## DAFTAR ISI


**KATA PENGANTAR** **i**
**DAFTAR ISI** **ii**
**DAFTAR TABEL** **vi**
**DAFTAR GAMBAR** **viii**

**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
2.6. Desain Hidraulik Pembangkit Listrik Tenaga Mikro/Mini Hidro 13
2.6.1.Komponen Bangunan PLTMH 14
2.6.2.Perencanaan Komponen Bangunan Hidraulik PLTMH 15
2.6.2.1.Kelompok Bangunan Pengambilan 15
2.6.2.2.Kelompok Bangunan Pembawa 17
2.6.2.2.1.Pipa Pesat (Penstock) 17
2.6.2.2.2.Saluran Tenaga (Energy Canal) 24
2.6.2.3.Kelompok Bangunan Pelengkap 25
2.6.2.3.1.Saluran pembuang (Tailrace cannal) dan TWL 25
2.7. Tinggi Jatuh Effektif (Net Head) 27
2.7.1.Kehilangan Tinggi (Head Loss) 28

2.8. Turbin Hidraulik 31
2.8.1.Klasifikasi Turbin 32
2.8.2.KarakteristikTurbin 34
2.8.3.Kavitasi danTitik Pusat Turbin 36
2.8.4.Dimensi Turbin 41
2.8.5.Efisiensi Turbin 46
2.9. Peralatan dan Fasilitas Listrik 47
2.9.1.Generator 48
2.9.2.Pengatur Kecepatan (Governor) 49
2.9.3.Peningkat Kecepatan (Speed Increaser) 50
2.9.4.Transformer (Travo) 51
2.9.5.Peralatan Pengatur (Switchgear) 52
2.9.6.Aksesoris Kelengkapan (Auxiliary Equipment) 52
2.10. Energi 52
2.11. Sistem Operasi PLTMH 53
2.12. Analisa Emisi Gas Karbon (Green House Gas Emission) 53
2.12.1.Clean Development Mechanism dan Certificate Emission Reduction 54
2.13. Analisa Kelayakan Ekonomi 56
2.13.1.Komponen Manfaat dan Biaya 56
2.13.2.Indikator Kelayakan Ekonomi 61
2.13.3.Usia Guna Suatu Proyek 62
2.14. Perangkat Lunak Dalam Perencanaan PLTMH 63
2.14.1.TURBN PRO 63

**BAB III. METODOLOGI**

3.1. Lokasi Daerah Studi 70
3.2. Data-data yang Diperlukan 72
3.2.1. Data Teknis Bendungan Wlingi 72
3.3. Langkah-langkah Studi 73

**BAB IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN**


4.1. Konsep Perencanaan PLTMH Wlingi 77
4.2. Analisa Debit Desain PLTMH Wlingi 77
4.3. Analisa Bangunan Eksisting 80
4.3.1.Analisa Kapasitas Pintu Intake Lodagung 80
4.3.2.Analisa Kapasitas Saluran Irigasi Lodagung 82
4.4. Perencanaan Bangunan Sipil 83
4.4.1.Perencanaan Bangunan Pengambilan 83
4.4.2.Perencanaan Bangunan Pembawa, Pipa Pesat (Penstock) 84
4.4.3.Perencanaan Bangunan Pembuang 94
4.5. Tinggi Jatuh Effektif 97
4.5.1.Kehilangan Tinggi Tekan 97
4.6. Perencanaan Peralatan Hidromekanik dan Elektrik 101
4.6.1.Turbin Hidraulik 101
4.6.1.1.Metode Amerika (USBR) 103
4.6.1.2.Metode Eropa (ESHA) 111
4.6.1.3.Simulasi TURBNPRO V3 119
4.6.1.4.Desain Turbin Yang Digunakan 127
4.6.2.Peralatan Elektrik 129
4.6.3.Perencanaan Rumah Pembangkit 131
4.7. Analisa Pembangkitan Energi 131
4.8. Analisa Reduksi Gas Karbon (GHG) dan CER 141
4.9. Analisa Ekonomi 142
4.9.1.Pendekatan yang dipergunakan 142
4.9.2.Estimasi Biaya (Cost) 142
4.9.3.Estimasi Manfaat (Benefit) 147
4.9.4.Analisa Kelayakan Ekonomi 147
4.9.4.1.Analisa Ekuivalensi Terhadap Kelayakan Ekonomi 147
4.9.4.2.Analisa Kelayakan Ekonomi Menggunakan Aliran Dana (Cash Flow) 148
4.9.4.3.Analisa sensitivitas 156
4.9.4.4.Pengambilan Keputusan 157

