

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Analisa Debit

Debit andalan adalah debit yang diperhitungkan untuk keperluan tertentu (irigasi, air minum, PLTA) sepanjang tahun dengan resiko yang telah diperhitungkan. Karena perubahan nilai debit tidaklah besar, sehingga dapat dengan mudah diambil nilai debit andalan yang akan digunakan untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Pada PLTMH ini digunakan cara coba – coba/trial dan error sampai ditemukan pada debit andalan berapa persen agar tingkat kegagalan dapat ditekan seminimal mungkin. Misalnya ditetapkan debit andalan 80% berarti akan dihadapi resiko adanya debit-debit yang lebih kecil dari debit andalan sebesar 20% pengamatan. Langkah-langkah perhitungan debit andalan:

1. Menghitung jumlah data
2. Mengurutkan data dari terbesar ke terkecil.
3. Mencari selisih data terbesar sebagai jarak data (R)

$$R = \text{data tertinggi} - \text{data terendah}$$

4. Mencari jumlah kelas data (k)

$$k = 1 + 3,3 \log n$$

5. Mencari kelas interval (i)

$$i = R / k$$

6. Dibagi berkelompok dengan menentukan kelas dalam jarak interval kelas

7. Menghitung data tiap kelas sesuai dengan intervalnya
8. Menghitung probabilitas untuk masing – masing data dengan persamaan:

$$T = \frac{n}{m} \quad (3-1)$$

$$P = \frac{1}{T} \times 100\% = \frac{m}{n} \times 100\% \quad (3-2)$$

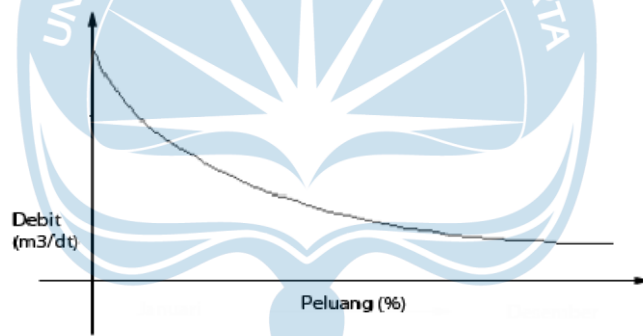
9. Mencari besarnya debit andalan pada grafik perbandingan antara debit dan probabilitas yang disebut *duration curve*.

Keterangan :

P = Besarnya probabilitas (%)

m = Nomor urut data

n = Jumlah data



Gambar 3.1 Kurva Durasi Debit

3.2 Tinggi Jatuh Efektif

Tinggi jatuh efektif dapat diperoleh dengan mengurangi tinggi jatuh total (dari permukaan air pada pengambilan sampai permukaan air saluran bawah) dengan kehilangan tinggi pada saluran air. (Arismunandar dan Kuwahara, 1991)

$$H_{\text{eff.}} = H_{\text{gross}} - H_{\text{loss}} \quad (3-3)$$

Keterangan :

$H_{\text{eff.}}$ = tinggi jatuh efektif (m)

$H_{\text{gross.}}$ = tinggi jatuh kotor (m)

H_{loss} = kehilangan energi tinggi jatuh (m)

Untuk mendapatkan hasil potimal, maka sistem pembangkit ini didesain sedemikian hingga kehilangan tekanan maksimal 10% dari *head* bruto.(O.F. Patty, 1995)

3.3 Daya yang dihasilkan

$$P = g \times Q_{\text{andalan}} \times H_{\text{eff}} \quad (3-4)$$

Keterangan :

P = daya yang dihasilkan generator (kW)

g = percepatan gravitasi = 9,8 m/detik

Q_{andalan} = debit puncak (m³/detik)

H_{eff} = tinggi efektif (m)

3.4 Analisa Sedimentasi

Dalam merancang PLTA salah satu yang perlu diperhatikan adalah sedimen yang diijinkan masuk melewati turbin, Batasan diameter sedimen ditentukan menurut jenis PLTA yang akan direncanakan yaitu:

1. 0,2 – 0,5 mm untuk PLTA tekanan rendah
2. 0,1 – 0,2 mm untuk PLTA tekanan sedang
3. 0,01 – 0,05 mm untuk PLTA tekanan tinggi

(O.F. Patty, 1995)

Jadi air yang dimanfaatkan untuk PLTMH maksimum memiliki diameter butiran sedimen sebesar 0,5 mm, karena PLTMH termasuk pada kategori PLTA tekanan rendah.

