

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN TUGAS	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN	xix
INTISARI.....	xxi
ABSTRACT.....	xxii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Batasan Masalah.....	4
I.3 Tujuan Penelitian.....	5
I.4 Manfaat Penelitian.....	5
I.5 Sistematika Penulisan.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
II.1 <i>Blueprint</i> Pengelolaan Energi Nasional 2006-2025.....	7
II.2 Penambahan Nilai dengan CLEWS- Permodelan Sistem Energi dan Ketergantungannya untuk Mauritius	9
II.3 Proyeksi Pembangkitan Listrik Tenaga Mikro Hidro dengan Skenario Manajemen Air-Energi yang Terintegrasi di Kabupaten Pesisir Selatan, Sumatera Barat	10
II.4 Analisis Hubungan Curah Hujan dan Debit Sub Sub DAS Ngatabaru, Sulawesi Tengah.....	11

II.5	Pertimbangan Nexus Air-Pangan-Energi dengan Menggunakan Pendekatan Permodelan Terintegrasi	11
II.6	Peningkatan Keamanan Pasokan Jangka Panjang Sistem Perluasan Perencanaan Listrik Jawa-Bali-Madura di Indonesia.....	12
II.7	Kajian Perencanaan Permintaan dan Penyediaan Energi di Wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta Menggunakan Perangkat Lunak LEAP	12
II.8	Permodelan Hubungan antara Air dan Listrik untuk Menilai Pilihan Elektrisitas pada Skala Air yang Relevan.....	13
II.9	Kajian Perencanaan Permintaan dan Penyediaan Energi Listrik di Wilayah Kabupaten Sleman Menggunakan Perangkat Lunak LEAP ..	14
BAB III DASAR TEORI		17
III.1	Hidrologi.....	17
III.1.1	Daerah Aliran Sungai	18
III.1.2	Presipitasi.....	20
III.1.3	Evapotranspirasi	21
III.1.4	Perkolasi.....	28
III.1.5	Debit	28
III.1.6	Curah Hujan Efektif.....	37
III.2	Irigasi	37
III.2.1	Kebutuhan Air Irigasi	38
III.2.2	Kebutuhan Air Konsumtif	39
III.2.3	Pola Tanam dan Sistem Golongan.....	40
III.3	Pembangkit Listrik Tenaga Air	41
III.3.1	Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro	47
III.4	Kebutuhan Air Pokok	51
III.5	<i>Nexus</i> Pangan, Air, Energi.....	52

III.5.1 Manajemen Air Untuk Kebutuhan Pokok, Irigasi Kebutuhan Pangan dan Kebutuhan Energi PLTMH	55
III.5.1.2 Skenario	58
III.5.2 Manajemen Energi.....	58
III.6 Perangkat Lunak	62
III.6.1 LEAP (Long-range Energy Alternatives Planning).....	62
III.6.2 WEAP (Water Evaluation And Planning)	67
BAB IV PELAKSANAAN PENELITIAN	71
IV.1 Alat dan Bahan Penelitian	71
IV.2 Tata Laksana Penelitian.....	73
IV.2.1 Studi Pustaka	75
IV.2.2 Pengumpulan Data.....	76
IV.2.3 Pengolahan Data.....	76
IV.2.4 Simulasi Perangkat Lunak.....	77
IV.3 Rencana Analisis Hasil.....	90
IV.3.1 Skenario	90
IV.3.2 Input-Output Penelitian	91
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	92
V.1 Deskripsi Wilayah.....	92
V.2 Intensitas Energi	96
V.2.1 Konsumsi Listrik	97
V.2.2 Produk Domestik Regional Bruto (PDRB).....	101
V.2.3 Pelanggan Listrik	104
V.2.4 Intensitas Energi (PDRB)	107
V.2.5 Intensitas Energi (Pelanggan)	109

V.3 Jumlah Penduduk.....	111
V.4 Rasio Elektrifikasi.....	114
V.5 Debit Andalan	116
V.6 Kebutuhan Air Pokok	122
V.7 Kebutuhan Air Irigasi	124
V.8 Simulasi Perangkat Lunak WEAP-LEAP.....	129
V.8.1 Simulasi Perangkat LEAP	129
V.8.2 Simulasi Perangkat WEAP	133
V.8.3 Skenario-Skenario Simulasi Kebutuhan Energi LEAP-WEAP.....	136
V.8.4 Skenario-Skenario Simulasi Kebutuhan Air LEAP-WEAP	153
V.8.5 Proyeksi Keadaan Lingkungan	171
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	173
VI.1 KESIMPULAN	173
VI.2 SARAN	174
DAFTAR PUSTAKA	175
LAMPIRAN A Perhitungan Hidrologi	180
LAMPIRAN B Data-Data Pendukung.....	182
LAMPIRAN C Hasil Perhitungan Debit Manual	198
LAMPIRAN D Hasil Perhitungan WEAP & LEAP.....	205
LAMPIRAN E Presentasi <i>Power Point</i> Penelitian	223

