

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iii
NASKAH SOAL TUGAS AKHIR	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
INTISARI	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR NOTASI.....	xvii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penulisan.....	4
1.5 Manfaat Penulisan.....	4
1.6 Metodologi	5
1.7 Sistematika Penulisan.....	8

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Tenaga Air.....	10
2.2 Klasifikasi PLTA	13
2.3 Komponen PLTA	15
2.3.1 Bendungan	15
2.3.2 Pelimpah (<i>spillway</i>).....	22

2.3.3	Bangunan ambil air (<i>intake</i>).....	25
2.3.4	Saluran atas (<i>head race</i>).....	26
2.3.5	Kolam pengendap (<i>settling basin</i>)	28
2.3.6	Bak penenang (<i>forebay / head tank</i>)	29
2.3.7	Pipa pesat (<i>penstock</i>).....	30
2.3.8	Turbin air	37
2.3.9	Penutup (<i>casing</i>)	52
2.3.10	Pipa lepas (<i>draft tube</i>).....	54
2.3.11	Generator.....	55
2.3.12	Transmisi daya mekanik	58
2.3.13	Rumah pembangkit (<i>powerhouse</i>)	59
2.3.14	Saluran bawah (<i>tail race</i>).....	62
2.3.15	Pintu air (<i>gates</i>) dan katup (<i>valves</i>).....	66
2.4	Kerugian <i>Head</i>	67
2.4.1	Kerugian gesek.....	67
2.4.2	Kerugian minor	69
2.5	Ekonomi PLTA	72

BAB III PLTA BALAMBANO

3.1	Pendahuluan	74
3.2	Kajian Beban.....	74
3.1.1	Beban sistem	74
3.1.2	Karakteristik beban	76
3.3	Karakteristik PLTA Balambano.....	77
3.4	Komponen PLTA Balambano.....	77
3.4.1	Bendungan RCC (<i>Roller Compacted Concrete</i>)	77
3.4.2	Saluran pelimpah (<i>spillway</i>)	78
3.4.3	Jalan pemasukan dan jalur air.....	79
3.4.4	Rumah pembangkit.....	80
3.4.5	Peralatan mekanik dan listrik.....	80

BAB IV KAPASITAS PLTA

4.1	<i>Head</i> Efektif	82
4.1.1	Kerugian <i>head</i>	82
4.1.2	<i>Head</i> efektif	86
4.2	Pemilihan Jenis Turbin	86
4.3	Analisis Kapasitas Pembangkitan	87
4.3.1	Kurva durasi aliran	87
4.3.2	Kurva durasi daya	89
4.3.3	Penentuan kapasitas terpasang	90
4.3.4	Penentuan jumlah unit turbin	94
4.3.5	Faktor kapasitas	98

BAB V KOMPONEN SISTEM PLTA

5.1	Bendungan	100
4.1.1	Jenis bendungan	100
4.1.2	Volume pekerjaan	101
5.2	<i>Intake</i>	108
5.2.1	Struktur bangunan <i>intake</i>	108
5.2.2	Volume pekerjaan	109
5.3	Pelimpah (<i>Spillway</i>)	110
5.4	Pipa Pesat (<i>Penstock</i>)	111
5.4.1	Struktur pipa pesat	111
5.4.2	Dimensi pipa pesat	113
5.4.3	Volume pekerjaan	116
5.5	Turbin	121
5.6	<i>Spiral Case</i>	124
5.7	Pipa Lepas (<i>Draft Tube</i>)	126
5.8	Generator dan Jaringan Listrik	127
5.9	Rumah Pembangkit (<i>Powerhouse</i>)	129
5.9.1	Struktur bangunan	129
5.9.2	Dimensi rumah pembangkit (<i>powerhouse</i>)	129

5.9.3	Sistem dan peralatan <i>auxilliary</i>	130
5.9.4	Volume pekerjaan.....	134
5.10	<i>Crane</i>	136
5.11	Saluran Bawah (<i>Tail Race</i>)	136

BAB VI ANALISIS EKONOMI

6.1	Parameter Ekonomi.....	140
6.2	Biaya Investasi.....	140
6.2.1	Bendungan	141
6.2.2	<i>Intake</i>	142
6.2.3	Pipa pesat (<i>penstock</i>)	142
6.2.4	<i>Spiral case</i>	142
6.2.5	Rumah pembangkit (<i>powerhouse</i>).....	143
6.2.6	Elektrik mekanik.....	143
6.2.7	Jaringan listrik	144
6.2.8	Saluran bawah (<i>tail race</i>)	144
6.3	Uji Kelayakan	145
6.3.1	<i>Benefit cost ratio (BCR)</i>	145
6.3.2	<i>Net present value (NPV)</i>	147
6.3.3	<i>Internal rate of return (IRR)</i>	149
6.4	<i>Cash Flow</i>	150
6.4	<i>BEP (Break Even Point)</i>	152