3.5 Perencanaan Bangunan Pembangkit

3.5.1 Perencanaan *Intake*

Intake digunakan sebagai pintu pengambilan awal air yang akan masuk ke saluran.

$$Q = \mu \times b \times a \times \sqrt{2gz} \quad (3-5)$$

Keterangan :

Q	= debit (m ³ /detik)
μ	= koefisien nilai debit
b	= Lebar pintu pengambilan
a	= Tinggi pintu pengambilan
g	= Percepatan gravitasi
z	= Kehilangan energi

3.5.2 Perencanaan *Headrace*

Pada perencanaan saluran terbuka ini akan digunakan saluran berpenampang segiempat. Saluran terbuka berpenampang persegi empat pada umumnya merupakan saluran buatan terutama banyak digunakan untuk saluran drainase di perkotaan atau untuk flume (talang untuk jaringan irigasi).

$$\text{Luas penampang: } A = B.y \quad (3-6)$$

$$\text{Keliling basah} : P = B + 2y \quad (3-7)$$

$$\text{Jari-jari hidrolik} : R = \frac{A}{P} = \frac{B \cdot y}{B + 2y} \quad (3-8)$$

Debit Aliran :

$$Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} i \quad (\text{Manning}) \quad (3-9)$$

$$Q = C A \sqrt{R \cdot i} \quad (\text{Chezy}) \quad (3-10)$$

3.5.3 Perencanaan *Forebay*

Tujuan bangunan bak penenang (*forebay*) adalah sebagai tempat penenangan air dan pengendapan akhir (Kurniawan et al. 2009). Bangunan *forebay* harus dibuat dari konstruksi kedap air dan tanah bocor serta didesain menghubungkan saluran pembawa dan *penstock*. Bak penenang direncanakan terletak setelah saluran pembawa. Bak penenang juga penghubung antara saluran pembawa dan pipa *penstock*. *Forebay* merupakan tempat permulaan pipa pesat yang mengendalikan aliran minimum, sebagai antisipasi aliran yang cepat pada turbin, tanpa menurunkan elevasi muka air yang berlebihan dan menyebabkan arus balik pada saluran (Kurniawan et al. 2009).

Dimensi bak penenang :

$$h_c = \left(\frac{\alpha \times Q d^2}{g \times B^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3-11)$$

Volume bak penenang :

$$V_{sc} = A_{sc} \times d_{sc} \quad (3-12)$$

3.5.4 Perencanaan *Penstock*

Pipa pesat adalah suatu pipa tekan yang berfungsi untuk mengalirkan air dari surge tank atau langsung dari head race tunnel. Saluran pipa tekan adalah nama umum untuk dasar terowongan yang digunakan menempatkan pipa - pipa pesat dan blok angker yang akan menahan pipa pesat tersebut. Dalam perencanaan pipa pesat ini hal – hal yang perlu diperhatikan adalah:

1. Diameter pipa pesat.
2. Tebal pipa pesat.
3. Tegangan – tegangan yang terjadi pada pipa pesat.

3.5.4.1 Diameter Pipa Pesat

Dalam perhitungan diameter pipa pesat digunakan perumusan USBR dan Sarkia. Dari perumusan USBR bahwa kecepatan air yang melalui pipa pesat adalah:

$$v = 0,125 \sqrt{2 \cdot g \cdot H_{eff}} \quad (3-13)$$

Keterangan :

- v = kecepatan aliran (m/detik)
 g = percepatan gravitasi (m/detik²)
 H_{eff} = tinggi jatuh efektif (m)

Namun kecepatan dalam pipa pesat untuk tinggi efektif yang tidak besar diambil nilai 2 - 3 m/detik.

