

**SKRIPSI**

**PERANCANGAN ANTENA MIKROSTRIP *RECTANGULAR*  
UNTUK EN-DC (*E-UTRAN NEW RADIO – DUAL  
CONNECTIVITY*)**

***DESIGN OF THE RECTANGULAR MICROSTRIP ANTENNA  
FOR EN-DC (E-UTRAN NEW RADIO – DUAL CONNECTIVITY)***



Disusun oleh

**AMILUDIN  
20101216**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK TELEKOMUNIKASI  
FAKULTAS TEKNIK TELEKOMUNIKASI DAN ELEKTRO  
INSTITUT TEKNOLOGI TELKOM PURWOKERTO**

**2022**

**SKRIPSI**

**PERANCANGAN ANTENA MIKROSTRIP *RECTANGULAR*  
UNTUK EN-DC (*E-UTRAN NEW RADIO – DUAL  
CONNECTIVITY*)**

***DESIGN OF THE RECTANGULAR MICROSTRIP ANTENNA  
FOR EN-DC (E-UTRAN NEW RADIO – DUAL CONNECTIVITY)***



Disusun oleh

**AMILUDIN  
20101216**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK TELEKOMUNIKASI  
FAKULTAS TEKNIK TELEKOMUNIKASI DAN ELEKTRO  
INSTITUT TEKNOLOGI TELKOM PURWOKERTO**

**2022**

**PERANCANGAN ANTENA MIKROSTRIP *RECTANGULAR*  
UNTUK EN-DC (*E-UTRAN NEW RADIO – DUAL  
CONNECTIVITY*)**

***DESIGN OF THE RECTANGULAR MICROSTRIP ANTENNA  
FOR EN-DC (E-UTRAN NEW RADIO – DUAL CONNECTIVITY)***

**Skripsi ini digunakan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik (S.T.)  
Di Institut Teknologi Telkom Purwokerto  
2022**

Disusun oleh

**AMILUDIN  
20101216**

**DOSEN PEMBIMBING**

**Eka Setia Nugraha, S.T., M.T.  
Petrus Kerowe Goran, S.T., M.T.**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK TELEKOMUNIKASI  
FAKULTAS TEKNIK TELEKOMUNIKASI DAN ELEKTRO  
INSTITUT TEKNOLOGI TELKOM PURWOKERTO**

**2022**

**HALAMAN PENGESAHAN**  
**PERANCANGAN ANTENA MIKROSTRIP RECTANGULAR**  
**UNTUK EN-DC (E-UTRAN NEW RADIO – DUAL**  
**CONNECTIVITY)**

**DESIGN OF THE RECTANGULAR MICROSTRIP ANTENNA**  
**FOR EN-DC (E-UTRAN NEW RADIO – DUAL CONNECTIVITY)**

Disusun oleh  
**AMILUDIN**  
20101216

Telah dipertanggungjawabkan dihadapan Tim Penguji pada tanggal 1 september 2022

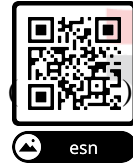
**Susunan Tim Penguji**

Pembimbing Utama : Eka Setia Nugraha, S.T., M.T.  
NIDN. 0629018602

Pembimbing Pendamping : Petrus Kerowe Goran, S.T., M.T.  
NIDN. 0620018502

Penguji 1 : Muhammad Panji Kusuma Praja, S.T., M.T. ( )

Penguji 2 : Shinta Romadhona, S.T., M.T.  
NIDN. 0611068402



*Pengusung*



**Mengetahui,**

Ketua Program Studi S1 Teknik Telekomunikasi  
Institut Teknologi Telkom Purwokerto



Prasetyo Yuliantoro, S.T., M.Eng.  
NIDN. 0620079201

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya, **AMILUDIN** menyatakan bahwa skripsi dengan judul “**Perancangan Antena Mikrostrip Rectangular Untuk EN-DC (E-UTRAN New Radio – Dual Connectivity)**” adalah benar-benar karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan kecuali melalui pengutipan sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku. Saya bersedia menanggung risiko ataupun sanksi yang dijatuhkan kepada saya apabila ditemukan pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam skripsi ini.