BAB VII PENUTUP

7.1	Kesimpulan.....	153
7.2	Saran	154

DAFTAR PUSTAKA	155
-----------------------------	-----

LAMPIRAN	157
-----------------------	-----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Skema pengerjaan tugas akhir.....	7
Gambar 2.1	Efisiensi dari 1 unit pembangkit pada PLTA.....	11
Gambar 2.2	Pengaruh jumlah unit turbin terhadap efisiensi system.....	10
Gambar 2.3	Bendungan dan ilustrasi bendungan.....	16
Gambar 2.4	Bentuk umum dari <i>Embankment Dam</i>	18
Gambar 2.5	Distribusi beban pada <i>Embankment Dam</i>	19
Gambar 2.6	Distribusi beban pada bendungan gravitasi.....	19
Gambar 2.7	Contoh bendungan gravitasi.....	20
Gambar 2.8	Distribusi beban pada <i>Buttress Dam</i>	20
Gambar 2.9	Contoh <i>Buttress Dam</i>	21
Gambar 2.10	Distribusi beban pada bendungan lengkung	21
Gambar 2.11	Contoh bendungan lengkung.....	22
Gambar 2.12	Peredam energi USBR tipe 1	24
Gambar 2.13	Peredam energi USBR tipe 2	24
Gambar 2.14	Peredam energi USBR tipe 3	24
Gambar 2.15	Peredam energi USBR tipe 4	25
Gambar 2.16	Peredam energi tipe bak tenggelam (<i>flip bucket</i>).....	25
Gambar 2.17	Kolam pengendap.....	28
Gambar 2.18	Bak penenang	30
Gambar 2.19	Jenis-jenis turbin air	39
Gambar 2.20	Kurva kecepatan jenis untuk berbagai <i>head</i>	41
Gambar 2.21	Kurva hubungan efisiensi dan persentase aliran pada berbagai jenis turbin.....	43
Gambar 2.22	Kurva hubungan efisiensi dan daya pada berbagai jenis turbin.....	44
Gambar 2.23	Kurva rekomendasi batas koefisien kavitasitas	46
Gambar 2.24	Kurva pemilihan turbin air berdasarkan <i>head</i> dan daya turbin	48
Gambar 2.25	Dimensi utama turbin Francis	49

Gambar 2.26	Dimensi utama <i>spiral case</i>	53
Gambar 2.27	Jenis-jenis pipa lepas dan dimensi	54
Gambar 2.28	Dimensi utama pipa lepas (<i>draft tube</i>)	55
Gambar 2.29	Saluran <i>tail race</i> bentuk U	63
Gambar 2.30	Saluran <i>tail race</i> bentuk trapesium	63
Gambar 2.31	Diagram Moody	69
Gambar 2.32	Kurva hubungan k terhadap $\frac{d}{D}$	71
Gambar 4.1	Kurva durasi aliran Sungai Larona	89
Gambar 4.2	Kurva durasi daya Sungai Larona	90
Gambar 4.3	Energi tahunan yang dibangkitkan pada probabilitas aliran 10%	91
Gambar 4.4	Energi tahunan yang dibangkitkan dengan 2 unit turbin pada probabilitas aliran 30%	96
Gambar 6.1	Diagram <i>cash flow</i> proyek PLTA	152

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Jenis-jenis mercu pelimpah	23
Tabel 2.2	Kecepatan jenis untuk berbagai jenis turbin	41
Tabel 2.3	Aliran minimum pada berbagai jenis turbin.....	44
Tabel 2.4	Tinggi pada variasi tekanan atmosfer.....	51
Tabel 2.5	Tinggi pada tekanan uap jenuh air	51
Tabel 2.6	Aplikasi generator dan efisiensinya	56
Tabel 2.7	Koefisien kekasaran Manning.....	66
Tabel 2.8	Kekentalan kinematis air	67
Tabel 2.9	Harga kekasaran efektif.....	68
Tabel 2.10	Harga koefisien kerugian untuk berbagai jenis pemasukan.....	70
Tabel 3.1	Beban listrik PT. INCO Tbk	75
Tabel 4.1	Hasil kurva durasi aliran	88
Tabel 4.2	Hasil kurva durasi daya	89
Tabel 4.3	Hasil perhitungan untuk penentuan kapasitas terpasang.....	93
Tabel 5.1	Tinggi hulu bendungan.....	101
Tabel 5.2	Hasil perhitungan volume bendungan.....	102
Tabel 5.3	Lebar alas bendungan.....	107
Tabel 6.1	Hasil perhitungan <i>benefit cost ratio</i>	146
Tabel 6.2	Hasil perhitungan <i>net present value</i>	148
Tabel 6.3	Hasil perhitungan <i>cashflow</i>	151