$$D = \sqrt{\frac{Q_{andalan}}{0,25 \cdot \pi \cdot v}} \quad (3-14)$$

Keterangan :

- D = diameter pipa pesat

Q_{andalan} = debit andalan (m^3/detik)

v = kecepatan aliran (m/detik)

3.5.4.2 Tebal Pipa Pesat

Dalam penentuan tebal pipa pesat diperhitungkan gaya akibat tekanan air dalam pipa yang arahnya tegak lurus aliran air. Perhitungan pipa pesat dirumuskan:

$$P_o = \gamma \cdot H_{eff} \quad (3-15)$$

Sehingga tebal pipa didapat :

$$\delta = \frac{P_o \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{baja}} \quad (3-16)$$

Keterangan :

δ = Tebal pipa pesat (m)

P_o = Tekanan yang terjadi pada pipa (kg/m^2)

γ = massa jenis air (kg/m^3)

D = Diameter pipa (m)

ϕ = Koefisien kekuatan sambungan las (0,9)

σ_{baja} = tegangan ijin baja (kg/m^2)

Tebal pipa harus ditambah sekitar 1 – 3 mm untuk cadangan karena karat pada pipa.

Syarat minimum tebal pipa perlu diperhatikan dengan :

Sampai dengan diameter 0,8 m 5 mm

Sampai dengan diameter 1,5 m 6 mm

Sampai dengan diameter 2,0 m 7 mm

(O.F. Patty, 1995)

3.5.4.3 Tegangan yang Terjadi pada Pipa Pesat

1. Momen akibat perletakan pipa

Momen maksimum pada pipa diambil sebesar :

$$M = \frac{1}{12} (G_s + G_w) \cdot (b \cos \beta)^2 \quad (3-17)$$

Keterangan :

M = Momen maksimum (kgm)

b = jarak perletakan (m)

G_s = Berat pipa per meter (kg/m)

γ_w = massa jenis air 1000 (kg/m³)

G_w = Berat air per meter (kg/m)

γ_{baja} = massa jenis baja 7850 (kg/m³)

β = sudut kemiringan

Momen perlawanan potongan pipa adalah :

$$S = \frac{\frac{1}{64} \pi (D + 2\delta)^4 - \frac{1}{64} \pi (D)^4}{\frac{1}{2} (D + 2\delta)} \quad (3-18)$$

Keterangan :

S = Momen perlawanan (cm³)

I = Momen Inersia pipa (cm⁴)

D = Diameter pipa (cm)

δ = Tebal pipa pesat (m)

Sehingga tegangan yang terjadi adalah :

$$\sigma = \frac{M}{S} < \sigma_{baja}$$

2. Perubahan Temperatur

Tegangan ini terjadi akibat perubahan suhu yang timbul dari pipa, dan bila pipa tersebut terikat pada dua blok angker dan tidak mempunyai sambungan muai, maka tegangan yang terjadi dirumuskan dengan :

$$\sigma = E \cdot \lambda \cdot t \quad (3-19)$$

Keterangan :

E = Modulus elastisitas baja

$\lambda = 1,2 \cdot 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$

t = Perubahan temperatur

3. Pergeseran Pipa dan Perletakan

Karena perubahan temperatur, pipa akan berubah panjangnya menjadi lebih panjang atau pendek yang menimbulkan pergerakan (bergeser) pada perletakannya. Gaya geser maksimum terjadi bila benda pada keadaan hendak bergerak dan selama bergerak.

Gaya geser pada perletakan :

$$F = f(G_s + G_w)\cos\beta \quad (3-20)$$

Luas Tebal Pipa :

$$A = \frac{1}{4}\pi[(D + 2\delta)^2 - D^2] \quad (3-21)$$

Titik Tangkap Gaya Geser :

$$a = R \cdot \frac{2R \sin \theta}{2\theta R} \quad (3-22)$$

Keterangan :

F = Gaya geser pada perletakan (kg)

f = Koefisien gesek pipa

A = Luas tebal pipa (m²)

a = Titik tangkap gaya geser (m)

S = Momen perlawanan (kgm)

D = Diameter pipa (m)

δ = Tebal pipa pesat (m)