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1.	Siklus Hidrologi (Sumber: http://www.eoearth.org/view/article/153627/).....	17
Gambar 3.2.	Daerah Aliran Sungai (Sumber: http://www.scbfwm.org/3000-watersheds-in-degraded-conditions/)	19
Gambar 3.3.	Skema Metode Mock Daerah Aliran Sungai (Sumber: http://www.scbfwm.org/3000-watersheds-in-degraded-conditions/).....	30
Gambar 3.4.	Skema soil moisture method (Sumber: http://www.weap21.org/webhelp/two-bucket_method.htm)	35
Gambar 3.5.	Skema PLTA ^[25]	42
Gambar 3.6.	PLTA pompa ^[20]	44
Gambar 3.7.	PLTA jenis reservoir ^[20]	45
Gambar 3.8.	PLTA <i>run-of-river</i> ^[20]	46
Gambar 3.9.	Skema umum PLTMH ^[28]	48
Gambar 3.10.	Skema sistem <i>grid connected</i> yang diterapkan pada perangkat lunak Pvsyst.	49
Gambar 3.11.	<i>Headrace</i> PLTMH ^[31]	49
Gambar 3.12.	<i>Headtank</i> PLTMH ^[31]	50
Gambar 3.13.	Pipa <i>Penstock</i> PLTMH ^[32]	50
Gambar 3.14.	Diagram <i>nexus</i> air, pangan , energi ^[35]	53
Gambar 3.15.	Struktur Modul LEAP ^[13]	63
Gambar 3.16.	Tampilan awal LEAP	66
Gambar 3.17.	Tampilan awal WEAP	69
Gambar 4.1.	Lisensi perangkat lunak LEAP	72
Gambar 4.2.	Lisensi perangkat lunak WEAP.....	72
Gambar 4.3.	Blok diagram alur penelitian	75
Gambar 4.4.	Bagan simulasi LEAP	77
Gambar 4.5.	Tahapan Proses Pengembangan Model	78
Gambar 4.6.	Diagram alir perhitungan evapotranspirasi.....	81
Gambar 4.7.	Diagram alir perhitungan debit metode Mock.....	82

Gambar 4.8. Skema kalkulasi <i>water supply</i> WEAP	83
Gambar 4.9. Tampilan <i>schematic view</i> DAS Bayang	85
Gambar 4.10. Menghubungkan LEAP dan WEAP	88
Gambar 4.11. Flowchart Seluruh Langkah Penelitian.....	89
Gambar 5.1. a) Peta Provinsi Sumatera Barat b) Peta Kabupaten Pesisir Selatan	93
Gambar 5.2. Presentase Luas Wilayah Berdasarkan Kecamatan, 2014	93
Gambar 5.3. Lokasi PLTMH a) citra dari ketinggian 76 mil dpl, b) citra dari ketinggian 34000 kaki dpl.....	96
Gambar 5.4. Konsumsi Listrik Kabupaten Pesisir Selatan Periode 2008-2013..	99
Gambar 5.5. Grafik pertumbuhan konsumsi listrik Kabupaten Pesisir Selatan periode 2008 – 2013	99
Gambar 5.6. PDRB Kabupaten Pesisir Selatan periode 2008 – 2013	103
Gambar 5.7. Pertumbuhan PDRB Pesisir Selatan periode 2007 – 2012	104
Gambar 5.8. Pelanggan Listrik Kabupaten Pesisir Selatan Periode 2008-2013	105
Gambar 5.9. Pertumbuhan pelanggan listrik Kabupaten Pesisir Selatan	106
Gambar 5.10. Intensitas energi (kWh per juta rupiah)	108
Gambar 5.11. Pertumbuhan Intensitas Energi Berdasarkan PDRB Kabupaten Pesisir Selatan	109
Gambar 5.12. Intensitas energi (kWh per pelanggan)	110
Gambar 5.13. Pertumbuhan Intensitas Energi Berdasarkan jumlah pelanggan Kabupaten Pesisir Selatan	111
Gambar 5.14. Pertumbuhan Jumlah Rumah Tangga Kabupaten Pesisir Selatan Tahun 2008-2013	113
Gambar 5.15. Pertumbuhan Jumlah Penduduk Kabupaten Pesisir Selatan Tahun 2008-2013	113
Gambar 5.16. Rasio Elektrifikasi di Indonesia.....	114
Gambar 5.17. Pertumbuhan Rasio Elektrifikasi Kabupaten Pesisir Selatan Tahun 2008-2013	116
Gambar 5.18. Grafik curah hujan bulanan a) Stasiun Danau Diatas, b) Stasiun Tarusan.....	117