4.10. Evaluasi Desain Berdasarkan Pemilihan Keputusan 158

**BAB V. PENUTUP**

5.1. Kesimpulan 159

5.2. Saran 160

## DAFTAR TABEL


Tabel 2.1.Karakteristik Bahan Material Pipa Pesat 22

Tabel 2.2. Karakteristik Bahan Material Pipa Pesat 25

Tabel 2.3.Klasifikasi dan Kapasitas Turbin 32

Tabel 2.4.Nilai Tekanan Atmosfer 39

Tabel 2.5.Nilai Tekanan Uap Air 40

Tabel 2.6.Hubungan Antara Daya Generator Dengan Effisiensi 49

Tabel 2.7.Nilai Kecepatan Generator Untuk Generator Sinkron 49

Tabel 2.8.Nilai Faktor Emisi Gas Karbon Untuk Tiap Jenis Bahan Bakar 54

Tabel 2.9.Usia Guna Jenis Bangunan Atau Peralatan Pembangkit Listrik 63

Tabel 4.1.Klasifikasi PLTMH Mrican 77

Tabel 4.2.Data Debit Bulanan Irigasi Lodagung Tahun 2012 78

Tabel 4.3.Kapasitas Pintu Irigasi Lodagung 81

Tabel 4.4.Pemilihan Parameter Penstock dengan Cara Coba-coba 87

Tabel 4.5. Perhitungan Kehilangan Tinggi Tekan Akibat Diameter Pipa Pesat 89

Tabel 4.6. Analisa Terhadap Diameter dengan Biaya dan Manfaat 90

Tabel 4.7. Perbandingan Analisa Vortex Terhadap Diameter Pipa 91

Tabel 4.8. Perhitungan Tinggi Muka Air Diatas Ambang 95

Tabel 4.9. Perhitungan Tinggi Muka Air Diatas Ambang 96

Tabel 4.10. Perhitungan Kehilangan Tinggi dan Tinggi Jatuh Effektif 101

Tabel 4.11. Alternatif Pemilihan Jumlah Kutub Terhadap Kecepatan Spesifik 104

Tabel 4.12. Analisa Kepekaan Kavitasi Terhadap Elv TWL (USBR) 107

Tabel 4.13. Perhitungan Dimensi Rumah Siput Turbin 109

Tabel 4.14. Perhitungan Dimensi *Draft Tube* Turbin 110

Tabel 4.15. Klasifikasi Turbin Berdasarkan Tinggi Jatuh (Hn) 111

Tabel 4.16. Kepekaan Turbin Terhadap Variasi Debit dan Tinggi Jatuh 112

Tabel 4.17. Alternatif Pemilihan Jumlah Kutub Terhadap Kecepatan Spesifik 114

Tabel 4.18. Analisa Kepekaan Kavitasi Terhadap Elv TWL (ESHA) 116

Tabel 4.19. Perhitungan Dimensi Rumah Siput Turbin 117

Tabel 4.20. Perhitungan Dimensi *Draft Tube* Turbin 118

Tabel 4.21. Hasil Simulasi Performa Turbin Pada Heff = 9,46 m 126

Tabel 4.22. Rangkuman Spesifikasi Turbin Untuk Tiap Metode 128
Tabel 4.23. Tinggi Jatuh Effektif Berdasarkan Alternatif Debit 132
Tabel 4.24. Hasil Pembangkitan Energi harian Tiap Alternatif 133