R = Jari – jari pipa (m)

Untuk penentuan koefisien gesekan dapat dilihat pada Tabel 3.1 dibawah ini:

Tabel 3.1 Besarnya Koefisien Pergeseran f1 antara Pipa dan Pereletakan

Pipa	Perletakan	Koefisien Gesek
Baja	Beton/pasangan batu	0,45 – 0,50
Besi Cor	Beton	0,50 – 0,75
Baja	Baja (tanpa pelican)	0,30 – 0,50
Baja	Baja (dengan pelican grafit)	0,20 – 0,22
	Baja (dengan pelican gemuk)	0,12 – 0,15
Baja	Memakai roda (rol) diatas baja	0,05 – 0,10

(Sumber : O.F.Patty, 1995)

4. Gaya Tekan pada *Expantion Joint*

$$\sigma = \frac{f \cdot Pa \cdot e}{\delta} \quad (3-23)$$

Keterangan :

f = Faktor koefisien diambil sebesar 0,25

e = Lebar packing

P_a = Tekanan air = $\gamma_w \cdot H_{eff}$ (kg/m²)

δ = Tebal pipa (m)

5. Gaya Tekan pada Sambungan Pipa

Perumusan tegangan yang diakibatkan gaya ini adalah :

$$\sigma = \frac{P_a \cdot \delta(\text{bruto})}{\delta(\text{netto})} \quad (3-24)$$

Keterangan :

P_a = Tekanan air = $\gamma_w \cdot H_{eff}$ (kg/m²)

$\delta(\text{bruto}) = 2 \delta(\text{netto})$ (m)

$\delta(\text{netto})$ = Tebal pipa (m)

3.5.5 Perencanaan Turbin

Turbin merupakan penyalur energi potensial air yang dialirkan pada ketinggian tertentu dengan mengubah tekanan air menjadi putaran turbin yang berupa energi kinetik, selanjutnya menggerakkan poros generator dan menghasilkan energi listrik. Secara umum turbin dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu :

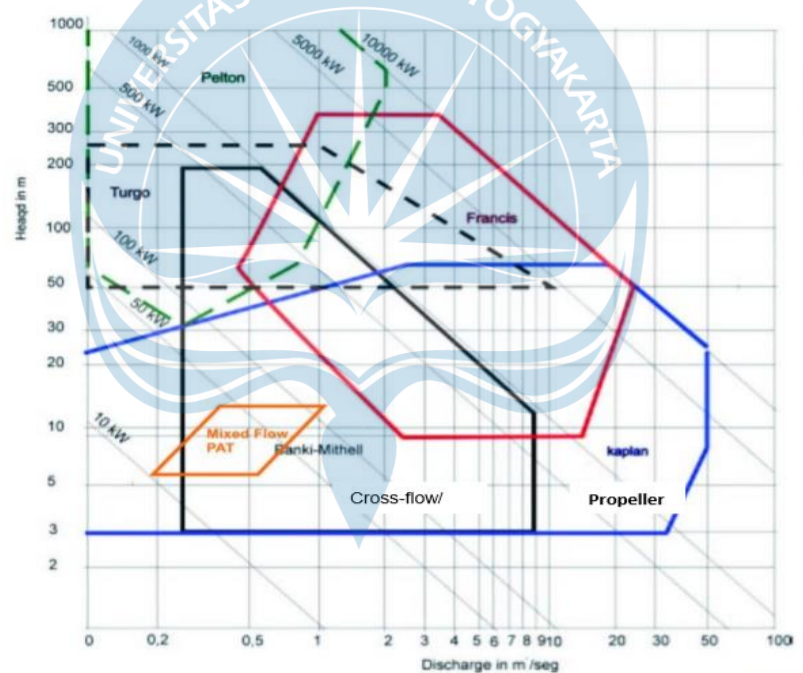
1. Turbin Reaksi

Yang termasuk jenis turbin reaksi adalah turbin Francis, turbin Propeller, dan turbin Kaplan. Pada turbin jenis ini rotor bekerja karena aliran air dan tekanan karena tinggi jatuh. Arah alirannya dapat berupa radial atau aksial. Air masuk dari penstock dalam rumah siput dan bergerak ke arah runner melalui sudu pengatur.