Purwokerto, 2 Agustus 2022

Yang menyatakan,



(Amiludin)

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan kasih dan sayang-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Perancangan Antena Mikrostrip *Rectangular* Untuk EN-DC (E-UTRAN *New Radio – Dual Connectivity*)**”.

Maksud dari penyusunan skripsi ini adalah untuk memenuhi salah satu syarat dalam menempuh ujian sarjana Teknik Telekomunikasi pada Fakultas Teknik Telekomunikasi dan Elektro Institut Teknologi Telkom Purwokerto.

Dalam penyusunan skripsi ini, banyak pihak yang sangat membantu penulis dalam berbagai hal. Oleh karena itu, penulis sampaikan rasa terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Bapak Dr. Arfianto Fahmi, S.T., M.T., IPM. selaku Rektor Institut Teknologi Telkom Purwokerto.
2. Bapak Prasetyo Yuliantoro, S.T., M.T. ketua Program Studi S1 Teknik Telekomunikasi.
3. Bapak Eka Setia Nugraha, S.T., M.T. selaku pembimbing I.
4. Bapak Petrus Kerowe Goran, S.T., M.T. selaku pembimbing II.
5. Seluruh dosen, staf dan karyawan Program studi S1 Teknik Telekomunikasi Institut Teknologi Telkom Purwokerto.
6. Kedua orang tua dan istri saya tercinta Andi Fahriani Aristia
7. *My Best friend* yang tergabung dalam grup Whatsapp “Pejuang Sarjana” terutama Angga Pratama (20101176)
8. Seluruh teman-teman alih jenjang 2020 Institut Teknologi Telkom Purwokerto
9. Seluruh karyawan Xiaomi Technology Indonesia

Dalam menyusun skripsi ini penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyajian tulisan dan untuk itu saran dan kritik pembaca untuk kesempurnaan skripsi ini sangat diperlukan. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat dan menambah ilmu pengetahuan pembaca.

Purwokerto, 2022

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xv</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Manfaat.....	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
<b>BAB 2 DASAR TEORI.....</b>	<b>6</b>
2.1 Tinjauan Pustaka .....	6
2.2 Dasar Teori.....	8
2.2.1 Teknologi 5G .....	8
2.2.2 <i>Beamforming</i> .....	9
2.2.3 Antena .....	11
2.2.4 Antena Mikrostrip.....	11
2.2.5 Antena Mikrostrip <i>Rectangular Patch</i> .....	13
2.2.6 Antena <i>Array</i> .....	14
2.2.7 MIMO ( <i>Multiple Input Multiple Output</i> ).....	16
2.2.8 Parameter Antena.....	17
2.2.9 Teknik Pencatu Mikrostrip <i>Line</i> .....	23
2.2.10 Metode <i>Butler Matrix</i> .....	25
2.2.11 Metode <i>Bandwidth Enhancement</i> .....	29
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN.....</b>	<b>31</b>
3.1 ALAT DAN BAHAN .....	31

