplikasi WLAN*, Skripsi Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara, Medan
- [5] “Antena Mikrostrip”. 10 Oktober 2019. <http://casdoper.blogspot.com/2014/02/antena-mikrostrip.html>
- [6] Muharar, Rusdha., 2019, *Analisis Kinerja MIMO Masif dengan Teknik Precoding Maximum Ratio Transmission*, Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
- [7] Sharma, Sonia., C. C. Tripathi., Rishi, Rahul., 2017, *Impedance Matching Techniques for Microstrip Patch Antenna*, Indian Journal of Science and Technology
- [8] Affandi, Muhammad Afif., Nugraha, Eka Setia., Alia, Diana., 2018, *Perancangan Antena Mikrostrip Mimo2x2 Array Rectangular Patch Dengan I-Slot Untuk Aplikasi Lte*, Institut Teknologi Telkom Purwokerto
- [9] “Tutorial MIMO”. 15 Oktober 2019. <https://miqbal.staff.telkomuniversity.ac.id/tutorial-mimo/>
- [10] Austin Tambunana, Dr. Levy Olivia Nur,S.T, M.T., Budi Syihabuddin, S.T, M.T., 2017, *Perancangan dan Realisasi antena MIMO 8x8 array rectangular patch dengan U-Slot pada frekuensi 15 GHz*, e-Proceeding of Engineering : Vol.4, No.3

- [11] A S, Kevin Jones., Nur, Levy Olivia., Syihabuddin, Budi., 2017, *Perancangan antena array 1x2 rectangular patch dengan U-Slot untuk aplikasi 5G*, Teknik Telekomunikasi Universitas Telkom
- [12] P. Daud, D. Mahmudin, A.A. Fathnan, I.Syamsu, T.T.Estu, and Y.N.Wijayanto, 2016, *Inset-Fed U-Slotted Patch Antenna Array for 10GHz Radio-Over-Fiber Applications*, Research Center for Electronics and Telecommuication Indonesian Institute of Sciences (LIPI).
- [13] Li, Linsheng., Ali, Muhammad., Haneda, Katsuyuki., 2016, *Compact Dual-band Antenna Array for Massive MIMO*, Department of Radio Science and Engineering, Aalto University, Espoo, Finland
- [14] A S, Kevin Jones., Nur, Levy Olivia., Syihabuddin, Budi., 2017, *Perancangan Antena MIMO 2×2 Array Rectangular Patch dengan U-Slot untuk Aplikasi 5G*, Fakultas Teknik Elektro Universitas Telkom
- [15] Adipurnama, Angga Budiawan., Wijanto, Heroe., Wahyu, Yuyu., 2016, *Perancangan dan Realisasi antena MIMO 4X4 Mikrostrip Patch Persegi Panjang 5,2 Ghz untuk wifi 802.11N*, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung
- [16] Affandi, Muhammad Afif., Nugraha, Eka Setia., Alia, Diana., 2018, *Perancangan Antena Mikrostrip Mimo2x2 Array Rectangular Patch Dengan I-Slot Untuk Aplikasi Lte*, Institut Teknologi Telkom Purwokerto
- [17] Hajar, Ibnu., Yuwono, Tito., 2017, *Desain Antena Mikrostrip Patch Array 28 GHz Dengan CST Microwave Studio*, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia
- [18] Alam, Syah., Wibisana, I G N Yogi., Surjati., Indra., 2017, *Rancang Bangun Antena Mikrostrip Peripheral Slits Linear Array untuk Aplikasi Wi-Fi*, Jurnal Rekayasa Elektrika
- [19] Alam, Syah., 2016, *Perancangan Antena Mikrostrip Triangular untuk Aplikasi WiMAX pada Frekuensi 2.300 MHz dan 3.300 MHz*, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia
- [20] Balanis, Constatine A. 2005. *Antenna Theory Analysis and Design Third Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons, Ic.

- [21] Kuncara, Purba. “Pengertian Teknologi MIMO (Multiple Input and Multiple Output) Pada Radio WIFI”. 7 Oktober 2019. <https://purbakuncara.com/pengertian-teknologi-mimo-multiple-input-and-multiple-output-pada-radio-wifi/>
- [22] Putra, Rico Bernando., Alam, Syah., Surjati, Indra., 2018, *Perancangan Antena Mikrostrip Segiempat Peripheral Slit untuk Aplikasi 2,4Ghz dengan Metode Pencatuan Proximity Coupled*, Jurnal Nasional Teknik Elektro
- [23] Akbarrizky, Fauzan., Munadi, Rizal., Walidainy, Hubbul., 2017, *Perancangan Dan Pengujian Antena Microstrip Circular Patch Array Dua Elemen Untuk Aplikasi WiMAX 2,3 Ghz*, Universitas Syiah Kuala
- [24] “Tutorial MIMO”. 15 Oktober 2019. <https://miqbal.staff.telkomuniversity.ac.id/tutorial-mimo/>
- [25] Purnomo, Purnomo., Syihabuddin, Budi., 2015, *Analisis Karakteristik Multiband dan Wideband Pada Antena Fraktal Kombinasi Terhadap Iterasi dengan Bentuk Geometri yang Berbeda*, Telkom University Bandung
- [26] Putra Priyatama, Primananda Andhika., Wijanto, Heroe., Wahyu, Yuyu., 2016, *Perancangan dan Realisasi Antena Mikrostrip Slot Rectangular untuk WI-FI 2.4 GHz dan 5.68 GHz*, Universitas Telkom
- [27] R Jothi, Chitra., V, Nagarajan., 2017, *Design of Double L-Slot Microstrip Patch Antenna for WiMAX and WLAN Application*, Adhiparasakthi Engineering College, Melmaruvathur
- [28] “Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Nomor 1 Tahun 2019 tanggal 24 April 2019“. 20 Oktober 2019. https://jdih.kominfo.go.id/produk_hukum/view/id/676/t/peraturan+menteri+komunikasi+dan+informatika+nomor+1+tahun+2019+tanggal+24+april+2019