2. Turbin Impuls

Rotor turbin ini bekerja karena aliran air, beda ketinggian yang ada diubah menjadi kecepatan. Yang khas dari jenis turbin ini adalah turbin pelton, dengan pasangan ember - ember pada keliling luar rotor yang bekerja karena pancaran air dari nozzle. Turbin jenis ini baik untuk tinggi jatuh yang besar dan debit yang kecil.

Untuk pemilihan jenis turbin yang sesuai dapat digunakan batasan-batasan pada grafik berikut :

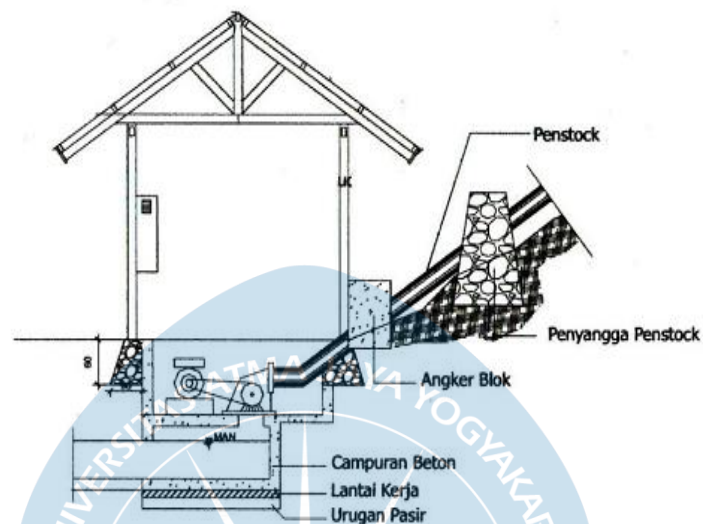


Gambar 3.2 Diagram Aplikasi berbagai Jenis Turbin

3.5.6 Perencanaan Rumah Pembangkit

Rumah Pembangkit (*powerhouse*) merupakan rumah sederhana dengan dinding dari pasangan bata/batako atau papan dan atap seng gelombang yang secara keseluruhan dibangun ditempat, berfungsi sebagai tempat peralatan

elektromekanikal terpasang (turbin beserta sistem transmisi mekanik, generator dan panel kontrol). (Nugroho, 2015)



Gambar 3.3 Potongan *Powerhouse*

3.5.7 Perencanaan *Tail race*

Tail race digunakan sebagai saluran pembuangan akhir. Untuk mencari dimensi dalam perencanaan *tail race* digunakan perumusan sebagai berikut :

Persamaan *Manning* :

$$V = \frac{1}{n} \times \left(\frac{A}{P} \right)^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \quad (3-25)$$

3.6 Estimasi Kehilangan Energi

Estimasi kehilangan energi/ *head losses* ini dipergunakan untuk mengontrol kehilangan energi yang terjadi selama air melalui bangunan pembangkit yang telah direncanakan. Sehingga dapat diketahui yang telah direncanakan. Sehingga dapat

diketahui apakah asumsi yang diambil yaitu 10 persen dari tinggi jatuh efektif yang ada sesuai atau tidak. Kehilangan energi dapat terjadi pada bagian-bagian bangunan tekukan pipa, perubahan penampang, gesekan sepanjang pipa, *entrance* dan sponning pintu atau katup.

3.6.1 Kehilangan Energi akibat Saringan Kasar

Posisi saringan kasar berada sebelum pipa pesat, sehingga kehilangan energi yang terjadi tidak mengurangi tinggi yang ada. Hanya saja nilai ini digunakan untuk memberikan gambaran tentang pengaruh dari saringan kasar terhadap muka air di hulu. Dengan digunakan profil bulat dengan diameter 1 cm dan jarak 10 cm, kehilangan energi yang terjadi adalah:

$$H_r = \varphi \left(\frac{s}{b} \right)^{\frac{4}{3}} \left(\frac{v^2}{2g} \right) \sin \alpha \quad (3-26)$$

