

DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	x
ABSTRAK	xii

BAB I	PENDAHULUAN	
	1.1 Latar Belakang	1
	1.2 Rumusan Masalah	2
	1.3 Batasan Masalah	3
	1.4 Tujuan	3
	1.5 Sistematika Penulisan	3

BAB II	TEORI DASAR	
	2.1 Parameter Dasar Antena	6
	2.1.1 Pola Radiasi	6
	2.1.1.1 Pola <i>Isotropic</i> , <i>Directional</i> , dan <i>Omnidirectional</i>	6
	2.1.1.2 <i>Lobe</i> Pola Radiasi	6
	2.1.1.3 Daerah Medan Radiasi	8
	2.1.1.4 Intensitas Radiasi	9
	2.1.2 Directivity (keterarahan)	10
	2.1.3 <i>Gain</i> (penguatan)	11
	2.1.4 Efisiensi Antena	13
	2.1.5 <i>Return Loss</i>	14
	2.1.6 <i>VSWR</i>	15
	2.1.7 <i>Bandwidth</i>	15
	2.1.8 Polarisasi	16
	2.1.8.1 Polarisasi Linier	17
	2.1.8.2 Polarisasi Lingkaran	17



2.1.8.3	Polarisasi Elip	18
2.1.9	Impedansi Masukan	19
2.2	Antena <i>Microstrip</i>	21
2.2.1	Teknik Pencatuan Antena Mikrostrip	22
2.2.1.1	<i>Microstrip Line Feed</i>	23
2.2.1.2	<i>Coaxial Feed</i>	23
2.2.1.3	<i>Aperture Coupling</i>	24
2.2.1.4	<i>Proximity Coupling</i>	25
2.3	Antena <i>Array</i>	25
2.3.1	Antena <i>Array</i> Empat Elemen	26
2.4	Perancangan Antena Mikrostrip <i>Rectangular</i>	30
2.4.1	Spesifikasi Substrat dan Bahan Konduktor	30
2.4.2	Perancangan Dimensi Elemen Peradiasi	31
2.4.2.1	Lebar Elemen Peradiasi (W)	32
2.4.2.2	Panjang Elemen Peradiasi (L)	33
2.4.2.3	Impedansi Masukan	33
2.4.3	Penyesuaian Impedansi (<i>Matching Impedance</i>)	34
2.4.3.1	Dimensi Saluran Transformer	34
2.4.4	Jarak Antar Elemen	35
2.5	Sistem Antena <i>Smart</i>	35
2.5.1	<i>Switched Beam</i>	37
2.5.2	Arah Datangnya Sinyal (<i>Direct of Arrival/DoA</i>)	38
2.5.3	<i>Butler Matrix</i>	40
2.5.4	Perancangan <i>Hybrid 90⁰</i>	41
2.5.5	Perancangan <i>Crossover</i>	42
2.5.6	Perancangan Penggeser Fasa	43

BAB III METODOLOGI

3.1	Studi Literatur dan Pengumpulan Data	44
3.2	Desain, Simulasi, dan Optimasi	44
3.2.1	Perancangan Elemen Peradiasi	45
3.2.2	Perancangan <i>Hybrid 90⁰</i>	48

3.2.3	Perancangan <i>Crossover</i>	50
3.2.4	Perancangan <i>Phase Shifter</i>	53
3.2.5	Gambaran Umum Perancangan Antena dan Komponen-Komponennya	55
3.3	Realisasi	56
3.4	Pengujian	56
3.5	Pengambilan Kesimpulan	56