3.1.1 Data Perhitungan.....	31
3.1.2 Perangkat Keras ( <i>Hardware</i> ) .....	31
3.1.2 Perangkat Lunak ( <i>Software</i> ).....	31
3.2 ALUR PENELITIAN.....	31
3.3 RANCANGAN SISTEM .....	33
3.3.1 Spesifikasi Parameter Antena .....	33
3.3.2 Spesifikasi Bahan Antena .....	34
3.3.3 Perhitungan Dimensi Antena .....	35
3.3.4 Perancangan Antena.....	39
3.3.4.1 Perancangan Antena Mikrostrip <i>Single Patch</i> .....	40
3.3.4.2 Perancangan Antena Mikrostrip <i>Single Patch</i> Dengan <i>Inset Feed</i> .....	43
3.3.4.3 Perancangan Antena Mikrostrip <i>Single Patch</i> Dengan Metode <i>Bandwidth Enhancement</i> .....	47
3.3.4.4 Perancangan Antena Mikrostrip <i>Array 1x2</i> .....	51
3.3.4.5 Perancangan Antena Mikrostrip MIMO 4x4.....	54
3.3.5 Spesifikasi Parameter <i>Butler Matrix 4x4</i> .....	63
3.3.6 Spesifikasi Bahan <i>Butler Matrix 4x4</i> .....	65
3.3.7 Perhitungan Dimensi <i>Butler Matrix 4x4</i> .....	65
3.3.7.1 Perhitungan Dimensi Saluran .....	65
3.3.7.2 Perhitungan <i>Phase Shifter</i> .....	66
3.3.8 Perancangan <i>Butler Matrix 4x4</i> .....	67
3.3.8.1 Perancangan dan Simulasi <i>Hybrid Coupler 90<sup>0</sup></i> .....	67
3.3.8.2 Perancangan dan Simulasi <i>Phase Shifter 45<sup>0</sup></i> .....	70
3.3.8.3 Perancangan dan Simulasi <i>Crossover</i> .....	73
3.3.8.4 Perancangan dan Simulasi <i>Butler Matrix 4x4</i> Skenario 1 .....	76
3.3.8.5 Perancangan dan Simulasi <i>Butler Matrix 4x4</i> Skenario 2 .....	84
3.3.9 Perancangan Antena MIMO 4x4 dengan Saluran <i>Butler Matrix 4x4</i> .....	93
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>105</b>
4.1 PENGARUH ANTENA <i>ARRAY 1x2</i> DAN ANTENA MIMO 4x4 TERHADAP PARAMETER ANTENA.....	105
4.2 PERBEDAAN HASIL SIMULASI <i>BUTLER MATRIX 4x4</i> SKENARIO 1 DAN SKENARIO 2 .....	108
4.3 PERBEDAAN PERANCANGAN ANTENA MIMO 4x4 SEBELUM DAN SESUDAH PENAMBAHAN <i>BUTLER MATRIX 4x4</i> .....	112
4.4 PERBEDAAN HASIL SIMULASI ANTENA MIMO 4x4 SEBELUM DAN SESUDAH PENAMBAHAN <i>BUTLER MATRIX 4x4</i> .....	114
4.4.1 <i>Return Loss</i> .....	114
4.4.2 <i>Mutual Coupling</i> .....	115
4.4.3 Koefisien Korelasi.....	116



4.4.4 VSWR ( <i>Voltage Standing Wave Ratio</i> ) .....	117
4.4.5 <i>Gain</i> .....	118
4.4.6 Pola Radiasi.....	121
4.4.7 <i>Bandwidth</i> .....	124
4.4.8 Perbandingan Hasil Simulasi Antena MIMO 4x4 sebelum dan sesudah Penggunaan Saluran <i>Butler Matrix</i> 4x4 .....	125
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>130</b>
5.1 KESIMPULAN .....	130
5.2 SARAN .....	132
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>133</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>137</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Analog Beamforming</i> [6].....	10
Gambar 2.2 <i>Digital Beamforming</i> [6].....	10
Gambar 2.3 Antena Sebagai Perangkat Transmisi [16].....	11
Gambar 2.4 Struktur Antena Mikrostrip [19] .....	12
Gambar 2.5 Bentuk Elemen Antena Mikrostrip [16].....	12
Gambar 2.6 Geometri 2 Elemen <i>Array</i> [11].....	15
Gambar 2.7 Antena MIMO [22] .....	16
Gambar 2.8 Polarisasi <i>Linear</i> dengan Arah Vertikal [24] .....	18
Gambar 2.9 Polarisasi <i>Elips</i> [24] .....	18
Gambar 2.10 Polarisasi <i>Circular</i> atau Melingkar [24] .....	19
Gambar 2.11 Parameter Pola Radiasi Antena .....	22
Gambar 2.12 <i>Microstrip Line</i> [16].....	23
Gambar 2.13 Blok Diagram <i>Butler Matrix</i> [35].....	26
Gambar 2.14 <i>Quadrature Coupler</i> atau <i>Hybrid Coupler</i> [11] .....	27
Gambar 2.15 <i>Crossover Couplers</i> [37] .....	28
Gambar 2.16 $45^\circ$ <i>Phase Shifter</i> [36] .....	29
Gambar 2.17 Bentuk Antena Mikrostrip slot [41] .....	29
Gambar 2.18 DGS ( <i>Defected Ground Structure</i> ) Antena Mikrostrip .....	30
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Alur Penelitian.....	32
Gambar 3.2 <i>Flowchart</i> Alur Perancangan .....	33
Gambar 3.3 Perancangan Antena Mikrostrip <i>Single Patch</i> .....	41
Gambar 3.4 Nilai <i>Return Loss</i> Antena <i>Single Patch</i> .....	41
Gambar 3.5 Nilai VSWR Antena <i>Single Patch</i> .....	42
Gambar 3.6 Nilai <i>Gain</i> Antena <i>Single Patch</i> (a) 2,1 GHz (b) 2,375 GHz.....	42
Gambar 3.7 Pola Radiasi Antena <i>Single Patch</i> (a) 2,1 GHz (b) 2,375 GHz.....	43
Gambar 3.8 Perancangan Antena Mikrostrip <i>Single Patch</i> dengan <i>Inset Feed</i> ....	44
Gambar 3.9 Nilai <i>Return Loss</i> Antena <i>Single Patch</i> Dengan <i>Inset Feed</i> .....	45
Gambar 3.10 Nilai VSWR Antena <i>Single Patch</i> Dengan <i>Inset Feed</i> .....	45