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Data Debit Sungai Larona Tahun 1972-1994	157
Lampiran 2	Daftar Harga Bahan Bangunan Sipil dan Upah Tahun 2010	158
Lampiran 3	Analisis Harga Satuan Pekerjaan Sipil	159
Lampiran 4	Kurva Hubungan Volume RCC (<i>Roller Compacted Concrete</i>) dengan Harga Satuan Konstruksi	163
Lampiran 5	Perlengkapan Elektrik Mekanik untuk Turbin Francis	164
Lampiran 6	Indeks Harga Konstruksi	165
Lampiran 7	Indeks Harga Produsen untuk Besi dan Baja	168
Lampiran 8	Gambar Komponen dan <i>Layout</i> PLTA	169

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A	= Diameter masuk <i>spiral case</i> (m)
A_{aer}	= Luas pipa aerasi (m ²)
A_{ch}	= Luas penampang aliran saluran (m ²)
A_s	= Luas permukaan pipa pesat (m ²)
A_{tl}	= Luas penampang saluran <i>tailrace</i> (m ²)
A_{tr}	= Luas <i>trashrack</i> (m ²)
a_n	= Luas bersih <i>trashrack</i> (m ²)
a_t	= Luas kotor <i>trashrack</i> (m ²)
B	= Jarak dari pusat ke garis tengah saluran masuk pada <i>spiral case</i> (m)
B_j	= <i>Benefit</i> pada tahun ke- j
b	= Lebar bawah aliran (m)
b_{ef}	= Lebar efektif mercu (m)
b_T	= Tinggi <i>runner</i> turbin Francis (m)
C	= Jarak dari pusat ke sisi luar pada <i>spiral case</i> (m)
C_a	= Koefisien debit pipa aerasi
C_{cr}	= Kapasitas <i>powerhouse crane</i> (ton)
C_d	= Koefisien debit pelimpah
C_j	= <i>Cost</i> pada tahun ke- j
C_1	= Konsentrasi bahan endapan sebelum masuk bak penyaring
C_2	= Konsentrasi bahan endapan setelah masuk bak penyaring
c	= Kecepatan rambatan tekanan (m/s)
D	= Diameter dalam pipa pesat (m)
D_{aer}	= Diameter pipa aerasi (m)
D_b	= Diameter generator (m)
D_g	= Diameter <i>air gap</i> generator (m)

D_o	= Diameter luar dari inti generator (m)
D_{th}	= Diameter <i>throat</i> turbin (m)
D_s	= Jarak antara pusat turbin (m)
D_1	= Diameter dalam turbin Francis (m)
D_3	= Diameter luar turbin Francis (m)
E	= Energi tahunan (kWh)
e	= Efisiensi sambungan las
F	= Faktor keamanan pipa pesat
F_w	= Gaya berat total pipa dan air (kg)
f	= Faktor gesekan <i>Darcy-Weisbach</i>
f_r	= Frekuensi arus listrik (Hz)
g	= Percepatan gravitasi (m/s^2)
H	= <i>Head</i> efektif (m)
H_a	= Tinggi pada tekanan atmosfer (m)
H_b	= Tinggi tekanan atmosfer udara luar (m)
H_{dyn}	= Gaya hidrodinamis (m)
H_s	= Tinggi isap (m)
H_v	= Tinggi pada tekanan uap jenuh (m)
H_0	= <i>Head</i> desain mercu (m)
h_m	= Kerugian minor (m)
i	= Suku bunga (%)
j	= Tahun ke-
K	= Panjang ruang untuk pergerakan <i>crane</i> (m)
K_1	= Gaya hidrostatik (ton)
K_2	= Gaya hidrodinamis (ton)
k	= Koefisien kerugian
k_{sc}	= Koefisien yang nilainya bergantung pada jenis material <i>spiral case</i>