BAB IV PERANCANGAN ANTENA *RECTANGULAR PATCH ARRAY SWITCHED BEAM* PADA RANGE FREKUENSI KERJA 2.400 - 2.483,5 MHz

4.1	Pemilihan Bahan Peradiasi dan Substrat	57
4.2	Perancangan Elemen Peradiasi	58
4.2.1	Perancangan Saluran <i>Transformer</i>	59
4.2.2	Simulasi Susunan Empat Buah Antena Peradiasi	63
4.3	Perancangan <i>Hybrid 90⁰</i>	64
4.4	Perancangan <i>Crossover</i>	68
4.4.1	<i>Crossover</i> Bawah	69
4.4.2	<i>Crossover</i> Atas	70
4.5	Perancangan <i>Phase Shifter</i>	72
4.5.1	Perancangan <i>Phase Shifter</i> Bawah	72
4.5.2	Perancangan <i>Phase Shifter</i> Atas	73
4.6	Desain Akhir <i>Butler Matrix 4x4</i>	74
4.6.1	Desain Akhir <i>Butler Matrix 4x4</i> Bahan I	75
4.6.2	Desain Akhir <i>Butler Matrix 4x4</i> Bahan II	80
4.7	Desain Akhir Antena <i>Switched Beam</i>	86
4.7.1	Antena <i>Switched Beam</i> Bahan I	86
4.7.2	Antena <i>Switched Beam</i> Bahan II	91
4.8	Grafik Perbandingan Hasil Simulasi Parameter Antena bahan I dan II	96

BAB V	PENGUJIAN DAN ANALISIS HASIL PENGUKURAN ANTENA <i>RECTANGULAR PATCH ARRAY SWITCHED BEAM</i> PADA RANGE FREKUENSI KERJA 2.400 - 2.483,5 MHz	
5.1	Pengukuran <i>Return Loss</i> , Koefisien Pantul dan Perhitungan <i>VSWR</i>	99
5.1.1	Hasil pengukuran <i>Return Loss</i> dan Perhitungan Koefisien Pantul dan <i>VSWR</i>	100
5.1.2	Analisis Hasil Pengukuran <i>Return Loss</i>	103
5.1.3	Perhitungan <i>bandwidth</i>	104
5.2	Pengujian Pola Radiasi	106
5.2.1	Hasil Pengukuran Pola Radiasi	107
5.2.2	Analisis Hasil Pengukuran Pola Radiasi	108
5.3	Pengukuran <i>Gain</i>	108
5.3.1	Hasil Pengukuran <i>Gain</i>	109
5.3.2	Analisis Hasil Pengukuran	110
BAB VI	PENUTUP	
6.1	Kesimpulan	111
6.2	Saran	112
	DAFTAR PUSTAKA	113

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Rangkaian pengganti antena	5
Gambar 2.2	<i>Lobe-lobe</i> Pola Radiasi	7
Gambar 2.3	Pembagian Daerah Medan Radiasi Antena	8
Gambar 2.4	Terminal referensi dan rugi-rugi antena	12
Gambar 2.5	Pengukuran <i>bandwidth</i> berdasarkan <i>plot return loss</i>	16
Gambar 2.6	Polarisasi Linier Vertikal dan Horisontal	17
Gambar 2.7	<i>Right and left hand circular polarization</i>	18
Gambar 2.8	Rangkaian ekivalen antena pemancar	20
Gambar 2.9	Macam-macam bentuk elemen peradiasi antena mikrostrip	21
Gambar 2.10	Struktur antena mikrostrip	21
Gambar 2.11	Teknik pencatuan <i>Microstrip Line Feed</i>	23
Gambar 2.12	Metode <i>Coaxial feed</i>	24
Gambar 2.13	<i>Aperture Coupling Feed</i>	24
Gambar 2.14	<i>Proximity Coupling Feed</i>	25
Gambar 2.15	Geometri <i>array</i> relatif terhadap titik pengamatan Q	27
Gambar 2.16	Pengamatan paralel pada analisa <i>array</i>	28
Gambar 2.17	Antena Mikrostrip & Garis Medan Listrik	31
Gambar 2.18	Antena Mikrostrip	32
Gambar 2.19	Penggunaan transformer untuk <i>matching</i> saluran transmisi	34
Gambar 2.20	Pendekatan dalam implementasi sistem <i>smart</i> antena	37
Gambar 2.21	Metode untuk menentukan arah datangnya sinyal	39
Gambar 2.22	<i>Butler matrix 4x4</i>	40
Gambar 2.23	<i>Hybrid 90°</i>	41
Gambar 2.24	<i>Crossover</i>	42
Gambar 2.25	Ilustrasi dimensi <i>mitred bend</i>	43
Gambar 3.1	Alur perancangan elemen peradiasi	46
Gambar 3.2	<i>Flow chart</i> perhitungan elemen peradiasi	46
Gambar 3.3	Alur perancangan <i>hybrid 90°</i>	49
Gambar 3.4	<i>Flow chart</i> perhitungan dimensi <i>hybrid 90°</i>	50
Gambar 3.5	Alur perancangan <i>crossover</i>	51

