

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	ix

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Identifikasi Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Rumusan Masalah	3
1.5. Tujuan dan Kegunaan	4

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum	5
2.2. Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air	6
2.3. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro/mini/Mini Hidro (PLTMH)	7
2.4. Hubungan Pemanfaatan Air dan Energi Listrik	9
2.4.1. Pemanfaatan Jaringan Irigasi	9
2.4.2. Pemanfaatan Sistem Distribusi Air Bersih	9
2.4.3. Pemanfaatan Bangunan Pengendali Banjir	10
2.5. Kajian Hidrologi Dalam Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Air	11
2.5.1. Debit Andalan	11
2.5.2. Debit Banjir Rancangan	13
2.6. Desain Hidraulik Pembangkit Listrik Tenaga Mikro/Mini Hidro	19
2.6.1. Komponen Bangunan PLTMH	20
2.6.2. Perencanaan Komponen Bangunan Hidraulik PLTMH	21
2.6.2.1. Kelompok Bangunan Pengambilan	21
2.6.2.2. Kelompok Bangunan Pembawa	26
2.6.2.2.1. Pipa Pesat (Penstock)	26
2.6.2.2.2. Saluran Tenaga (energy canal)	32
2.6.2.3. Kelompok Bangunan Pelengkap	34
2.6.2.3.1. Bak Penampung (Forebay)	34

2.6.2.3.2. Bak Penangkap Sedimen (Settling Basin)	34
2.6.2.3.3. Bangunan Penguras	37
2.6.2.3.4. Saluran pembuang (Tailrace cannal)	39
2.7. Tinggi Jatuh Efektif (Net Head)	40
2.7.1. Kehilangan Tinggi (Head Loss)	41
2.8. Turbin Hidraulik	44
2.8.1. Klasifikasi Turbin	45
2.8.2. Karakteristik Turbin	47
2.8.3. Kavitasi dan Titik Pusat Turbin	49
2.8.4. Dimensi Turbin	54
2.8.5. Efisiensi Turbin	59
2.9. Peralatan dan Fasilitas Listrik	60
2.9.1. Generator	61
2.9.2. Pengatur Kecepatan (Governor)	62
2.9.3. Peningkat Kecepatan (Speed Increaser)	63
2.9.4. Transformer (Travo)	64
2.9.5. Peralatan Pengatur (Switchgear)	65
2.9.6. Aksesoris Kelengkapan (Auxiliary Equipment)	65
2.10. Energi	65
2.11. Sistem Operasi PLTMH	66
2.12. Analisa Emisi Gas Karbon (Green House Gas Emission)	66
2.12.1. Clean Development Mechanism dan Certificate Emission Reduction	67
2.13. Analisa Kelayakan Ekonomi	69
2.13.1. Komponen Manfaat dan Biaya	69
2.12.2. Indikator Kelayakan Ekonomi	75
2.12.3. Usia Guna Suatu Proyek	77
2.14. Perangkat Lunak Dalam Perencanaan PLTMH	78
2.14.1. RETScreen 4.0	78
2.14.2. TURBN PRO	80