Gambar 3.11 Nilai <i>Gain</i> Antena <i>Single Patch</i> Dengan <i>Inset Feed</i> (a) 2,1 GHz (b) 2,375 GHz .....	46
Gambar 3.12 Pola Radiasi Antena <i>Single Patch</i> Dengan <i>Inset Feed</i> (a) 2,1 GHz (b) 2,375 GHz .....	46
Gambar 3.13 Perancangan Antena Mikrostrip <i>Single Patch</i> Dengan Metode <i>Bandwidth Enhancement</i> (a) tampak depan (b) tampak belakang .....	48
Gambar 3.14 Nilai <i>Return Loss</i> Antena <i>Single Patch</i> Dengan Metode <i>Bandwidth Enhancement</i> .....	49
Gambar 3.15 Nilai VSWR Antena <i>Single Patch</i> Dengan Metode <i>Bandwidth Enhancement</i> .....	49
Gambar 3.16 Nilai <i>Gain</i> Antena <i>Single Patch</i> Dengan Metode <i>Bandwidth Enhancement</i> (a) 2,1 GHz dan (b) 2,375 GHz .....	50
Gambar 3.17 Pola Radiasi <i>Single Patch</i> Dengan Metode <i>Bandwidth Enhancement</i> (a) 2,1 GHz dan (b) 2,375 GHz.....	50
Gambar 3.18 Perancangan Antena Mikrostrip <i>Array 1x2</i> (a) tampak depan (b) tampak belakang.....	51
Gambar 3.19 Nilai <i>Return Loss</i> Antena Mikrostrip <i>Array 1x2</i> .....	52
Gambar 3.20 Nilai VSWR Antena Mikrostrip <i>Array 1x2</i> .....	53
Gambar 3.21 Nilai <i>Gain</i> Antena Mikrostrip <i>Array 1x2</i> (a) 2,1 GHz (b) 2,375 GHz .....	53
Gambar 3.22 Pola Radiasi Antena Mikrostrip <i>Array 1x2</i> (a) 2,1 GHz (b) 2,375 GHz .....	54
Gambar 3.23 Perancangan Antena Mikrostrip MIMO 4x4 (a) tampak depan (b) tampak belakang.....	55
Gambar 3.24 Nilai <i>Return Loss</i> Antena Mikrostrip MIMO 4x4.....	55
Gambar 3.25 Nilai VSWR Antena Mikrostrip MIMO 4x4 .....	56
Gambar 3.26 Nilai <i>Mutual Coupling</i> Antena Mikrostrip MIMO 4x4 .....	56
Gambar 3.27 S Parameter Antara <i>Port 1</i> dan <i>Port 2</i> .....	57
Gambar 3.28 S Parameter Antara <i>Port 2</i> dan <i>Port 3</i> .....	58
Gambar 3.29 S Parameter Antara <i>Port 3</i> dan <i>Port 4</i> .....	59
Gambar 3.30 S Parameter Antara <i>Port 4</i> dan <i>Port 1</i> .....	60
Gambar 3.31 Nilai <i>Gain</i> Antena MIMO 4x4 Frekuensi 2,1 GHz (a) <i>port 1</i> , (b) <i>port 1</i> , (c) <i>port 3</i> , (d) <i>port 4</i> .....	61