Gambar 3.6	<i>Flow chart</i> perhitungan dimensi <i>crossover</i>	52
Gambar 3.7	Alur perancangan <i>phase shifter</i>	53
Gambar 3.8	<i>Flow chart</i> perhitungan dimensi <i>phase shifter</i>	54
Gambar 3.9	Gambaran umum alur perancangan antenna <i>switched beam</i>	55
Gambar 4.1	Z(1,1) dan VSWR pada desain awal antenna peradisi	61
Gambar 4.2	Desain akhir antenna peradisi	62
Gambar 4.3	Z(1,1) dan VSWR setelah proses optimasi	62
Gambar 4.4	Pola Radiasi Empat Elemen Antena yang dicatu pada Masing-Masing <i>Port</i> Inputnya (Bahan I)	63
Gambar 4.5	Pola Radiasi Empat Elemen Antena yang dicatu pada Masing-Masing <i>Port</i> Inputnya (Bahan II)	64
Gambar 4.6	<i>Magnetudo</i> dan <i>Phase</i> parameter <i>S</i> untuk dimensi awal <i>hybrid</i> 90 ⁰	66
Gambar 4.7	<i>hybrid</i> 90 ⁰ setelah dioptimasi	67
Gambar 4.8	Grafik <i>Magnetudo</i> dan <i>Phase</i> Parameter <i>S</i> Setelah dioptimasi	67
Gambar 4.9	Dimensi awal <i>crossover</i>	69
Gambar 4.10	Dimensi <i>crossover</i> bawah setelah dioptimasi	69
Gambar 4.11	<i>Magnetudo</i> dan <i>Phase S</i> pada Frekuensi 2.442 GHz Setelah dioptimasi	70
Gambar 4.12	Dimensi <i>crossover</i> atas setelah dioptimasi	70
Gambar 4.13	Grafik <i>Magnetudo S crossover</i> atas setelah dioptimasi	71
Gambar 4.14	Dimensi <i>phase shifter</i> bawah	72
Gambar 4.15	Hasil simulasi <i>phase shifter</i> bawah	73
Gambar 4.16	Dimensi <i>phase shifter</i> atas	73
Gambar 4.17	Hasil simulasi <i>phase shifter</i> atas	74
Gambar 4.18	Desain akhir <i>Butler Matrix</i> 4x4 bahan I	75
Gambar 4.19	Fasa keluaran <i>butler matrix</i> 4x4 untuk pencatuan pada <i>port-1</i> , <i>port-2</i> , <i>port-3</i> , dan <i>port-4</i>	75
Gambar 4.20	Kurva <i>VSWR input butler matrix</i>	80
Gambar 4.21	Desain akhir <i>Butler Matrix</i> 4x4 bahan II	80
Gambar 4.22	Grafik fasa keluaran <i>butler matrix</i> 4x4 untuk pencatuan pada <i>port-1</i> , <i>port-2</i> , <i>port-3</i> , dan <i>port-4</i>	81

