

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN .....	i
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
Intisari .....	x
<i>Abstract</i> .....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Batasan Masalah.....	6
1.4 Tujuan Penelitian .....	6
1.5 Sistematika Penulisan.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	9
2.1 Potensi Energi Terbarukan di Indonesia .....	9
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya ( <i>Solar Photovoltaic System</i> ) .....	11
2.2.1 <i>Photovoltaic</i> .....	11
2.2.2 Tipe sel Surya PV .....	14
2.2.3 PV Cell, PV Module dan PV Array .....	16
2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Angin .....	21
2.3.1 Kurva Daya Turbin Angin .....	23
2.3.2 Koefisien Daya Turbin Angin.....	24
2.3.3 Komponen Sistem Turbin Angin.....	26
2.4 Sistem Tenaga <i>Hybrid</i> dan Perangkat Lunak HOMER .....	31
2.4.1 Klasifikasi Konfigurasi Sistem <i>Hybrid</i> .....	34
2.4.2 <i>Auxiliary Components</i> Pada Sistem Hybrid.....	39
2.4.3 Perangkat Lunak HOMER.....	51
2.5 Tinjauan Ekonomi Teknik Dalam Pembangkitan Energi Terbarukan.....	53
2.5.1 Total NPC ( <i>net present cost</i> ).....	53
2.5.2 Total Biaya Tahunan ( <i>total annualized cost</i> ).....	54
2.5.3 Biaya Modal Tahunan ( <i>annualized capital cost</i> ).....	55
2.5.4 Biaya Penggantian Tahunan ( <i>annualized replacement cost</i> ).....	55

2.5.5	Faktor Pemulihan Modal ( <i>capital recoveri factor</i> ) .....	56
2.5.6	Biaya Operasi dan Perawatan ( <i>O&amp;M cost</i> ) .....	57
2.5.7	Syarat Batas Biaya Energi (LCOE) .....	57
BAB III METODE PENELITIAN .....		59
3.1	Langkah-Langkah Penelitian .....	59
3.2	Data Biaya dan Parameter-parameter Komponen Sistem Hybrid.....	61
3.2.1	Biaya dan Parameter PV (Photovoltaic) .....	61
3.2.2	Biaya dan Parameter Turbin Angin .....	62
3.2.3	Biaya dan Parameter Baterai.....	63
3.2.4	Biaya dan Parameter Diesel Generator (Genset) .....	65
3.2.5	Biaya dan Parameter Konverter .....	67
3.3	Input Lain Yang Mempengaruhi Optimasi Sistem Hybrid .....	67
3.3.1	Input Parameter Ekonomi .....	67
3.3.2	Input Jenis-jenis Kendala.....	68
3.3.3	Emisi dan Parameter Kontrol Sistem.....	69
3.4	Analisis Sensitivitas .....	70
3.5	Perancangan Sistem <i>Off-Grid</i> Mikrogrid PV/Angin/Diesel Generator .....	72
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....		74
4.1	Objek Penelitian.....	74
4.2	Skema Konfigurasi dan Optimisasi Input Sistem Pembangkit <i>Hybrid</i> di Pulau Nusa	76
4.2.1	Pemodelan Profil Beban Listrik di Pulau Nusa .....	77
4.2.2	Data Intensitas Radiasi Matahari .....	80
4.2.3	Data Kecepatan Angin .....	83
4.3	Optimasi Skenario Arsitektur Sistem.....	85
4.4	Hasil Simulasi Menggunakan Perangkat Lunak HOMER.....	86
4.4.1	Arsitektur Sistem Skenario 1 .....	86
4.4.2	Arsitektur Sistem Skenario 2 .....	101
4.4.3	Arsitektur Sistem Skenario 3 .....	111
4.5	Perbandingan Skenario Sistem Tenaga.....	122
4.6	Analisis Sensitivitas .....	129
BAB V PENUTUP .....		132
5.1	Kesimpulan .....	132
5.2	Saran.....	133
DAFTAR PUSTAKA .....		134

