



**SURAT KETERANGAN**  
**MELAKUKAN KEGIATAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT**  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL**  
**No. 024/C.02.01/LP2M/I/2018**

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Dr. Tarsisius Kristyadi, S.T., M.T.  
Jabatan : Kepala  
Unit Kerja : LP2M-Itenas  
JL. P.K.H. Mustafa No.23 Bandung

Menerangkan bahwa,

Nama	NPP	Jabatan
Tri Sigit Purwanto, S.T., M.T.	20020118	Tenaga Ahli

Telah melakukan kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat sebagai berikut:

Nama Kegiatan : Studi Kelayakan dan *Basic Design* PLTA Liki  
Tempat : PLTA Liki – Kec. Sangkir, Kab. Solok Selatan  
Waktu : Oktober 2017 – Januari 2018  
Sumber Dana : PT. Siwa Bangun Persada

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Bandung, 05 Januari 2018

Lembaga Penelitian dan Pengabdian  
kepada Masyarakat (LP2M) Itenas  
Kepala,

**Dr. Tarsisius Kristyadi, S.T., M.T.**  
NPP 960604



**KONSEP DESAIN  
STUDI KELAYAKAN PLTA LIKI  
KAPASITAS TOTAL TERPASANG 15.6 MW  
KECAMATAN SANGIR KABUPATEN SOLOK SELATAN  
PROVINSI SUMATERA BARAT**



## KONSEP DESAIN

PLTA Liki direncanakan terletak di Desa Sei Belangir Kecamatan Sangir Kabupaten Solok Selatan Propinsi Sumatra Barat. PLTA Liki direncanakan memanfaatkan Sungai Lambai dan Belangir yang berpotensi untuk dijadikan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA).

PLTA Liki terdiri dari 3 unit Pembangkit terpisah yaitu Unit Lambai 1, Unit Lambai 2, dan Unit Belangir.

Data lokasi rencana bendung dan power house pada PLTA Liki adalah sebagai berikut :

Keterangan	Unit-1	Unit-2	Unit-3
Nama Sungai	Lambai	Lambai	Belangir
Koordinat bendung	X = 746421,4	X = 745683,0	X = 749333,89
	Y = 9820411,3	Y = 9822244,8	Y = 9821006,83
Koordinat Power House	X = 746421,4	X = 745911,3	X = 7478978,8
	Y = 9820411,3	Y = 9823870,3	Y = 9823644

### Layout Pembangkit

Penentuan layout pembangkit ditentukan berdasarkan kriteria :

- Daya listrik yang harus dihasilkan pembangkit
- Kontur/topografi
- Tipe bangunan yang digunakan
- Jenis tanah/batuan
- Batasan-batasan lingkungan dan tata guna lahan sekitar pembangkit

## **1.1. Desain Dasar Sipil**

### **1.1.1. Bangunan Pengelak**

#### **1.1.1.1. Umum**

Pada pelaksanaan konstruksi bendung selalu diperlukan suatu bangunan pengelak, saluran, dan cofferdam yang berfungsi untuk mengalihkan aliran sungai dari alur yang asli dan melindungi pekerjaan-pekerjaan yang dilaksanakan pada pondasi serta pekerjaan tubuh bendung tersebut terhadap gangguan aliran sungai yang bersangkutan.

Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan pada usaha pengalihan aliran sungai untuk pembangunan suatu bendung adalah :

- a. Karakteristika daerah pengaliran sungai dan karakteristik banjir-banjir yang terjadi pada lokasi rencana bendung.
- b. Kondisi-kondisi topografi dan geologi daerah sekitar lokasi rencana bendung.
- c. Type, tinggi dan urgensi calon bendung.
- d. Pengaruh pemindahan aliran sungai terhadap kebutuhan air dihilir rencana bendung.
- e. Besarnya kerugian yang mungkin akan dialami, apabila terjadi banjir besar pada periode pelaksanaan konstruksi bendung.

#### **1.1.1.2. Debit Banjir Rencana Untuk Penentuan Kapasitas Bangunan Pengelak**

Debit banjir-rencana pada periode pelaksanaan konstruksi bendung didasarkan pada pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut :

- a. Frekwensi banjir yang terjadi pada tempat lokasi rencana bendung.
- b. Karakteristika banjir yang terjadi pada tempat lokasi rencana bendung. (tinggi puncak banjir, durasi banjir, musim kedatangan banjir dan lain-lain).
- c. Rencana laju pelaksanaan penimbunan tubuh bendung.
- d. Tingkat bahaya yang mungkin akan timbul, apabila terjadi kerusakan pada bendung pengelak atau bendung utama yang sedang dibangun.



Debit banjir dengan kemungkinan periode ulang 2 tahun, yaitu 114,28 m<sup>3</sup>/s dipergunakan sebagai debit banjir-rencana pada periode pelaksanaan konstruksi cofferdam, Tinggi bangunan *cofferdam* dalam rencana konstruksi PLTA Liki adalah sebagai berikut :3,4 m dari dasar sungai atau pada elevasi +975,4 m

Keterangan	Unit-1	Unit-2	Unit-3
Debit banjir 2 th	171,87 m <sup>3</sup> /s	174,7 m <sup>3</sup> /s	114,28 m <sup>3</sup> /s
Tinggi cofferdam	2,24 m	2,9 m	3,4 m
Elevasi mercu cofferdam	+1036,8 m	+827,9 m	+975,4 m

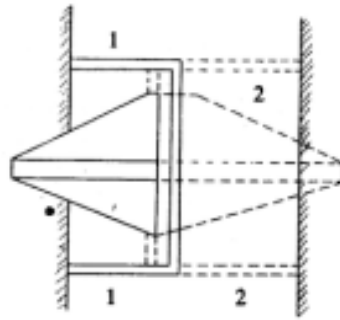
#### 1.1.1.3. Saluran Pengelak

Saluran pengelak berfungsi untuk mengalihkan aliran sungai selama pelaksanaan konstruksi tubuh bendung sehingga areal kerja menjadi kering dan aman.