Gambar 4.23	<i>VSWR</i> input Butler Matrix 4x4 bahan II	86
Gambar 4.24	Desain akhir antenna <i>switched beam</i> bahan I	86
Gambar 4.25	Grafik <i>VSWR</i> untuk pencatuan <i>port-1</i> dan 4	87
Gambar 4.26	Grafik <i>return loss</i> antenna pada pencatuan <i>port-1</i> dan 4	88
Gambar 4.27	Grafik <i>VSWR</i> untuk pencatuan <i>port-2</i> dan 3	88
Gambar 4.28	Grafik <i>return loss</i> antenna pada pencatuan <i>port-2</i> dan 3	89
Gambar 4.29	Grafik <i>gain</i> untuk pencatuan <i>port-1, 2, 3, dan 4</i>	89
Gambar 4.30	Grafik polar pola radiasi antenna pencatuan <i>port-1, 2,3, dan 4</i>	90
Gambar 4.31	Desain akhir antenna <i>switched beam</i> bahan II	91
Gambar 4.32	Grafik <i>VSWR</i> untuk pencatuan <i>port-1</i> dan 4	92
Gambar 4.33	Grafik <i>VSWR</i> untuk pencatuan <i>port-2</i> dan 3	93
Gambar 4.34	Grafik <i>return loss</i> antenna pada pencatuan <i>port-1, 2, 3, dan 4</i>	93
Gambar 4.35	Grafik <i>gain</i> untuk pencatuan <i>port-1, 2, 3, dan 4</i>	94
Gambar 4.36	Grafik polar pola radiasi antenna pencatuan <i>port-1, 2,3, dan 4</i>	95
Gambar 4.37	Grafik <i>VSWR</i> hasil simulasi antenna <i>duroid</i> dan <i>FR-4</i> untuk pencatuan <i>port-1</i>	96
Gambar 4.38	Grafik <i>VSWR</i> hasil simulasi antenna <i>duroid</i> dan <i>FR-4</i> untuk pencatuan <i>port-2</i>	96
Gambar 4.39	Grafik pola radiasi hasil simulasi antenna <i>duroid</i> dan <i>FR-4</i> untuk pencatuan <i>port-1</i> dan 2	97
Gambar 4.40	Grafik <i>gain</i> hasil simulasi antenna <i>duroid</i> dan <i>FR-4</i> untuk pencatuan <i>port-1</i>	97
Gambar 4.41	Grafik <i>gain</i> hasil simulasi antenna <i>duroid</i> dan <i>FR-4</i> untuk pencatuan <i>port-2</i>	98
Gambar 4.42	Grafik efisiensi hasil simulasi antenna peradiasi <i>duroid</i> dan <i>FR-4</i>	98
Gambar 5.1	Rangkaian Pengukuran <i>Return Loss</i>	100
Gambar 5.2	Grafik fungsi <i>Return Loss</i> antenna uji terhadap frekuensi	103
Gambar 5.3	Grafik fungsi <i>VSWR</i> antenna uji terhadap frekuensi	103
Gambar 5.4	Hasil pengukuran RL antenna pada <i>port-1</i>	104
Gambar 5.5	Hasil pengukuran RL antenna pada <i>port-2</i>	105
Gambar 5.6	Hasil pengukuran RL antenna pada <i>port-3</i>	105
Gambar 5.7	Hasil pengukuran RL antenna pada <i>port-4</i>	105