Gambar 3.32 Nilai <i>Gain</i> Antena MIMO 4x4 Frekuensi 2,375 GHz (a) <i>port</i> 1, (b) <i>port</i> 1, (c) <i>port</i> 3, (d) <i>port</i> 4.....	61
Gambar 3.33 Pola Radiasi Antena MIMO 4x4 Frekuensi 2,1 GHz (a) <i>port</i> 1, (b) <i>port</i> 1, (c) <i>port</i> 3, (d) <i>port</i> 4.....	62
Gambar 3.34 Pola Radiasi Antena MIMO 4x4 Frekuensi 2,375 GHz (a) <i>port</i> 1, (b) <i>port</i> 1, (c) <i>port</i> 3, (d) <i>port</i> 4.....	62
Gambar 3.35 Desain <i>Butler Matrix</i> 4x4.....	67
Gambar 3.36 Desain <i>Hybrid Coupler</i> 90 <sup>0</sup> .....	68
Gambar 3.37 (a) Nilai S-Parameter $S_{11}$ , $S_{21}$ , $S_{31}$ , $S_{41}$ (b) Fasa Keluaran <i>Hybrid Coupler</i> 90 <sup>0</sup> .....	70
Gambar 3.38 Nilai VSWR pada <i>Hybrid Coupler</i> 90 <sup>0</sup> .....	70
Gambar 3.39 Desain <i>Phase Shifter</i> 45 <sup>0</sup> .....	71
Gambar 3.40 (a) Nilai S-Parameter $S_{11}$ dan $S_{21}$ (b) Fasa Keluaran <i>Phase Shifter</i> 45 <sup>0</sup> .....	72
Gambar 3.41 Nilai VSWR <i>Phase Shifter</i> 45 <sup>0</sup> .....	73
Gambar 3.42 Desain <i>Crossover</i> .....	74
Gambar 3.43 (a) Nilai S-Parameter $S_{11}$ , $S_{21}$ , $S_{31}$ , $S_{41}$ (b) Fasa Keluaran <i>Crossover</i> .....	75
Gambar 3.44 Nilai VSWR Pada <i>Crossover</i> .....	76
Gambar 3.45 Desain <i>Butler Matrix</i> 4x4 Skenario 1.....	76
Gambar 3.46 Nilai <i>Return Loss</i> <i>Butler Matrix</i> 4x4 Skenario 1 (a) <i>Port</i> Input 1-4 (b) <i>Port</i> Output 5-8.....	77
Gambar 3.47 Nilai <i>Insolation Loss</i> <i>Butler Matrix</i> 4x4 Skenario 1 pada semua <i>port</i> (a), (b), dan (c).....	79
Gambar 3.48 Nilai <i>Insertion Loss</i> <i>Butler Matrix</i> 4x4 Skenario 1 (a) <i>Port</i> 1, (b) <i>Port</i> 2, (c) <i>Port</i> 3 dan (d) <i>Port</i> 4.....	80
Gambar 3.49 Fasa Keluaran <i>Butler Matrix</i> 4x4 Skenario 1 (a) <i>Port</i> 1, (b) <i>Port</i> 2, (c) <i>Port</i> 3 dan (d) <i>Port</i> 4.....	82
Gambar 3.50 Nilai VSWR <i>Butler Matrix</i> 4x4 Skenario 1.....	84
Gambar 3.51 Desain <i>Butler Matrix</i> 4x4 Skenario 2.....	85
Gambar 3.52 Nilai <i>Return Loss</i> <i>Butler Matrix</i> 4x4 Skenario 2 (a) <i>Port</i> Input 1-4 (b) <i>Port</i> Output 5-8.....	86