Tabel 4.25. Analisa Kapasitas Terpasang Berdasarakan Tiap Alternatif 133
Tabel 4.26. Hasil Pembangkitan Energi Tahunan (*Annual Generation*) 133
Tabel 4.27. Energi Total Operasi PLTMH Tahun 2012 (Alternatif 1) 135
Tabel 4.28. Energi Total Operasi PLTMH Tahun 2012 (Alternatif 2) 137
Tabel 4.29. Energi Total Operasi PLTMH Tahun 2012 (Alternatif 3) 139
Tabel 4.30. Ringkasan Reduksi GHG Untuk Tiap Jenis Bahan Bakar 141
Tabel 4.31. Parameter Estimasi Biaya 143
Tabel 4.32. Hasil Perhitungan Estimasi Biaya Tiap Alternatif 146
Tabel 4.33. Kegiatan Inspeksi dan Pemeliharaan PLTMH Wlingi 146
Tabel 4.34. Rencanan Jenis Pekerjaan dan Pekerja PLTMH Wlingi 147
Tabel 4.35. Estimasi Manfaat Untuk Tiap Alternatif 147
Tabel 4.36. *Cash Flow* Alternatif 1 (Dalam Milyar Rupiah) 149
Tabel 4.37. *Cash Flow* Alternatif 2 (Dalam Milyar Rupiah) 151
Tabel 4.38. *Cash Flow* Alternatif 3 (Dalam Milyar Rupiah) 153
Tabel 4.39. Hasil Analisa Sensitivitas Tiap Alternatif 156
Tabel 4.40. Rangkuman Hasil Analisa Kelayakan Ekonomi 157

## DAFTAR GAMBAR


Gambar 2.1.Pengembangan pembangkit energi dengan sumber energi terbarukan 5
Gambar 2.2.Skema Konversi Energi Pada Pembangkit Lisrik 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.Grafik Hubungan Debit dan Daya 13
Gambar 2.10.Pintu Pengambilan 16
Gambar 2.11.Parameter fisik penyaring (trashrack) 17
Gambar 2.12.Pipa Pesat tak tertanam 19
Gambar 2.13.Skema Inlet Pipa Pesat 23
Gambar 2.14.Inlet Pipa Pesat Dan Kelengkapannya 24
Gambar 2.15.Penampung saluran yang paling baik 26
Gambar 2.16.Sketsa Tinggi Jatuh Effektif 27
Gambar 2.17.Nilai f berdasarkan bentuk inlet 28
Gambar 2.18.Diagram Moody 29
Gambar 2.19.Kisaran nilai ξ berdasarkan tipe kontraksi 30
Gambar 2.20.Sketsa situasi kehilangan tinggi akibat penyempitan dan pelebaran 30
Gambar 2.21.Kisaran nilai ξ akibat belokan 31
Gambar 2.22.Kisaran nilai ξ akibat pintu dan katup 31
Gambar 2.23.Jenis Turbin Untuk Pembangkitan Tenaga Mikro/mini 32
Gambar 2.24.Grafik Pemilihan Jenis Turbin Berdasarkan Kecepatan Spesifik Dan Tinggi Jatuh 33
Gambar 2.25.Grafik Pemilihan Jenis Turbin Berdasarkan Kecepatan Spesifik, Tinggi Jatuh dan Daya 33
Gambar 2.26.Skema Pemasangan Turbin Untuk Analisa Kavitasi 37