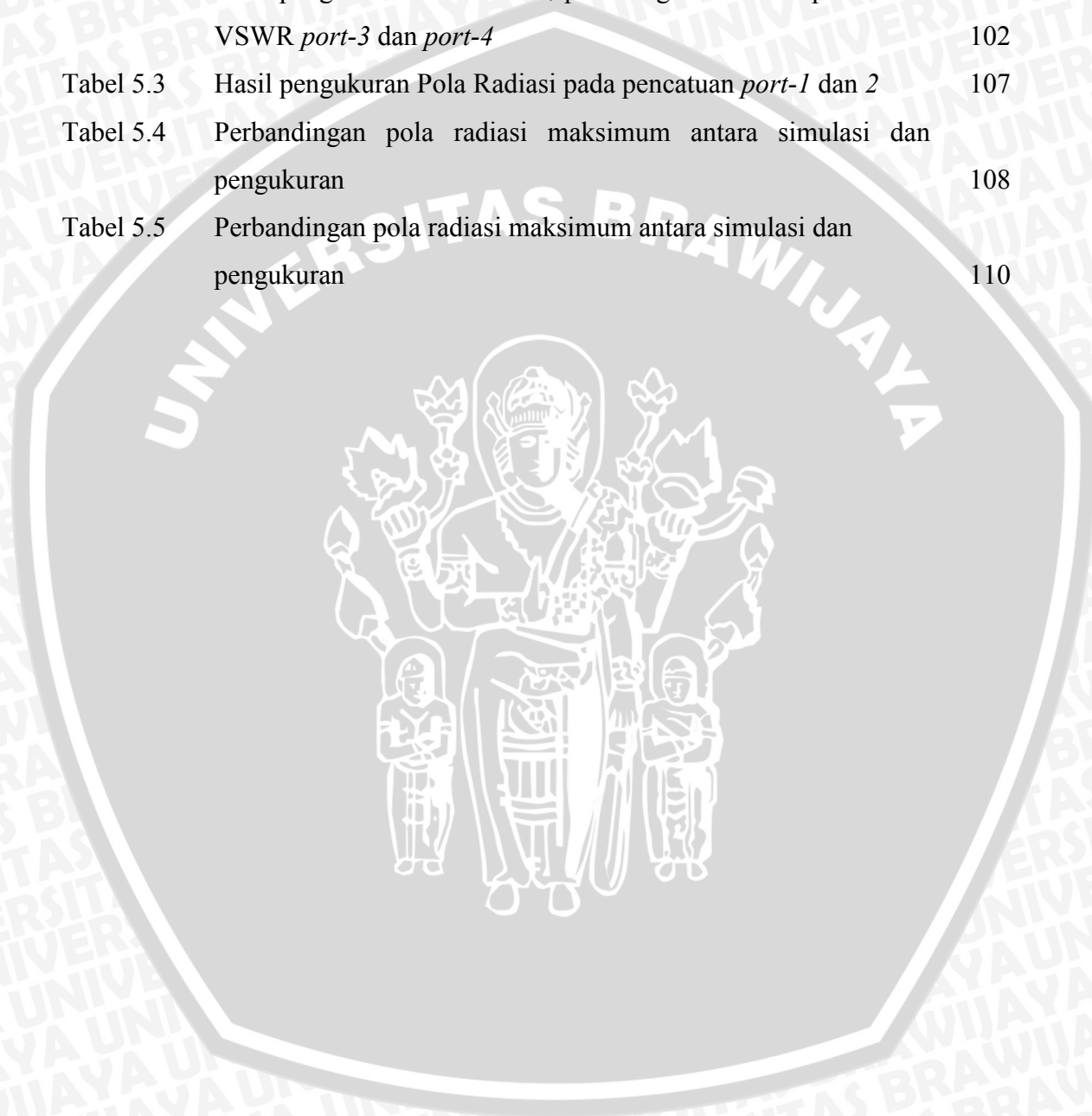
Gambar 5.8	Rangkaian Pengukuran <i>Pola Radiasi</i>	106
Gambar 5.9	<i>Pola Radiasi port-1 dan 2</i>	108
Gambar 5.10	Rangkaian Pengukuran <i>Gain Antena</i>	109



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Beda fasa keluaran antar <i>port</i> dengan pencatuan <i>port</i> masukan yang berbeda	40
Tabel 4.1	Dimensi awal peradiasi	60
Tabel 4.2	Dimensi antena peradiasi setelah dioptimasi	62
Tabel 4.3	Keterangan gambar 4.4	63
Tabel 4.4	Keterangan gambar 4.5	64
Tabel 4.5	Dimensi <i>hybrid</i> 90 ⁰ hasil perhitungan	66
Tabel 4.6	Dimensi <i>hybrid</i> 90 ⁰ setelah dioptimasi	67
Tabel 4.7	Parameter <i>S</i> pada Frekuensi 2.442 GHz	67
Tabel 4.8	Dimensi <i>crossover</i> setelah dioptimasi	69
Tabel 4.9	Parameter <i>S</i> pada Frekuensi 2.442 GHz	70
Tabel 4.10	Dimensi <i>crossover</i> atas setelah dioptimasi	71
Tabel 4.11	Parameter <i>S crossover</i> atas pada Frekuensi 2.442 GHz	71
Tabel 4.12	Parameter <i>S Phase shifter</i> bawah pada Frekuensi 2.442 GHz	73
Tabel 4.13	Parameter <i>S Phase shifter</i> atas pada Frekuensi 2.442 GHz	74
Tabel 4.14	Beda fasa antar <i>port</i> keluaran untuk masukan pada <i>port-1</i> (bahan I)	76
Tabel 4.15	Beda fasa antar <i>port</i> keluaran untuk masukan pada <i>port-2</i> (bahan I)	77
Tabel 4.16	Beda fasa antar <i>port</i> keluaran untuk masukan pada <i>port-3</i> (bahan I)	78
Tabel 4.17	Beda fasa antar <i>port</i> keluaran untuk masukan pada <i>port-4</i> (bahan I)	79
Tabel 4.18	Beda fasa antar <i>port</i> keluaran untuk masukan pada <i>port-1</i> (bahan II)	82
Tabel 4.19	Beda fasa antar <i>port</i> keluaran untuk masukan pada <i>port-2</i> (bahan II)	83
Tabel 4.20	Beda fasa antar <i>port</i> keluaran untuk masukan pada <i>port-3</i> (bahan II)	84
Tabel 4.21	Beda fasa antar <i>port</i> keluaran untuk masukan pada <i>port-4</i>	