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Potensi dan pemanfaatan energi terbarukan di Indonesia.....	9
Tabel 3.1 Biaya dan parameter sistem PV .....	62
Tabel 3.2 Biaya dan parameter Turbin Angin .....	63
Tabel 3.3 Biaya dan parameter baterai .....	65
Tabel 3.4 Biaya dan parameter Diesel Generator .....	66
Tabel 3.5 Daya keluaran generator terhadap konsumsi bahan bakar.....	66
Tabel 3.6 Biaya dan parameter konverter .....	67
Tabel 3.7 Nilai input parameter lain yang mempengaruhi optimasi sistem <i>hybrid</i> dalam simulasi menggunakan perangkat lunak HOMER .....	70
Tabel 3.8 Nilai variabel sensitivitas.....	71
Tabel 4.1 Data profil beban listrik yang mengacu pada profil beban Bunaken untuk perancangan sistem <i>hybrid</i> di Pulau Nusa.....	78
Tabel 4.2 Intensitas Radiasi Matahari di Pulau Nusa .....	81
Tabel 4.3 Kecepatan angin rata-rata di Pulau Nusa.....	84
Tabel 4.4 Hasil simulasi perancangan sistem pembangkit <i>hybrid</i> menggunakan HOMER ....	86
Tabel 4.5 Arsitektur Sistem Skenario 1 .....	86
Tabel 4.6 Produksi listrik skenario 1 per tahun .....	87
Tabel 4.7 <i>Output Detail Time Series</i> skenario 1 pada hari ke 30 bulan Januari .....	89
Tabel 4.8 Hasil simulasi HOMER skema turbin angin.....	92
Tabel 4.9 Hasil simulasi HOMER skema Panel PV (skenario 1).....	95
Tabel 4.10 Arsitektur Sistem Skenario 2 .....	101
Tabel 4.11 Produksi listrik skenario 2 per tahun .....	102
Tabel 4.12 <i>Output Detail Time Series</i> skenario 2 pada hari ke 30 bulan Januari .....	104
Tabel 4.13 Hasil simulasi HOMER skema turbin angin skenario 2.....	106
Tabel 4.14 Arsitektur Sistem Skenario 3 .....	111
Tabel 4.15 Produksi listrik skenario 3 per tahun .....	112
Tabel 4.16 <i>Output Detail Time Series</i> skenario 3 pada hari ke 7 bulan Juni.....	114
Tabel 4.17 Hasil simulasi HOMER skema Panel PV (skenario 3).....	117
Tabel 4.18 Nilai COE terhadap harga bahan bakar .....	129
Tabel 4.19 Nilai COE Skenario 1 .....	130
Tabel 4.20 Nilai COE Skenario 2 .....	130
Tabel 4.21 Nilai COE Skenario 3 .....	130

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Gambar Lokasi Pulau Nusa.....	4
Gambar 2.1 Skema sederhana sistem sel PV .....	12
Gambar 2.2 Junction antara semikonduktor tipe-p (kelebihan hole) dan tipe-n (kelebihan elektron). .....	13
Gambar 2.3 Ilustrasi cara kerja sel surya dengan prinsip p-n junction.....	14
Gambar 2.4 Tipe-tipe sel surya.....	15
Gambar 2.5 Skematik diagram Sel, Module dan Array PV.....	17
Gambar 2.6 Kurva arus-tegangan pada sel surya.....	18
Gambar 2.7 Ilustrasi cara kerja turbin angin menghasilkan energi listrik. ....	22
Gambar 2.8 Skema sistem pembangkit listrik tenaga angin .....	22
Gambar 2.9 Karakteristik kurva daya .....	23
Gambar 2.10 Contoh kurva koefisien daya dari turbin angin .....	25
Gambar 2.11 Kecepatan terhadap daya dengan nilai pada sudut angguk yang berbeda-beda	26
Gambar 2.12 Konsep VAWT (dari kiri ke kanan) Turbin Savorius, Turbin Darrieus, dan Turbin H .....	27
Gambar 2.13 Komponen dari HAWT.....	28
Gambar 2.14 Konfigurasi sistem hybrid.....	32
Gambar 2.15 Centralized AC-Coupled Hybrid Power System .....	35
Gambar 2.16 Distributed AC Hybrid Power System.....	36
Gambar 2.17 DC-Coupled Hybrid Power System.....	37
Gambar 2.18 Series Hybrid Power System.....	38
Gambar 2.19 Parallel Hybrid System .....	39
Gambar 2.20 Kurva tipikal FC vs Load Ratio .....	43
Gambar 2.21 Hubungan antara simulasi, optimasi,dan analisis sensitivitas.....	52
Gambar 3.2 Kurva daya turbin angin PW 30 kW-14 Mark II .....	63
Gambar 3.3 Grafik daya keluaran generator terhadap konsumsi bahan bakar .....	67
Gambar 4.1 Pulau Nusa .....	75
Gambar 4.2 Arsitektur dari komponen-komponen yang dipilih pada perancangan sistem <i>hybrid</i> dengan menggunakan HOMER Pro 3.3 .....	77
Gambar 4.3 Variasi beban harian dari profil beban listrik.....	79
Gambar 4.4 <i>Data-Map</i> profil beban harian dalam setahun.....	80
Gambar 4.5 Hasil perhitungan HOMER untuk beban listrik rata-rata .....	80
Gambar 4.6 Radiasi Global Matahari di Pulau Nusa, Sulawesi Utara.....	82
Gambar 4.7 Pemodelan profil radiasi harian di wilayah Pulau Nusa (dalam orde jam).....	82
Gambar 4.8 Grafik insolasi radiasi matahari perjam di Pulau Nusa.....	83
Gambar 4.9 Profil kecepatan angin harian dalam satu tahun (dalam orde jam).....	84
Gambar 4.10 Grafik kecepatan angin perjam di Pulau Nusa.....	85
Gambar 4.11 Produksi listrik rata-rata setiap bulan (skenario 1) .....	88
Gambar 4.12 Output daya turbin angin (skenario 1) .....	92
Gambar 4.13 Grafik produksi daya listrik PV per jam dalam setahun (skenario 1).....	93
Gambar 4.14 Produksi rata-rata daya listrik PV (skenario 1).....	94