Gambar 5.19. Data masukan evapotranspirasi a) temperatur ($^{\circ}\text{C}$); b) kelembaban relatif (%); c) kecepatan angin (m/s); d) radiasi matahari ($\text{MJ}/\text{m}^2.\text{hari}$)	118
Gambar 5.20. Validasi perhitungan debit menggunakan WEAP a) Sub-DAS Bt. Bujanggadang, b) Sub-DAS Bt. Bayanggadang, c) Sub-DAS Bt. Bayangnyalo	121
Gambar 5.21. <i>Basic Parameter</i> pada perangkat LEAP	131
Gambar 5.22. Inputan <i>Key Assumption</i> pada LEAP.....	132
Gambar 5.23. <i>Schematic Area</i> DAS Bayang.....	134
Gambar 5.24. Tampilan <i>view</i> Data pada WEAP	135
Gambar 5.25. Fitur <i>method</i> pada WEAP.....	135
Gambar 5.26. Konsumsi Listrik dengan Ekstrapolasi Eksponensial.....	137
Gambar 5.27. <i>Growth</i> ekstrapolasi eksponensial pada LEAP.....	137
Gambar 5.28. Permintaan listrik skenario BAU.....	138
Gambar 5.29. Produksi listrik masing-masing PLTMH.....	139
Gambar 5.30. Produksi listrik PLTMH skenario BAU (MWh)	139
Gambar 5.31. Produksi listrik tahunan PLTMH skenario BAU (GWh)	140
Gambar 5.32. Persentase pemenuhan kebutuhan listrik oleh PLTMH skenario BAU	141
Gambar 5.33. PDRB Kabupaten Pesisir Selatan (2013-2025).....	142
Gambar 5.34. Pelanggan Listrik Kabupaten Pesisir Selatan (2013-2025)	142
Gambar 5.35. Intensitas Energi (PDRB) Kabupaten Pesisir Selatan (2013-2025)	143
Gambar 5.36. Intensitas Energi (Pelanggan) Kabupaten Pesisir Selatan (2013-2025)	144
Gambar 5.37. Rasio Elektrifikasi Kabupaten Pesisir Selatan (2013-2025).....	144
Gambar 5.38. Penduduk Rumah Tangga Kabupaten Pesisir Selatan (2013-2025)	144
Gambar 5.39. Penduduk Kabupaten Pesisir Selatan (2013-2025).....	145
Gambar 5.40. Produksi listrik PLTMH skenario perubahan iklim (GWh)	146

Gambar 5.41. Produksi listrik tahunan PLTMH skenario perubahan iklim (GWh)	147
Gambar 5.42. Persentase pemenuhan kebutuhan listrik oleh PLTMH skenario perubahan iklim	148
Gambar 5.43. Permintaan listrik skenario penghematan	149
Gambar 5.44. Produksi listrik PLTMH skenario trend pada WEAP	150
Gambar 5.45. Persentase pemenuhan kebutuhan listrik oleh PLTMH skenario penghematan listrik	151
Gambar 5.46. Intensitas Energi (PDRB) Kabupaten Pesisir Selatan (2013-2025)	152
Gambar 5.47. Intensitas Energi (Pelanggan) Kabupaten Pesisir Selatan (2013-2025)	152
Gambar 5.48. Inputan Data Demand 1, 2, dan 3 Pada WEAP	154
Gambar 5.49. <i>Annual Activity Level</i> Demand 1,2,3	154
Gambar 5.50. <i>Monthly Variation</i> Demand 1	155
Gambar 5.51. Penduduk Bayang Utara dengan ekstrapolasi eksponensial	155
Gambar 5.52. Ekstrapolasi eksponensial demand 1,2,3 pada WEAP	156
Gambar 5.53. Kebutuhan Air Demand 1,2,3	156
Gambar 5.54. Seluruh <i>Demand</i> Pada Simulasi WEAP	158
Gambar 5.55. Kebutuhan Irigasi Tanaman Padi DAS Bayang	160
Gambar 5.56. Kebutuhan Irigasi Tanaman Palawija DAS Bayang	160
Gambar 5.57. Kebutuhan seluruh <i>Demand</i> DAS Bayang	161
Gambar 5.58. Penduduk Bayang Utara Periode Tahun 2008-2013	163
Gambar 5.59. Input data kebutuhan air pokok skenario trend pada WEAP	163
Gambar 5.60. Kebutuhan Air Pokok Skenario Trend pada WEAP	164
Gambar 5.61. Kebutuhan Air Irigasi Pada Skenario Peubahan Iklim	165
Gambar 5.62. Kebutuhan Air Irigasi Skenario Perubahan Iklim pada WEAP	166
Gambar 5.63. Kebutuhan Air <i>all demand</i> pada seluruh skenario WEAP	167
Gambar 5.64. a, b, dan c adalah perbandingan kebutuhan air irigasi dan kebutuhan air pokok <i>all scenario</i> , d, e, dan f adalah perbandingan produksi listrik <i>all scenario</i> , g, h, dan i adalah perbandingan kebutuhan energi <i>all scenario</i>	170