(bahan II)	85
Tabel 4.22 Data pola radiasi hasil simulasi pada frekuensi 2.442 GHz	95
Tabel 5.1 Hasil pengukuran <i>Return Loss</i> , perhitungan koefisien pantul dan <i>VSWR port-1</i> dan <i>port-2</i>	101
Tabel 5.2 Hasil pengukuran <i>Return Loss</i> , perhitungan koefisien pantul dan <i>VSWR port-3</i> dan <i>port-4</i>	102
Tabel 5.3 Hasil pengukuran Pola Radiasi pada pencatuan <i>port-1</i> dan 2	107
Tabel 5.4 Perbandingan pola radiasi maksimum antara simulasi dan pengukuran	108
Tabel 5.5 Perbandingan pola radiasi maksimum antara simulasi dan pengukuran	110



ABSTRAK

Pada penelitian ini dilakukan perancangan, realisasi, serta pengukuran antenna mikrostrip berupa empat buah *array* antenna *rectangular* yang dihubungkan dengan sistem *butler matrix 4x4*. Sistem *butler matrix 4x4* terdiri atas empat *port* masukan dan empat *port* keluaran. Sistem ini bertujuan untuk menghasilkan arah pola radiasi antenna yang bervariasi arahnya ketika sistem antenna diberi sinyal masukan pada *port input* yang berbeda. Antenna ini beroperasi pada frekuensi *Wireless Local Area Network (WLAN)* yaitu pada frekuensi kerja 2.4 – 2.483 GHz. Bahan yang dipilih dalam perancangan atau simulasi (menggunakan *software IE3D*) adalah *duroid 5880* ($\epsilon_r=2.2$) dan *FR-4* ($\epsilon_r=4.4$), sedangkan yang direalisasikan dan diukur adalah antenna yang berbahan *FR-4*. Hasil simulasi kedua bahan menunjukkan perbedaan yang sangat jauh dari sisi nilai *gain* dan efisiensi. Antenna berbahan *duroid 5880* memiliki *gain* tertinggi 12.4 *dBi* sedangkan *FR-4* hanya memiliki *gain* tertinggi 4.8 *dBi*. Dari sisi efisiensi antenna *duroid* juga lebih tinggi dari *FR-4*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa efisiensi sebuah antenna peradiasi bahan *duroid* sebesar 91.935% sedangkan *FR-4* hanya sebesar 36.768%. Sedangkan nilai *Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)* kedua antenna memiliki nilai yang optimum. Hasil simulasi *VSWR* antenna *duroid* adalah berkisar 1.0201 – 1.038 dan *FR-4* berkisar 1.021 – 1.094. Hasil simulasi pola radiasi menunjukkan bahwa kedua antenna memiliki empat variasi arah radiasi sesuai dengan pencatutan salah satu dari keempat *port* masukannya. Untuk antenna *duroid* pada pencatutan *port-1, 2, 3, dan 4* berturut-turut memiliki arah radiasi $10^\circ, -30^\circ, 30^\circ,$ dan -10° dengan *HPBW* sebesar $26^\circ, 31^\circ, 31^\circ,$ dan 26° , sedangkan antenna *FR-4* memiliki arah radiasi $15^\circ, -40^\circ, 40^\circ,$ dan 15° dengan *Half Power Beam Width (HPBW)* sebesar $33^\circ, 39^\circ, 39^\circ,$ dan 33° (arah radiasi mengacu pada sumbu normal antenna).

Kata kunci: Antena, Mikrostrip, *butler matrix*, *duroid 5880*, *FR-4*, *WLAN*, *return loss*, *VSWR*, pola radiasi, *HPBW*, *IE3D*