L	= Panjang pipa pesat (m)
L_{ph}	= Panjang <i>powerhouse</i> (m)
L_m	= Jarak maksimal antara <i>support block</i> (m)
L_s	= Panjang <i>service bay</i> (m)
L_{rv}	= Ruang tambahan untuk <i>pressure relief valve</i> (m)
L_{sc}	= Ruang tambahan untuk <i>spiral case</i> berbahan baja (m)
m	= Urutan data
N	= Kecepatan putar turbin (rpm)
N_s	= Kecepatan jenis turbin (rpm, kW, m)
n_h	= Jumlah hari dalam setahun
n_{mann}	= Koefisien kekasaran Manning
n_p	= Jumlah kutub generator
n_T	= Jumlah unit
n_u	= Usia proyek (tahun)
O_{dt}	= Dimensi keseluruhan pipa lepas (m)
O_{sc}	= Dimensi keseluruhan <i>spiral case</i> (m)
P	= Daya (kW)
P_g	= Kapasitas generator (MVA)
P_T	= Daya turbin (MW)
p	= Tekanan maksimum dalam pipa pesat (kPa)
p_o	= Tekanan hidrosatik (m)
p_r	= Probabilitas (%)
Q	= Debit aliran (m ³ /s)
Q_{desain}	= Debit desain <i>tail race</i> (m ³ /s)
Q_{int}	= Debit desain <i>intake</i> (m ³ /s)
Q_{spill}	= Debit desain pelimpah (m ³ /s)
R	= Jari-jari hidraulis (m)
r	= Jari-jari belokan pipa (m)

S	= Kemiringan saluran
T	= Lebar atas aliran (m)
T_c	= Waktu kritis (s)
T_v	= Waktu penutupan katup/ <i>wicket gate</i> (s)
v	= Kecepatan aliran rata-rata dalam pipa pesat (m/s)
V_{int}	= Volume beton <i>intake</i> (m ³)
V_{sb}	= Volume beton <i>substructure</i> (m ³)
v_r	= Kecepatan <i>peripheral</i> maksimum (m/s)
W_a	= Berat satuan air (kg/m)
W_b	= Lebar dasar saluran (m)
W_p	= Berat satuan pipa pesat (kg/m)
W_{p+a}	= Jumlah berat satuan pipa pesat dan air (kg/m)
W_{ph}	= Lebar <i>powerhouse</i> (m)
W_r	= Berat <i>rotor</i> turbin (ton)
W_s	= Tebal dasar saluran (m)
W_{sc}	= Berat <i>spiral case</i> (kg)
W_{sp}	= Berat baja pada <i>superstructure</i> (ton)
W_T	= Berat turbin (ton)
W_t	= Tebal dinding bagian atas saluran (m)
W_{tr}	= Berat bahan baja <i>trashrack</i> (kg)
Y	= Kedalaman saluran (m)
y	= Kedalaman aliran (m)
Z	= Lebar maksimum pipa lepas (m)
α	= Sudut defleksi belokan (rad)
α_T	= Konstanta pengali berat turbin
β	= Sudut pipa pesat terhadap horizontal
η	= Efisiensi sistem

δ	= Tebal pipa pesat (mm)
δ_c	= Tebal korosi yang diijinkan (mm)
$\delta_{\min}$	= Tebal minimum pipa pesat (mm)
δ_{sc}	= Tebal dinding rata-rata <i>spiral case</i> (mm)
ρ_a	= Massa jenis air (kg/m ³)
ρ_b	= Massa jenis beton (kg/m ³)
ρ_p	= Massa jenis pipa pesat (kg/m ³)
γ	= Berat jenis air (ton/m ³)
σ	= Koefisien kavitasi
σ_{cr}	= Koefisien kavitasi kritis
Δp	= Kenaikan tekanan (m)
AB	= <i>Annual benefit</i>
AC	= <i>Annual cost</i>
AB	= <i>Annual benefit</i>
AC	= <i>Annual cost</i>
BCR	= <i>Benefit Cost Ratio</i>
BEP	= <i>Break Even Point</i>
CRC	= <i>Capital Recovery Cost</i>
CRF	= <i>Capital Recovery Factor</i>
IRR	= <i>Internal Rate of Return</i>
NB	= <i>Net benefit</i>
NPV	= <i>Net Present Value</i>
OMC	= <i>Operating & maintenance cost</i>
PWF	= <i>Present Worth Factor</i>
RCC	= <i>Roller compacted concrete</i>