BAB III. METODOLOGI

3.1. Lokasi Daerah Studi	86
3.2. Data-data yang Diperlukan	87
3.3. Langkah-langkah Studi	88

BAB IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Konsep PLTMH Mrican	93
4.2. Analisa Hidrologi	94
4.2.1. Analisa Debit Andalan	97
4.2.2. Analisa Debit Banjir Rancangan	98
4.2.3. Analisa Pemilihan Alternatif Debit Desain	102
4.3. Analisa Bangunan Eksisting	104
4.3.1. Analisa Kapasitas Pintu Intake Turitunggorono	104
4.3.2. Analisa Kapasitas Saluran Primer Turitunggorono	107
4.3.3. Analisa Kapasitas Bendung Gerak Terhadap Debit Banjir Rancangan	109
4.3.4. Analisa Tail Water Level (TWL) Pada Hilir Bendung Gerak Mrican	111
4.3.5. Analisa Kapasitas Lahan Di Samping Saluran Primer Turitunggorono	113
4.4. Perencanaan Bangunan Sipil	114
4.4.1. Perencanaan Bangunan Pengambilan	117
4.4.2. Perencanaan Bangunan Tengah (Mid Structure)	119
4.4.2.1. Perencanaan Bak penangkap sedimen	119
4.4.2.2. Perencanaan Bak Penampung (Forebay Tank)	122
4.4.2.3. Perencanaan Bangunan Penguras	122
4.4.3. Perencanaan Pipa Pesat (Penstock)	129
4.4.4. Perencanaan Saluran Pembuang (Tailrace Cannal)	139
4.5. Tinggi Jatuh Efektif	143
4.5.1. Kehilangan Tinggi Tekan	143
4.6. Perencanaan Peralatan Hidromekanik dan Elektrik	147
4.6.1. Turbin Hidraulik	147
4.6.1.1. Metode Amerika (USBR)	149
4.6.1.2. Metode Eropa (ESHA)	157

4.6.1.3.Simulasi TURBNPRO V3	165
4.6.1.4.Desain Turbin Yang Digunakan	172
4.6.2.Peralatan Elektrik	174
4.6.3.Perencanaan Rumah Pembangkit	177
4.7. Analisa Pembangkitan Energi	178
4.8. Analisa Reduksi Gas Karbon (GHG) dan CER	182
4.9. Analisa Ekonomi	184
4.9.1.Pendekatan yang dipergunakan	184
4.9.2.Estimasi Biaya (Cost)	185
4.9.3.Estimasi Manfaat (benefit)	190
4.9.4.Analisa Kelayakan Ekonomi	190
4.9.4.1.Analisa Ekuivalensi Terhadap Kelayakan Ekonomi	190
4.9.4.2.Analisa Kelayakan Ekonomi Menggunakan Aliran Dana (Cash Flow)	191
4.9.4.3.Analisa sensitivitas	202
4.9.4.4.Pengambilan Keputusan	202
4.10. Analisa Studi Kelayakan PLTMH Menggunakan RETScreen 4	203
4.11. Evaluasi Desain Berdasarkan Pemilihan Keputusan	212
 BAB V. PENUTUP	
5.1. Kesimpulan	213
5.2. Saran	214

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.Nilai Kritis Chi-square (X^2 cr)	14
Tabel 2.2.Nilai Kritis Sminrnov Kolmogrov	15
Tabel 2.3.Nilai K untuk distribusi Log Pearson Type III	17
Tabel 2.6.Klasifikasi dan kapasitas turbin	45
Tabel 2.4.Karakteristik Bahan Material Pipa Pesat	30
Tabel 2.5.Karakteristik Bahan Material Pipa Pesat	33
Tabel 2.7.Nilai Tekanan Atmosfer	52
Tabel 2.8.Nilai Tekanan Uap Air	53
Tabel 2.9.Hubungan Antara Daya Generator Dengan Effisiensi	62
Tabel 2.10.Nilai kecepatan generator untuk generator sinkron	62
Tabel 2.11.Nilai Faktor Emisi Gas Karbon Untuk Tiap Jenis Bahan Bakar	67
Tabel 2.12.Usia Guna Jenis Bangunan Atau Peralatan Pembangkit Listrik	77
Tabel 4.1.Klasifikasi PLTMH Mrican	94
Tabel 4.2.Data Pengukuran Debit Outflow Bendung Gerak Mrican	94
Tabel 4.3.Data Kebutuhan Debit Irigasi DI Turitunggorono Dan DI Warujayeng	95
Tabel 4.4.Data Debit berdasarkan keandalan	97
Tabel 4.5.Data Debit Yang Diurutkan Dari Besar Ke Kecil	99
Tabel 4.6.Pembagian Interval Kelas Uji Chi kuadrat	100
Tabel 4.7.Perhtiungan Uji Chi Kuadrat	100
Tabel 4.8.Perhtiungan Uji Smirnov Kolmogrov	101
Tabel 4.9.Perhitungan Debit Banjir Rancangan Metode Log Pearson Tipe III	102
Tabel 4.10.Alternatif Debit Desain Yang Digunakan Untuk Analisa Energi	103
Tabel 4.11.Kapasitas Pintu Intake Turitunggorono	106
Tabel 4.12.Kapasitas Saluran Primer Turitunggorono	108
Tabel 4.13.Analisa Kapasitas Saluran Terhadap Alternatif Debit Desain	109
Tabel 4.14.Analisa Kapasitas Bendung Gerak Terhadap Debit Banjir Rancangan	110
Tabel 4.15.Perhitungan Profil Muka Air Pada Hilir Sungai Bendung Mrican	113
Tabel 4.16.Perhitungan Elevasi TWL Untuk Tiap Debit Banjir Rancangan	113
Tabel 4.17.Perhitungan Kapasitas Pintu Intake PLTMH	118
Tabel 4.18.Perhitungan Profil Hilir Pelimpah Samping Tipe Ogee I	125