Gambar 3.53 Nilai <i>Insolation Loss Butler Matrix</i> 4x4 Skenario 2 pada semua <i>port</i> (a), (b), dan (c) .....	87
Gambar 3.54 Nilai <i>Insertion Loss Butler Matrix</i> 4x4 Skenario 2 (a) <i>Port</i> 1, (b) <i>Port</i> 2, (c) <i>Port</i> 3 dan (d) <i>Port</i> 4.....	89
Gambar 3.55 Fasa Keluaran <i>Butler Matrix</i> 4x4 Skenario 1 (a) <i>Port</i> 1, (b) <i>Port</i> 2, (c) <i>Port</i> 3 dan (d) <i>Port</i> 4 .....	90
Gambar 3.56 Nilai VSWR <i>Butler Matrix</i> 4x4 Skenario 2 .....	92
Gambar 3.57 Antena MIMO 4x4 dengan Saluran <i>Butler Matrix</i> 4x4 (a) tampak depan (b) tampak belakang .....	93
Gambar 3.58 Nilai <i>Return Loss</i> Antena MIMO 4x4 dengan Saluran <i>Butler Matrix</i> 4x4 Frekuensi 2,1 GHz dan 2,375 GHz .....	95
Gambar 3.59 Nilai <i>Mutual Coupling</i> Antena MIMO 4x4 dengan Saluran <i>Butler Matrix</i> 4x4 Frekuensi 2,1 GHz dan 2,375 GHz .....	96
Gambar 3.60 Nilai VSWR Antena MIMO 4x4 dengan Saluran <i>Butler Matrix</i> 4x4 Frekuensi 2,1 GHz dan 2,375 GHz .....	100
Gambar 3.61 Nilai <i>Gain</i> Antena MIMO 4x4 dengan Saluran <i>Butler Matrix</i> 4x4 Frekuensi 2,1 GHz (a) <i>port</i> 1 (b) <i>port</i> 2 (c) <i>port</i> 3 (d) <i>port</i> 4.....	101
Gambar 3.62 Nilai <i>Gain</i> Antena MIMO 4x4 dengan Saluran <i>Butler Matrix</i> 4x4 Frekuensi 2,375 GHz (a) <i>port</i> 1 (b) <i>port</i> 2 (c) <i>port</i> 3 (d) <i>port</i> 4.....	102
Gambar 3.63 Pola Radiasi Antena MIMO 4x4 dengan Saluran <i>Butler Matrix</i> 4x4 Frekuensi 2,1 GHz (a) <i>port</i> 1 (b) <i>port</i> 2 (c) <i>port</i> 3 (d) <i>port</i> 4.....	102
Gambar 3.64 Pola Radiasi Antena MIMO 4x4 dengan Saluran <i>Butler Matrix</i> 4x4 Frekuensi 2,374 GHz (a) <i>port</i> 1 (b) <i>port</i> 2 (c) <i>port</i> 3 (d) <i>port</i> 4.....	103
Gambar 4.1 Antena <i>Array</i> 1x2 (a) tampak depan (b) tampak belakang; Antena MIMO 4x4 (a) tampak depan (b) tampak belakang.....	106
Gambar 4.2 Rancangan <i>Butler Matrix</i> 4x4 (a) Skenario 1 (b) Skenario 2.....	109
Gambar 4.3 (a) Depan (b) Belakang Dimensi Antena MIMO 4x4 Sebelum Menggunakan <i>Butler Matrix</i> 4x4, (c) Depan (d) Belakang Dimensi Antena MIMO 4x4 Sesudah Menggunakan <i>Butler Matrix</i> 4x4.....	113
Gambar 4.4 <i>Return Loss</i> Antena MIMO 4x4 Sebelum dan Sesudah Menggunakan <i>Butler Matrix</i> 4x4.....	114
Gambar 4.5 <i>Mutual Coupling</i> Antena MIMO 4x4 (a) Sebelum Menggunakan <i>Butler Matrix</i> 4x4 (b) dan Sesudah Menggunakan <i>Butler Matrix</i> 4x4 .....	116
Gambar 4.6 VSWR Antena MIMO 4x4 Sebelum dan Sesudah Menggunakan <i>Butler Matrix</i> 4x4.....	118

Gambar 4.7 *Gain* Antena MIMO 4x4 Tanpa Menggunakan *Butler Matrix* 4x4 Frekuensi 2,1 GHz (a) Antena 1 (b) Antena 2 (c) Antena 3 (d) Antena 4 .....119

Gambar 4.8 *Gain* Antena MIMO 4x4 Tanpa Menggunakan *Butler Matrix* 4x4 Frekuensi 2,375 GHz (a) Antena 1 (b) Antena 2 (c) Antena 3 (d) Antena 4 .....120

Gambar 4.9 *Gain* Antena MIMO 4x4 Dengan Menggunakan *Butler Matrix* 4x4 Frekuensi 2,1 GHz (a) Antena 1 (b) Antena 2 (c) Antena 3 (d) Antena 4 .....120