Keterangan :

H_r = Kehilangan energi sepanjang pipa (m)

φ = Koefisien profil

s = Lebar profil dari arah aliran (m)

b = Jarak antar profil saringan (m)

v = Kecepatan aliran (m/detik)

g = Gravitasi bumi, diambil 9,81 m/detik²

α = Sudut kemiringan saringan

Tabel 3.2 Koefisien Profil Saringan Kasar

Profil	a	b	c	d	e	f	g
φ	2,42	1,83	1,67	1,03	0,92	0,76	1,79

(Sumber : Angrahini, 1997)

3.6.2 Kehilangan Energi pada *Entrance*

Perumusan yang digunakan untuk menghitung kehilangan energi pada *entrance* yaitu :

$$H_e = K_e \left(\frac{\Delta v^2}{2g} \right) \quad (3-27)$$

Keterangan :

H_e = Kehilangan energi pada *entrance* (m)

K_e = Koefisien bentuk mulut

Δv = Selisih kecepatan sebelum dan sesudah *entrance* (m/dt)

g = Gravitasi bumi, diambil 9,81 m/detik²

Kehilangan energi pada *entrance* ini tergantung dari bentuk mulut. Nilai dari koefisien masukan dari bentuk mulut *entrance* dapat dilihat pada Tabel 3.3 dibawah ini :

Tabel 3.3 Koefesien Masukan

No	<i>Entrance Condition</i>	<i>Loss Condition K_e</i>		
		<i>Max.</i>	<i>Min.</i>	<i>Average</i>
1	<i>Gate in thin wall unsuppressed contraction</i>	1,80	1,00	1,50
2	<i>Gate in thin wall-bottom and side suppressed</i>	1,20	0,50	1,00
3	<i>Gate in thin wall-corners rounded</i>	1,00	0,10	0,50
4	<i>Square cornered entrances</i>	0,70	0,40	0,50
5	<i>Stighly rounded entrances</i>	0,60	0,18	0,25
6	<i>Fully rounded entrance $r/D \geq 0.15$</i>	0,27	0,08	0,10

Tabel 3.3 Koefisien Masukan (Lanjutan)

7	<i>Circular bellmouth entrances</i>	0,10	0,04	0,05
8	<i>Square bellmouth entrances</i>	0,20	0,07	0,16
9	<i>Inward projecting entrances</i>	0,93	0,56	0,80

(Sumber : Versney. R.S. 1977)

3.6.3 Kehilangan Energi akibat Gesekan Sepanjang Pipa

Untuk menentukan nilai f (koefisien gesek) dapat digunakan diagram moddy. Sebelum menentukan harga f terlebih dahulu harus dicari angka Reynold (Re) dari aliran tersebut yang dapat dirumuskan; $Re = \frac{D \cdot v}{\nu}$, dan koefisien kekasaran bahan (ϵ). Dalam hal ini angka kekasaran bahan diambil $46 \cdot 10^{-6} m$, sedangkan ν adalah viskositas yang harganya tergantung dari suhu air yang ada. Dalam perhitungan ini dianggap bahwa suhu air adalah $20^\circ C$ sehingga harga viskositas kinematisnya $4,41 \times 10^{-7} m^2/detik$.

$$H_f = f \frac{L}{D} \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (3-28)$$

Keterangan :

H_f = Kehilangan energi sepanjang pipa (m)

f = Koefisien gesek pipa

v = Kecepatan pada pipa (m/detik)

g = Gravitasi bumi, diambil $9,81 m/detik^2$

D = Diameter pipa (m)

3.7 Daya yang Dihasilkan

Perhitungan daya listrik dipengaruhi oleh efisiensi turbin, efisiensi generator, efisiensi transformator, gaya gravitasi, debit andalan dan tinggi efektif.

$$P = g \times \eta_{tot} \times Q \times H_{eff} \quad (3-29)$$

Keterangan :

P = Daya listrik (kW)

g = Percepatan gravitasi (9,81 m/detik²)

η_{tot} = Efisiensi total

Q = Debit (m³/detik)

H_{eff} = Tinggi jatuh efektif (m)