Tabel 4.19.Perhitungan Kehilangan Tinggi Tekan Akibat Diameter Pipa Pesat	133
Tabel 4.20.Perbandingan Antara Daya Bangkitan Dengan Biaya Pipa	135
Tabel 4.21.Perbandingan Analisa Vortex Terhadap Diameter Pipa	136
Tabel 4.22.Perhitungan Tinggi Muka Air Diatas Ambang	141
Tabel 4.23.Perhitungan Tinggi Muka Air Diatas Ambang	142
Tabel 4.24.Perhitungan kehilangan tinggi dan tinggi jatuh efektif	146
Tabel 4.25.Alternatif Pemilihan Jumlah Kutub Terhadap Kecepatan Spesifik	150
Tabel 4.26.Analisa Kepekaan Kavitasi Terhadap Elv TWL (USBR)	153
Tabel 4.27.Perhitungan Dimensi Rumah Siput Turbin	155
Tabel 4.28.Perhitungan Dimensi Draft Tube Turbin	156
Tabel 4.29.Klasifikasi turbin berdasarkan tinggi jatuh (H_n)	157
Tabel 4.30.Kepekaan Turbin Terhadap Variasi Debit Dan Tinggi Jatuh	158
Tabel 4.31.Alternatif Pemilihan Jumlah Kutub Terhadap Kecepatan Spesifik	160
Tabel 4.32.Analisa Kepekaan Kavitasi Terhadap Elv TWL (ESHA)	162
Tabel 4.33.Perhitungan Dimensi Rumah Siput Turbin	163
Tabel 4.34.Perhitungan Dimensi Draft Tube Turbin	164
Tabel 4.35.Hasil Simulasi Performa Turbin Pada $H_{eff} = 7,5$ m	172
Tabel 4.36.Rangkuman Spesifikasi Turbin Untuk Tiap Metode	173
Tabel 4.37.Jumlah Hari Operasi Tiap Alternatif Berdasarkan Probabilitasnya	180
Tabel 4.38.Tinggi Jatuh Efektif Berdasarkan Alternatif Debit	181
Tabel 4.39.Hasil Pembangkitan Energi harian Tiap Alternatif	181
Tabel 4.40.Analisa Kapasitas Terpasang Berdasarkan Tiap Alternatif	181
Tabel 4.41.Hasil Pembangkitan Energi Tahunan (Annual Generation)	182
Tabel 4.42.Ringkasan Reduksi GHG Untuk Tiap Jenis Bahan Bakar	183
Tabel 4.43.Hasil Perhitungan Estimasi Biaya Tiap Alternatif	189
Tabel 4.44.Kegiatan inspeksi dan pemeliharaan PLTMH Mrican	189
Tabel 4.45.rencanan jenis pekerjaan dan pekerja PLTMH Mrican	190
Tabel 4.46.Estimasi Manfaat Untuk Tiap Alternatif	190
Tabel 4.47.Cash Flow Alternatif 1 (Dalam Milyar Rupiah)	192
Tabel 4.48.Cash Flow Alternatif 2 (Dalam Milyar Rupiah)	194
Tabel 4.49.Cash Flow Alternatif 3 (Dalam Milyar Rupiah)	196