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Matriks Tinjauan Pustaka Penelitian	14
Tabel 3.1. Faktor Koreksi Penmann	23
Tabel 3.2. Hubungan suhu, tekanan uap jenuh, dan elevasi.....	23
Tabel 3.3. Nilai radiasi ekstraterestial (Ra).....	25
Tabel 3.4. Exposed surface.....	31
Tabel 3.5. Nilai <i>soil moisture capacity</i> untuk berbagai tipe tanaman dan tanah..	32
Tabel 3.6. Koefisien Tanaman Padi (kc)	40
Tabel 3.7. Pola Tanam.....	40
Tabel 3.8. Jenis PLTA berdasarkan kapasitas pembangkitan	46
Tabel 3.9. Klasifikasi turbin	47
Tabel 3.10. Wilayah Kabupaten di Indonesia dengan Kondisi Sumberdaya Air Kritis Waspada dan Aman hingga Tahun 2020	56
Tabel 4.1. Alat penelitian	71
Tabel 4.2. Bahan penelitian	73
Tabel 4.3. Skenario Simulasi.....	90
Tabel 4.4. Seluruh data masukan dan keluaran pada LEAP & WEAP	91
Tabel 5.1. Keadaan Geografi Kabupaten Pesisir Selatan	94
Tabel 5.2. Detail PLTMH.....	95
Tabel 5.3. Konsumsi Listrik Periode 2008-2013	98
Tabel 5.4. Pertumbuhan Konsumsi Listrik Pesisir Selatan Periode 2008-2013.	100
Tabel 5.5. PDRB Pesisir Selatan Periode 2008-2013.....	102
Tabel 5.6. Pelanggan Listrik Kabupaten Pesisir Selatan Periode 2008-2013 ...	104
Tabel 5.7. Intensitas Energi Kabupaten Pesisir Selatan Periode 2008-2013.....	107
Tabel 5.8. Intensitas Energi kWh/ <i>household</i> Kabupaten Pesisir Selatan.....	109
Tabel 5.9. Jumlah Penduduk dan Rumah Tangga Kabupaten Pesisir Selatan Periode 2008-2013	112
Tabel 5.10. Pertumbuhan Rasio Elektrifikasi Kabupaten Pesisir Selatan Tahun 2008-2013	115
Tabel 5.11. Stasiun pemantauan curah hujan dan klimatologi.....	116