Gambar 4.10 *Gain* Antena MIMO 4x4 Dengan Menggunakan *Butler Matrix* 4x4 Frekuensi 2,375 GHz (a) Antena 1 (b) Antena 2 (c) Antena 3 (d) Antena 4 .....121

Gambar 4.11 Pola Radiasi Antena MIMO 4x4 Tanpa Menggunakan *Butler Matrix* 4x4 Frekuensi 2,1 GHz (a) Antena 1 (b) Antena 2 (c) Antena 3 (d) Antena 4 ...122

Gambar 4.12 Pola Radiasi Antena MIMO 4x4 Tanpa Menggunakan *Butler Matrix* 4x4 Frekuensi 2,375 GHz (a) Antena 1 (b)Antena 2 (c)Antena 3 (d)Antena 4 ..122

Gambar 4.13 Pola Radiasi Antena MIMO 4x4 dengan Menggunakan *Butler Matrix* 4x4 Frekuensi 2,1 GHz (a) Antena 1 (b) Antena 2 (c) Antena 3 (d) Antena 4 ...123

Gambar 4.14 Pola Radiasi Antena MIMO 4x4 dengan Menggunakan *Butler Matrix* 4x4 Frekuensi 2,375 GHz (a) Antena 1 (b)Antena 2 (c)Antena 3 (d)Antena 4 ..123

Gambar 4.15 *Bandwidth* Antena MIMO 4x4 Sebelum Menggunakan *Butler Matrix* 4x4.....124

Gambar 4.16 *Bandwidth* Antena MIMO 4x4 Sesudah Menggunakan *Butler Matrix* 4x4.....125

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hasil Pergeseran Fasa Ideal antar Port Berbeda [36].....	26
Tabel 3.1 Spesifikasi Parameter Antena .....	34
Tabel 3.2 Spesifikasi Bahan Antena .....	35
Tabel 3.3 Nilai Dimensi Antena Berdasarkan Perhitungan .....	39
Tabel 3.4 Perbandingan Antena <i>Single Patch</i> Sebelum dan Sesudah Optimasi ...	43
Tabel 3.5 Perbandingan Antena <i>Single Patch</i> Dengan <i>Inset Feed</i> Sebelum dan Sesudah Optimasi.....	47
Tabel 3.6 Perbandingan Antena <i>Single Patch</i> Dengan Metode <i>Bandwidth Enhancement</i> Sebelum dan Sesudah Optimasi .....	51
Tabel 3.7 Perbandingan Mikrostrip Array 1x2 Sebelum dan Sesudah Optimasi .	54
Tabel 3.8 Hasil Simulasi Antena MIMO 4x4 Pada Frekuensi 2,1 GHz .....	63
Tabel 3.9 Hasil Simulasi Antena MIMO 4x4 Pada Frekuensi 2,375 GHz .....	63
Tabel 3.10 Spesifikasi Parameter <i>Butler Matrix</i> 4x4 .....	64
Tabel 3.11 Spesifikasi Elemen Penyusun <i>Butler Matrix</i> 4x4 .....	64
Tabel 3.12 Spesifikasi Bahan <i>Butler Matrix</i> 4x4 .....	65
Tabel 3.13 Hasil Perhitungan Ukuran <i>Hybrid Coupler</i> 90 <sup>0</sup> .....	68
Tabel 3.14 Perubahan Ukuran Pada <i>Hybrid Coupler</i> 90 <sup>0</sup> .....	69
Tabel 3.15 Hasil Simulasi Pada <i>Hybrid Coupler</i> 90 <sup>0</sup> .....	70
Tabel 3.16 Hasil Perhitungan Ukuran <i>Phase Shifter</i> 45 <sup>0</sup> .....	71
Tabel 3.17 Perubahan Ukuran Pada <i>Phase Shifter</i> 45 <sup>0</sup> .....	72
Tabel 3.18 Hasil Simulasi Pada <i>Phase Shifter</i> 45 <sup>0</sup> .....	73
Tabel 3.19 Hasil Perhitungan Ukuran <i>Crossover</i> .....	74
Tabel 3.20 Perubahan Ukuran Pada <i>Crossover</i> .....	74
Tabel 3.21 Hasil Simulasi Pada <i>Crossover</i> .....	76
Tabel 3.22 Hasil <i>Return Loss</i> pada <i>Butler Matrix</i> 4x4 Skenario 1 .....	78
Tabel 3.23 Hasil <i>Isolation Loss</i> pada <i>Butler Matrix</i> 4x4 Skenario 1 .....	79
Tabel 3.24 Hasil <i>Insertion Loss</i> pada <i>Butler Matrix</i> 4x4 Skenario 1 Frekuensi 2,375 GHz .....	81
Tabel 3.25 Fasa Keluaran <i>Butler Matrix</i> 4x4 Skenario 1 Frekuensi 2,375 GHz ..	83