Tabel 4.50.Cash Flow Alternatif 4 (Dalam Milyar Rupiah)	198
Tabel 4.51.Hasil Analisa Sensitivitas Tiap Alternatif	202
Tabel 4.52.Rangkuman Hasil Analisa Kelayakan Ekonomi	203



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Pengembangan pembangkit energi dengan sumber energi terbarukan	5
Gambar 2.2. Skema Konversi Energi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Air.	6
Gambar 2.3. Sistem PLTMH Dengan Menggunakan Sistem Run Off River	8
Gambar 2.4. Sistem PLTMH Dengan Menggunakan Sistem tandon atau reservoir.	8
Gambar 2.5. Sistem PLTMH Dengan pemanfaatan saluran irigasi	9
Gambar 2.6. contoh aplikasi turbin sebagai pengatur energi tekan pada sistem distribusi air bersih	10
Gambar 2.7. contoh aplikasi PLTMH dengan bangunan melintang sungai	11
Gambar 2.8. Kurva Durasi Aliran	12
Gambar 2.9. Grafil Hubungan Bilangan Froude Dengan TWL	18
Gambar 2.10. Grafik Hubungan Bilangan Froude Dengan TWL	19
Gambar 2.11. Bendung dengan mercu bulat	21
Gambar 2.12. Macam macam bentuk mercu OGEE	22
Gambar 2.13. Grafik hubungan nilai C_0 dengan nilai P/H_1	23
Gambar 2.14. Grafik hubungan nilai C_1 dengan nilai P/H_1	23
Gambar 2.15. Grafik hubungan nilai C_2 dengan nilai P/H_1	23
Gambar 2.16. Pintu Pengambilan	24
Gambar 2.17. Parameter fisik penyaring (trashrack)	26
Gambar 2.18. Pipa Pesat tak tertanam	28
Gambar 2.19. Skema Inlet Pipa Pesat	31
Gambar 2.20. Inlet Pipa Pesat Dan Kelengkapannya	32
Gambar 2.21. Tipe tipe bentuk dari bak penampung (forebay)	34
Gambar 2.22. Konsep Pengendapan Sedimen	35
Gambar 2.23. Grafik Hubungan Diameter Butiran Dengan Kecepatan Jatuh	35
Gambar 2.24. Sketsa Kondisi Hidrolika Aliran Bebas Pada Saluran Tertutup	38
Gambar 2.25. Sketsa Kondisi Hidrolika Aliran Pada Gorong Gorong	38
Gambar 2.26. Sketsa Kondisi Hidrolika Pada Terjunan	39
Gambar 2.27. Sketsa Tinggi Jatuh Efektif	40
Gambar 2.28. Nilai f berdasarkan bentuk inlet	41