Gambar 2.27.Pemilihan Bentuk Runner Berdasarkan Kecepatan Spesifik 42
Gambar 2.28.Skema Runner Untuk Turbin Francis 42
Gambar 2.29.Skema Runner Untuk Turbin Kaplan 43
Gambar 2.30.Skema Rumah siput (spiral case) 45
Gambar 2.31.Dimensi draft tube untuk turbin kaplan 46
Gambar 2.32.Kisaran Nilai Efisiensi Untuk Tiap Jenis Turbin 47
Gambar 2.33.Pengatur Kecepatan (Governor) Tipe Mekanik 50
Gambar 2.34.Peningkat Kecepatan Tipe Parallel Shaft Dan Bevel Gears 51
Gambar 2.35.Peningkat Kecepatan Tipe Belst Speed Increaser 51
Gambar 2.36.Switchgears 51
Gambar 2.37.Proses pembakaran bahan bakar dalam pembagkitan energi listrik 54
Gambar 2.38.Prinsip pengurangan emisi gas rumah kaca dengan CDM 55
Gambar 2.39.Tampilan Awal TURBNPRO V3 64
Gambar 2.40.Grafik Pemilihan Tipe Turbin 65
Gambar 2.41.Tampilan Input Data TURBNPRO V3 65
Gambar 2.42.Tampilan Alternatif Solusi TURBNPRO V3 66
Gambar 2.43.Tampilan Pengaturan Turbin TURBNPRO V3 66
Gambar 2.44.Tampilan Ringkasan Desain TURBNPRO V3 67
Gambar 2.45.Tampilan Gambar Desain TURBNPRO V3 68
Gambar 2.46.Tampilan Hill Curve TURBNPRO V3 69
Gambar 3.1.Peta Kabupaten Blitar 70
Gambar 3.2.Bendungan Wlingi Melalui Google Earth 71
Gambar 3.3. Bendungan Wlingi Melalui Google Earth 71
Gambar 3.4.Bagan Alir Pengerjaan Skripsi 75
Gambar 3.5.Bagan Alir Simulasi Aplikasi TURBNPRO V3 76
Gambar 4.1. Grafik Hubungan Debit dengan Daya (Alternatif 1) 79
Gambar 4.2. Grafik Hubungan Debit dengan Daya (Alternatif 2) 79
Gambar 4.3. Grafik Hubungan Debit dengan Daya (Alternatif 3) 80
Gambar 4.4. Kurva Kapasitas Pintu Intake Lodagung 82
Gambar 4.5. Pintu Intake Irigasi Lodagung 84
Gambar 4.6. Skema Inlet Pada Pipa Pesat 90

Gambar 4.7. Desain Diameter dan Tebal Pipa Pesat 93
Gambar 4.8. Bentuk Tipikal Katup pintu (*gate valve*) 94
Gambar 4.9. Rating Curve Pada Ambang 96
Gambar 4.10. Desain Ambang Lebar Pada Saluran *Tailrace* 97
Gambar 4.11. Skema Kehilangan Tinggi Tekan 97
Gambar 4.12. Diagram Moody 100
Gambar 4.13. Diagram Alir Perencanaan Turbin Hidraulik 102
Gambar 4.14. Grafik Pemilihan Tipe Turbin Yang Disarankan Menurut USBR 103
Gambar 4.15. Grafik Pemilihan Tipe Turbin 105
Gambar 4.16. Tipikal Penentuan Titik Pusat Turbin Terhadap TWL 107
Gambar 4.17. Bentuk Tipikal Diameter Turbin Kaplan 108
Gambar 4.18. Penjelasan Tiap Section Rumah Siput 109
Gambar 4.19. Penjelasan Tiap Section Draft Tube 110
Gambar 4.20. Grafik Pemilihan Tipe Turbin Yang Disarankan Menurut ESHA 112
Gambar 4.21. Grafik Pemilihan Tipe Turbin Menurut TURBNPRO V3 119
Gambar 4.22. Tampilan Entry Data Pada TURBNPRO V3 119
Gambar 4.23. Tampilan pemilihan solusi Pada TURBNPRO V3 120
Gambar 4.24. Tampilan Konfigurasi Turbin Pada TURBNPRO V3 121
Gambar 4.25. Tampilan Hasil Simulasi Pada TURBNPRO V3 124
Gambar 4.26. Tampilan Hill Curve Pada TURBNPRO V3 125
Gambar 4.27. Kurva Perforam Turbin Pada Heff = 9,46 m 126
Gambar 4.28. Desain Tipikal Parralel Shaft Speed Increaser (Penche,2004) 130
Gambar 4.29. Grafik Hubungan Debit dan Energi (Alternatif 1) 136
Gambar 4.30. Grafik Hubungan Debit dan Energi (Alternatif 2) 138
Gambar 4.31. Grafik Hubungan Debit dan Energi (Alternatif 3) 140
Gambar 4.32. Kurva Cash Flow Alternatif 1 155
Gambar 4.33. Kurva Cash Flow Alternatif 2 155
Gambar 4.34. Kurva Cash Flow Alternatif 3 156