UNIVERSITAS
GADJAH MADA

PERANCANGAN DASAR SISTEM PLTA
Timora Wijayanto, Ir. Prajitno. MT
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

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 (*spillway*) 22

UNIVERSITAS
GADJAH MADA

PERANCANGAN DASAR SISTEM PLTA
Timora Wijayanto, Ir. Prajitno. MT
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.3.3 Bangunan ambil air (*intake*).....25
2.3.4 Saluran atas (*head race*).....26
2.3.5 Kolam pengendap (*settling basin*) 28
2.3.6 Bak penenang (*forebay / head tank*) 29
2.3.7 Pipa pesat (*penstock*).....30
2.3.8 Turbin air 37
2.3.9 Penutup (*casing*) 52
2.3.10 Pipa lepas (*draft tube*).....54
2.3.11 Generator.....55
2.3.12 Transmisi daya mekanik 58
2.3.13 Rumah pembangkit (*powerhouse*) 59
2.3.14 Saluran bawah (*tail race*).....62
2.3.15 Pintu air (*gates*) dan katup (*valves*).....66
2.4 Kerugian *Head* 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 (*Roller Compacted Concrete*) 77
3.4.2 Saluran pelimpah (*spillway*) 78
3.4.3 Jalan pemasukan dan jalur air.....79
3.4.4 Rumah pembangkit.....80
3.4.5 Peralatan mekanik dan listrik.....80

UNIVERSITAS
GADJAH MADA

PERANCANGAN DASAR SISTEM PLTA
Timora Wijayanto, Ir. Prajitno. MT
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB IV KAPASITAS PLTA

4.1 *Head* Efektif 82
4.1.1 Kerugian *head* 82
4.1.2 *Head* 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 *Intake* 108
5.2.1 Struktur bangunan *intake* 108
5.2.2 Volume pekerjaan 109
5.3 Pelimpah (*Spillway*) 110
5.4 Pipa Pesat (*Penstock*) 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 *Spiral Case* 124
5.7 Pipa Lepas (*Draft Tube*) 126
5.8 Generator dan Jaringan Listrik 127
5.9 Rumah Pembangkit (*Powerhouse*) 129
5.9.1 Struktur bangunan 129
5.9.2 Dimensi rumah pembangkit (*powerhouse*) 129

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN DASAR SISTEM PLTA
Timora Wijayanto, Ir. Prajitno. MT
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.9.3 Sistem dan peralatan *auxilliary* 130
5.9.4 Volume pekerjaan 134
5.10 *Crane* 136
5.11 Saluran Bawah (*Tail Race*) 136

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

BAB VII PENUTUP
7.1 Kesimpulan 153
7.2 Saran 154

DAFTAR PUSTAKA 155

LAMPIRAN 157

UNIVERSITAS
GADJAH MADA

PERANCANGAN DASAR SISTEM PLTA
Timora Wijayanto, Ir. Prajitno. MT
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

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 *Embankment Dam* 18
Gambar 2.5 Distribusi beban pada *Embankment Dam* 19
Gambar 2.6 Distribusi beban pada bendungan gravitasi.....19
Gambar 2.7 Contoh bendungan gravitasi.....20
Gambar 2.8 Distribusi beban pada *Buttress Dam* 20
Gambar 2.9 Contoh *Buttress Dam* 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 (*flip bucket*).....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 *head*.....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 koefisein kavitasi 46
Gambar 2.24 Kurva pemilihan turbin air berdasarkan *head* dan daya turbin 48
Gambar 2.25 Dimensi utama turbin Francis 49

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN DASAR SISTEM PLTA
Timora Wijayanto, Ir. Prajitno. MT
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 2.26 Dimensi utama *spiral case* 53
Gambar 2.27 Jenis-jenis pipa lepas dan dimensi 54
Gambar 2.28 Dimensi utama pipa lepas (*draft tube*) 55
Gambar 2.29 Saluran *tail race* bentuk U 63
Gambar 2.30 Saluran *tail race* 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 *cash flow* proyek PLTA 152

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN DASAR SISTEM PLTA
Timora Wijayanto, Ir. Prajitno. MT
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