Tabel 3.26 Beda Fasa <i>Butler Matrix</i> 4x4 Skenario 1 Frekuensi 2,375 GHz.....	83
Tabel 3.27 Hasil VSWR <i>Butler Matrix</i> 4x4 Skenario 1 Frekuensi 2,375 GHz ....	84
Tabel 3.28 Hasil <i>Return Loss</i> pada <i>Butler Matrix</i> 4x4 Skenario 2 .....	86
Tabel 3.29 Hasil <i>Isolation Loss</i> pada <i>Butler Matrix</i> 4x4 Skenario 2 .....	88
Tabel 3.30 Hasil <i>Insertion Loss</i> pada <i>Butler Matrix</i> 4x4 Skenario 2 Frekuensi 2,375 GHz .....	89
Tabel 3.31 Fasa Keluaran <i>Butler Matrix</i> 4x4 Skenario 2 Frekuensi 2,375 GHz ..	91
Tabel 3.32 Beda Fasa <i>Butler Matrix</i> 4x4 Skenario 2 Frekuensi 2,375 GHz.....	91
Tabel 3.33 Hasil VSWR <i>Butler Matrix</i> 4x4 Skenario 2 Frekuensi 2,375 GHz ....	93
Tabel 3.34 Nilai Dimensi Antena MIMO 4x4 dengan Saluran <i>Butler Matrix</i> 4x4 .....	94
Tabel 3.35 Hasil Simulasi Antena MIMO 4x4 dengan Saluran <i>Butler Matrix</i> 4x4 Pada Frekuensi 2,1 GHz.....	103
Tabel 3.36 Hasil Simulasi Antena MIMO 4x4 dengan Saluran <i>Butler Matrix</i> 4x4 Pada Frekuensi 2,375 GHz.....	104
Tabel 4.1 Hasil Simulasi Antena <i>Array</i> 1x2 Pada Frekuensi 2,1 GHz dan 2,375 GHz .....	107
Tabel 4.2 Hasil Simulasi Antena MIMO 4x4 Pada Frekuensi 2,1 GHz .....	107
Tabel 4.3 Hasil Simulasi Antena MIMO 4x4 Pada Frekuensi 2,375 GHz .....	107
Tabel 4.4 Hasil Simulasi Rancangan <i>Butler Matrix</i> 4x4 Skenario 1 .....	110
Tabel 4.5 Hasil Simulasi Rancangan <i>Butler Matrix</i> 4x4 Skenario 2 .....	111
Tabel 4.6 Koefisien Korelasi Antena MIMO 4x4 Sebelum dan Sesudah Menggunakan <i>Butler Matrix</i> 4x4 Frekuensi 2,1 GHz.....	117
Tabel 4.7 Koefisien Korelasi Antena MIMO 4x4 Sebelum dan Sesudah Menggunakan <i>Butler Matrix</i> 4x4 Frekuensi 2,375 GHz.....	117
Tabel 4.8 Hasil Simulasi Antena MIMO 4x4 Sebelum Menggunakan <i>Butler Matrix</i> 4x4 Frekuensi 2,1 GHz .....	126
Tabel 4.9 Hasil Simulasi Antena MIMO 4x4 Sebelum Menggunakan <i>Butler Matrix</i> 4x4 Frekuensi 2,375 GHz .....	126
Tabel 4.10 Hasil Simulasi Antena MIMO 4x4 dengan Saluran <i>Butler Matrix</i> 4x4 Frekuensi 2,1 GHz .....	127
Tabel 4.11 Hasil Simulasi Antena MIMO 4x4 dengan Saluran <i>Butler Matrix</i> 4x4 Frekuensi 2,375 GHz .....	127