Tabel 5.12. Data masukan dan keluaran pada LEAP & WEAP.....	119
Tabel 5.13. Banyaknya Rumah Tangga, Penduduk, dan Kepadatan Penduduk 2013.....	122
Tabel 5.14. Kebutuhan Air Pokok Penduduk DAS Bayang.....	124
Tabel 5.15. Persentase Luas Lahan Menurut Jenis Penggunaannya	125
Tabel 5.16. Luas Panen, Produksi Padi dan Palawija Menurut Jenis Tanaman 2013.....	126
Tabel 5.17. Luas dan Produksi Sawah dan Ladang Kecamatan Bayang Utara 2013	127
Tabel 5.18. Pemenuhan Kebutuhan Listrik Pesisir Selatan Skenario BAU	141
Tabel 5.19. Pemenuhan Kebutuhan Listrik Pesisir Selatan Skenario Perubahan Iklim	147
Tabel 5.20. Pemenuhan Kebutuhan Listrik Pesisir Selatan Skenario Penghematan	150
Tabel 5.21. <i>Water Demand</i> Kebutuhan Air Pokok (m ³)	157
Tabel 5.22. Kebutuhan Air Tanaman DAS Bayang	159
Tabel 5.23. <i>Water Demand</i> Agriculture 1,2,3 (Kebutuhan Air Padi) dalam juta m ³	160
Tabel 5.24. <i>Water Demand</i> Irigasi 1,2,3 (Kebutuhan Air Palawija) dalam juta m ³	160
Tabel 5.25. Penduduk Kecamatan Bayang Utara.....	162
Tabel 5.26. <i>Water Demand</i> Kebutuhan Air Pokok Skenario Perubahan Trend (ribu m ³)	164
Tabel 5.27. <i>Water Demand</i> Kebutuhan Air Irigasi Skenario Perubahan Iklim (juta m ³).....	166
Tabel 5.28. Ringkasan Analisis Skenario LEAP & WEAP	168
Tabel 5.29. Ringkasan Hasil Analisis Skenario LEAP & WEAP.....	169

DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN

ESDM	Energi Sumber Daya Mineral		
PLTMH	Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro		
DAS	Daerah Aliran Sungai		
SDA	Sumber Daya Alam		
LEAP	<i>Long-range Energy Alternatives Planning</i>		
WEAP	<i>Water Evaluation and Planning</i>		
BBM	Bahan Bakar Minyak		
BP-PEN	<i>Blueprint</i> Pengelolaan Energi Nasional		
RIKEN	Rencana Induk Konservasi Energi Nasional		
RUKN	Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional		
BAU	<i>Business as Usual</i>		
CLEWS	<i>Climate, Energy, Water, and Lands-use System</i>		
CGM	<i>General Circulation Models</i>		
AEZ	<i>Agro-Ecological Zones</i>		
TDL	<i>Transmission and Distribution Loss</i>		
EEI	<i>Energy Efficiency Improvement</i>		
COM	<i>Comprehensive Improvement</i>		
P	presipitasi (mm)	C	Koefisien Penmann
Q_i, Q_o	debit aliran masuk dan keluar (mm)	W	Faktor penimbang antara suhu & elevasi
G_i, G_o	aliran air tanah masuk dan keluar (mm)	R_n	Radiasi netto (MJ/m ² /hari)
E	evaporasi (mm)	e_s	tekanan uap jenuh
T	evapotranspirasi (mm)	e_a	tekanan uap nyata
ΔS	perubahan volume tampungan untuk selang waktu Δt (mm)	(mbar)	
		$f(u)$	fungsi kecepatan angin
ET_o	Evapotranspirasi potensial bulanan (mm/hari)	E	kebutuhan energi (kWh)

Y	pendapatan (Juta rupiah)	s	jenis skenario
P	harga energi (Juta rupiah)	t	tahun perhitungan
a	koefisien	P	Presipitasi (mm/bulan)
Q_i	jumlah dari layanan energi I	AET	evapotranspirasi aktual (mm/bulan)
I_i	intensitas penggunaan energi untuk layanan energi I (kWh/jumlah layanan)	ER	<i>excess rainfall</i> (mm/bulan)
R_s	Radiasi matahari global yang jatuh pada permukaan horisontal tiap satuan luas.	ΔSM	perubahan lengas tanah (mm/bulan)
R_a	Radiasi matahari global yang jatuh pada permukaan horisontal tiap satuan luas di bagian luar atmosfer di atas tempat yang sama.	SMC	kapasitas kelembaban tanah (mm/bulan)
n/N	Persentase penyinaran matahari	ISM	kelembaban tanah awal (mm/bulan)
α	elastisitas pendapatan dari permintaan energi	WS	kelebihan air (mm/bulan)
β	elastisitas harga energi dari permintaan energi	I	infiltrasi (mm/bulan)
D	permintaan energi (kWh)	GWS	tampungan air tanah (mm/bulan)
TA	aktivitas total (<i>total activity</i>)	$IGWS$	tampungan air tanah mula-mula (mm/bulan)
EI	intensitas energi (kWh/aktivitas)	ΔS	perubahan tampungan (mm/bulan)
b	cabang (<i>branch</i>)	DRO	aliran langsung (mm/bulan)
		BF	aliran dasar (mm/bulan)
		ΔE	Selisih evapotranspirasi (mm/bulan)
		m	<i>exposed surface</i> (%)