**PERANCANGAN SISTEM PEMBANGKIT HYBRID PV/ANGIN/DIESEL UNTUK SUPPLAI TENAGA LISTRIK DI PULAU NUSA SULAWESI UTARA**

DWIKI DARMAWAN, Sarjiya, S.T., M.T., Ph.D. ; Avrin Nur Widiastuti, S.T.

UNIVERSITAS  
GADJAH MADA

Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

Gambar 4.15 Grafik produksi daya listrik per jam Diesel Generator (skenario 1).....	97
Gambar 4.16 Produksi rata-rata daya listrik Diesel Generator (skenario 1).....	97
Gambar 4.17 Emisi bahan bakar diesel (skenario 1) .....	98
Gambar 4.18 Biaya NPC masing-masing komponen sistem (skenario 1).....	99
Gambar 4.19 Aliran dana proyek sistem pembangkit (skenario 1) .....	100
Gambar 4.20 Aliran dana proyek selama 20 tahun usia proyek (skenario 1) .....	101
Gambar 4.21 Produksi listrik rata-rata setiap bulan (skenario 2) .....	102
Gambar 4.22 Produksi listrik turbin angin rata-rata setiap bulan (skenario 2).....	106
Gambar 4.23 Grafik produksi daya listrik per jam Diesel Generator (skenario 2).....	107
Gambar 4.24 Emisi bahan bakar diesel (skenario 2) .....	108
Gambar 4.25 Biaya NPC masing-masing komponen (skenario 2).....	109
Gambar 4.26 Aliran dana proyek sistem pembangkit (skenario 2) .....	110
Gambar 4.27 Aliran dana proyek selama 20 tahun usia proyek (skenario 2).....	110
Gambar 4.28 Produksi listrik rata-rata setiap bulan (skenario 3) .....	112
Gambar 4.29 Grafik produksi daya listrik PV per jam dalam setahun (skenario 3).....	115
Gambar 4.30 Produksi daya listrik PV rata-rata setiap bulan (skenario 3).....	116
Gambar 4.31 Grafik produksi daya listrik diesel generator per jam dalam setahun (skenario 3) .....	118
Gambar 4.32 Produksi daya listrik diesel generator rata-rata setiap bulan (skenario 3) .....	119
Gambar 4.33 Emisi bahan bakar diesel (skenario 3) .....	119
Gambar 4.34 Biaya NPC masing-masing komponen sistem (skenario 3).....	120
Gambar 4.35 Aliran dana proyek sistem pembangkit (skenario 3) .....	121
Gambar 4.36 Aliran dana proyek selama 20 tahun usia proyek (skenario 3).....	122
Gambar 4.37 Perbandingan konsumsi bahan bakar.....	123
Gambar 4.38 Perbandingan nilai <i>Renewable Fraction</i> .....	124
Gambar 4.39 Perbandingan nilai <i>Excess Electricity</i> .....	125
Gambar 4.40 Perbandingan nilai Net Present Cost.....	126
Gambar 4.41 Perbandingan nilai <i>Cost of Energy</i> .....	127