Gambar 2.29.Diagram Moody	42
Gambar 2.30.Kisaran nilai ξ berdasarkan tipe kontraksi	43
Gambar 2.31.Sketsa situasi kehilangan tinggi akibat penyempitan dan pelebaran	43
Gambar 2.32.Kisaran nilai ξ akibat belokan	44
Gambar 2.33.Kisaran nilai ξ akibat pintu dan katup	44
Gambar 2.34.Jenis Turbin Untuk Pembangkitan Tenaga Mikro/mini	45
Gambar 2.35.Grafik Pemilihan Jenis Turbin Berdasarkan Kecepatan Spesifik Dan Tinggi Jatuh	46
Gambar 2.36.Grafik Pemilihan Jenis Turbin Berdasarkan Kecepatan Spesifik, Tinggi Jatuh dan Daya	46
Gambar 2.37.Skema Pemasangan Turbin Untuk Analisa Kavitas	50
Gambar 2.38.Pemilihan Bentuk Runner Berdasarkan Kecepatan Spesifik	55
Gambar 2.39.Skema Runner Untuk Turbin Francis	55
Gambar 2.40.Skema Runner Untuk Turbin Kaplan	56
Gambar 2.41.Skema Rumah siput (spiral case)	58
Gambar 2.42.Dimensi draft tube untuk turbin kaplan	59
Gambar 2.43.Kisaran Nilai Efisiensi Untuk Tiap Jenis Turbin	60
Gambar 2.44.Pengatur Kecepatan (Governor) Tipe Mekanik	63
Gambar 2.45.Peningkat Kecepatan Tipe Parallel Shaft Dan Bevel Gears	64
Gambar 2.46.Peningkat Kecepatan Tipe Belst Speed Increaser	64
Gambar 2.47.Switchgears	65
Gambar 2.48.Proses pembakaran bahan bakar dalam pembangkitan energi listrik	67
Gambar 2.49.Prinsip pengurangan emisi gas rumah kaca dengan CDM	68
Gambar 2.50.Tampilan Awal RETScreen 4.0	78
Gambar 2.51.Langkah Standar Pengerjaan RETScreen 4.0	79
Gambar 2.52.Tampilan Awal TURBNPRO V3	80
Gambar 2.53.Grafik Pemilihan Tipe Turbin	81
Gambar 2.54.Tampilan Input Data TURBNPRO V3	81
Gambar 2.55.Tampilan Alternatif Solusi TURBNPRO V3	82
Gambar 2.56.Tampilan Pengaturan Turbin TURBNPRO V3	82
Gambar 2.57.Tampilan Ringkasan Desain TURBNPRO V3	83

Gambar 2.58.Tampilan Gambar Desain TURBNPRO V3	84
Gambar 2.59.Tampilan Hill Curve TURBNPRO V3	85
Gambar 3.1.peta kabupaten Kediri	86
Gambar 3.2.Lokasi studi	87
Gambar 3.3.Bagan alir pengerjaan skripsi	90
Gambar 3.4.Bagan Alir Simulasi Aplikasi Retscreen 4.0	91
Gambar 3.5.Bagan Alir Simulasi Aplikasi TURBNPRO V3	92
Gambar 4.1. Sketsa konsep PLTMH Mrican	93
Gambar 4.2.Grafik Pengukuran Debit Outflow Bendung Gerak Mrican	96
Gambar 4.3.Grafik Kebutuhan Debit Irigasi DI Warujayeng dan DI Turitunggorono tahun 2012	96
Gambar 4.4.Kurva Durasi Aliran Pada Bendung Gerak Mrican	98
Gambar 4.5.Debit Desain Untuk Perencanaan Desain Bangunan	103
Gambar 4.6.Konsep Alternatif Desain Terhadap Lokasi Studi	104
Gambar 4.8.Grafik Hubungan Nilai h_1/a Dengan Koefisien Aliran Bebas	105
Gambar 4.7.Aliran Melalui Pintu Sorong	105
Gambar 4.9.Kurva kapasitas Pintu intake Turitunggorono	106
Gambar 4.10.Rating Curve Saluran Primer Turitunggorono	108
Gambar 4.11.Bentuk Tipikal Saluran Primer Turitunggorono	109
Gambar 4.12.Kurva kapasitas Bendung Gerak Mrican	110
Gambar 4.13.Pintu Bendung Gerak Mrican	111
Gambar 4.14.Potongan Melintang Hilir Bendung Mrican Di Lokasi Rencana PLTMH	112
Gambar 4.15.Denah lokasi rencana PLTMH	114
Gambar 4.16.Lokasi Rencana PLTMH Tampak Samping	114
Gambar 4.17.Rencanan Komponen Bangunan Sipil PLTMH Mrican	115
Gambar 4.18.Sketsa Umum Denah Lokasi Penempatan Bangunan	116
Gambar 4.19.Desain Pintu Intake PLTMH Mrican	117
Gambar 4.20.Kapasitas Pintu Intake PLTMH	118
Gambar 4.21.Desain Trashrack Intake PLTMH Mrican	119
Gambar 4.22.Penentuan Kecepatan Jauh Butiran Sedimen	120