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 *benefit cost ratio* 146
Tabel 6.2 Hasil perhitungan *net present value* 148
Tabel 6.3 Hasil perhitungan *cashflow* 151

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN DASAR SISTEM PLTA
Timora Wijayanto, Ir. Prajitno. MT
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

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 (*Roller Compacted Concrete*) 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 *Layout* PLTA 169

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN DASAR SISTEM PLTA
Timora Wijayanto, Ir. Prajitno. MT
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A = Diameter masuk *spiral case* (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 *tailrace* (m^2)

A_{tr} = Luas *trashrack* (m^2)

a_n = Luas bersih *trashrack* (m^2)

a_t = Luas kotor *trashrack* (m^2)

B = Jarak dari pusat ke garis tengah saluran masuk pada *spiral case* (m)

B_j = *Benefit* pada tahun ke-*j*

b = Lebar bawah aliran (m)

b_{ef} = Lebar efektif mercu (m)

b_T = Tinggi *runner* turbin Francis (m)

C = Jarak dari pusat ke sisi luar pada *spiral case* (m)

C_a = Koefisien debit pipa aerasi

C_{cr} = Kapasitas *powerhouse crane* (ton)

C_d = Koefisien debit pelimpah

C_j = *Cost* 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 *air gap* generator m)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN DASAR SISTEM PLTA
Timora Wijayanto, Ir. Prajitno. MT
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

D_o = Diameter luar dari inti generator (m)

D_{th} = Diameter *throat* 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 *Darcy-Weisbach*

f_r = Frekuensi arus listrik (Hz)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

H = *Head* 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 = *Head* desain mercu (m)

h_m = Kerugian minor (m)

i = Suku bunga (%)

j = Tahun ke-

K = Panjang ruang untuk pergerakan *crane* (m)

K_1 = Gaya hidrostatis (ton)

K_2 = Gaya hidrodinamis (ton)

k = Koefisien kerugian

k_{sc} = Koefisien yang nilainya bergantung pada jenis material *spiral case*

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN DASAR SISTEM PLTA
Timora Wijayanto, Ir. Prajitno. MT
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

L = Panjang pipa pesat (m)

L_{ph} = Panjang *powerhouse* (m)

L_m = Jarak maksimal antara *support block* (m)

L_s = Panjang *service bay* (m)

L_{rv} = Ruang tambahan untuk *pressure relief valve* (m)

L_{sc} = Ruang tambahan untuk *spiral case* 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 *spiral case* (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 *tail race* (m^3/s)

Q_{int} = Debit desain *intake* (m^3/s)

Q_{spill} = Debit desain pelimpah (m^3/s)

R = Jari-jari hidraulis (m)

r = Jari-jari belokan pipa (m)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN DASAR SISTEM PLTA
Timora Wijayanto, Ir. Prajitno. MT
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

S = Kemiringan saluran

T = Lebar atas aliran (m)

T_c = Waktu kritis (s)

T_v = Waktu penutupan katup/ *wicket gate* (s)

v = Kecepatan aliran rata-rata dalam pipa pesat (m/s)

V_{int} = Volume beton *intake* (m^3)

V_{sb} = Volume beton *substructure* (m^3)

v_r = Kecepatan *peripheral* 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 *powerhouse* (m)

W_r = Berat *rotor* turbin (ton)

W_s = Tebal dasar saluran (m)

W_{sc} = Berat *spiral case* (kg)

W_{sp} = Berat baja pada *superstructure* (ton)

W_T = Berat turbin (ton)

W_t = Tebal dinding bagian atas saluran (m)

W_{tr} = Berat bahan baja *trashrack* (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

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN DASAR SISTEM PLTA
Timora Wijayanto, Ir. Prajitno. MT
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

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 *spiral case* (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 = Annual benefit

AC = Annual cost

AB = Annual benefit

AC = Annual cost

BCR = Benefit Cost Ratio

BEP = Break Even Point

CRC = Capital Recovery Cost

CRF = Capital Recovery Factor

IRR = Internal Rate of Return

NB = Net benefit

NPV = Net Present Value

OMC = Operating & maintenance cost

PWF = Present Worth Factor

RCC = Roller compacted concrete