Gambar 4.23.Konsep Kecepatan Jauh Butiran Sedimen	121
Gambar 4.24.Desain Culvert Penguras Pada Bak Penangkap Sedimen	123
Gambar 4.25.Parameter Bentuk Dimensi Mercu Ogee Tipe I	124
Gambar 4.26.Grafik Hubungan Bilangan Froude Dengan Rasio Y_2/Y_1	126
Gambar 4.27.Grafik Hubungan Bilangan Froude Dengan Rasio L/Y_2	126
Gambar 4.28.Desain Pelimpah Samping Dengan Tipe Ogee	127
Gambar 4.29.Desain Terjunan (Drop Structure)	129
Gambar 4.30.Desain screen PLTMH Mrican	131
Gambar 4.31.Skema Inlet Pada Pipa Pesat	135
Gambar 4.32.Desain Diameter dan Tebal Pipa Pesat	138
Gambar 4.33.Bentuk Tipikal Katup pintu (gate valve)	139
Gambar 4.34.Rating Curve Pada Ambang	141
Gambar 4.35.Sketsa Kondisi Muka Air Pada Saluran Tailrace	142
Gambar 4.36.Skema Kehilangan Tinggi Tekan	143
Gambar 4.37.Diagram moody	146
Gambar 4.38.Diagram Alir Perencanaan Turbin Hidraulik	148
Gambar 4.39.Grafik Pemilihan Tipe Turbin Yang Disarankan Menurut USBR	149
Gambar 4.40.Grafik Pemilihan Tipe Turbin	151
Gambar 4.41.Tipikal Penentuan Titik Pusat Turbin Terhadap TWL	153
Gambar 4.42.Bentuk Tipikal Diameter Turbin Kaplan	154
Gambar 4.43.Penjelasan Tiap Section Rumah Siput	155
Gambar 4.44.Penjelasan Tiap Section Draft Tube	156
Gambar 4.45.Grafik Pemilihan Tipe Turbin Yang Disarankan Menurut ESHA	158
Gambar 4.46.Grafik Pemilihan Tipe Turbin Menurut TURBNPRO V3	165
Gambar 4.47.Tampilan Entry Data Pada TURBNPRO V3	165
Gambar 4.48.Tampilan pemilihan solusi Pada TURBNPRO V3	166
Gambar 4.49.Tampilan Konfigurasi Turbin Pada TURBNPRO V3	167
Gambar 4.50.Tampilan Hasil Simulasi Pada TURBNPRO V3	169
Gambar 4.51.Tampilan Hill Curve Pada TURBNPRO V3	171
Gambar 4.52.Kurva Perforam Turbin Pada $H_{eff} = 6,45$ m	172
Gambar 4.53.Desain Tipikal Parralel Shaft Speed Increaser (Penche,2004)	175

Gambar 4.54.Potensi Tenaga Air Pada Sungai Brantas Di Lokasi Studi	180
Gambar 4.55.Kurva Durasi Beban PLTMH Mrican	182
Gambar 4.56.Kurva Cash Flow Alternatif 1	200
Gambar 4.57.Kurva Cash Flow Alternatif 2	200
Gambar 4.58.Kurva Cash Flow Alternatif 3	201
Gambar 4.59.Kurva Cash Flow Alternatif 4	201
Gambar 4.60.Tampilan awal RETScreen 4	204
Gambar 4.61.Tampilan Data untuk lembar model energi	205
Gambar 4.62.Hasil Simulasi Model Energi	206
Gambar 4.63.Lembar Model Analisa Biaya	206
Gambar 4.64.Lembar Hydrocosting Formula	207
Gambar 4.65.Lembar Analisa Reduksi Emisi (GHG)	208
Gambar 4.66.Lembar Analisa Finansial (Finance Parameter & Annual Income)	209
Gambar 4.67.Lembar Analisa Finansial (biaya dan kelayakan ekonomi)	210
Gambar 4.68.Lembar Analisa Finansial (Cash flow)	211
Gambar 4.69.Kurva aliran kas (Cash flow)	212