Hal yang menjadi pertimbangan didalam pelaksanaan pembangunan konstruksi pengelak adalah pelaksanaannya dilakukan pada musim kering dan pada akhir musim berjalan, sehingga diharapkan tidak terjadi banjir selama berlangsungnya kegiatan tersebut.

#### 1.1.1.4. Metoda Pelaksanaan Konstruksi Bangunan Pengelak

Pada tahap pertama dilaksanakan konstruksi bendung sebelah kanan berikut *intake* sampai *Sandtrap*. Tahap pertama ini dimulai dari penggalian pondasi dan konstruksi tubuh bendung. Pada tahap kedua dibangun konstruksi bendung sisi kiri, maka aliran air sungai dialihkan ke bagian kanan bendung yang sudah jadi dan sebagian dialirkan melalui *intake* dan *Sandtrap*. Kemudian dilaksanakan pekerjaan bagian kedua dari tubuh bendung yang bersangkutan. Dengan demikian pelaksanaan pembangunan bendung dapat lebih dipercepat. Secara sket pelaksanaan pembangunan dilaksanakan sebagaimana gambar 1.1 berikut :



**Gambar 1. 1 Skema Penutupan Setengah Lebar Sungai**

Penentuan lokasi penempatan titik permulaan ujung udik saluran pengelak umumnya didasarkan pada beberapa faktor, antara lain :

- Karakteristika dari bahan timbunan dan konstruksi-konstruksi pelindung tubuh bendung tersebut
- Jangkauan penimbunan tubuh bendung
- Kondisi geologi di daerah tempat lokasi rencana bendung
- Penempatan dan formasi bangunan penyadap

Ujung hilir saluran pengelak ditempatkan sedemikian rupa sehingga aliran yang keluar dari saluran tersebut tidak menimbulkan penggerusan yang membahayakan tumit bendung pengelak hilir.

### 1.1.2. Bendung

#### 1. Tinggi Muka Air Banjir Sungai

Perhitungan ini dilakukan pada Sungai Lambai dan Belangir pada lokasi rencana bendung. Data-data yang didapat adalah sebagai berikut :

Keterangan	Unit-Lambai 1	Unit-Lambai 2	Unit-Belangir
$Q_{100}$	294,69 m <sup>3</sup> /s	299,43 m <sup>3</sup> /s	194,79 m <sup>3</sup> /s
Lebar sungai	20 m	16 m	10 m
m	0,33	0,3	0,3
i	0,19	0,12	0,14

Untuk memperkirakan tinggi muka air banjir, dilakukan dengan menggunakan Rumus Chezy, yaitu :

$$Q = V \times A$$

$$V = C \times \sqrt{R \times i}$$

$$C = \frac{87}{1 + \gamma / R^{0.5}}$$

Dimana :

- Q = Debit banjir rencana, m<sup>3</sup>/det
- V = Kecepatan aliran, m/det
- A = Luas penampang aliran, m<sup>2</sup>
- C = Koefisien debit
- R = Jari-jari hidrolis, m
- = Kemiringan dasar sungai
- m = Kemiringan tanggul sungai

Berdasarkan rumus di atas dan dengan dilakukan perhitungan dengan cara coba-coba, maka pada kondisi Q<sub>100</sub> di dapat hasil sebagai berikut :

Keterangan	Unit-Lambai 1	Unit-Lambai 2	Unit-Belangir
b	22,7 m	18,7 m	10 m
h	1 m	1,32 m	1,4 m
A	20,33 m <sup>2</sup>	21,7 m <sup>2</sup>	14,65 m <sup>2</sup>
O	22,108 m	18,8 m	12,95 m
R	0,92 m	1,16 m	1,13 m
C	33,39	36,3	36,09
V	14,49 m/s	13,72 m/s	14,3 m/s
Q <sub>100</sub>	294,69 m <sup>3</sup> /s	299,43 m <sup>3</sup> /s	194,79 m <sup>3</sup> /s

Detail perhitungan dapat dilihat pada laporan penunjang.



## 2. Tinggi Muka Air Banjir di Atas Mercu

Bendung merupakan bangunan air yang melintang sungai yang berfungsi untuk menaikkan taraf muka air di sungai sehingga air dapat masuk ke *intake* sesuai dengan kebutuhan.

Bentuk mercu bendung yang digunakan dalam perhitungan ini adalah mercu ogee dengan pengontrol berbentuk segi empat.

Rumus yang digunakan adalah :

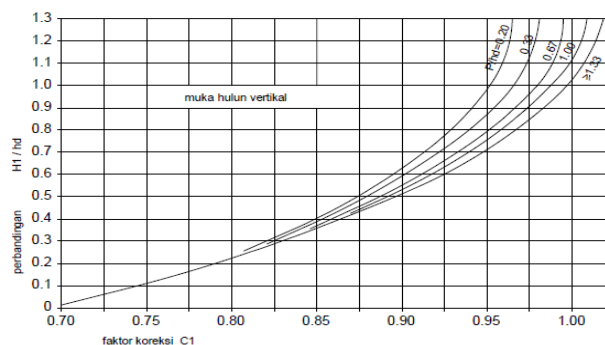
$$Q = C_d \times \frac{2}{3} \times \sqrt{\frac{2}{3} \times g} \times B_{ef} \times H_1^{1.5}$$

Dimana :

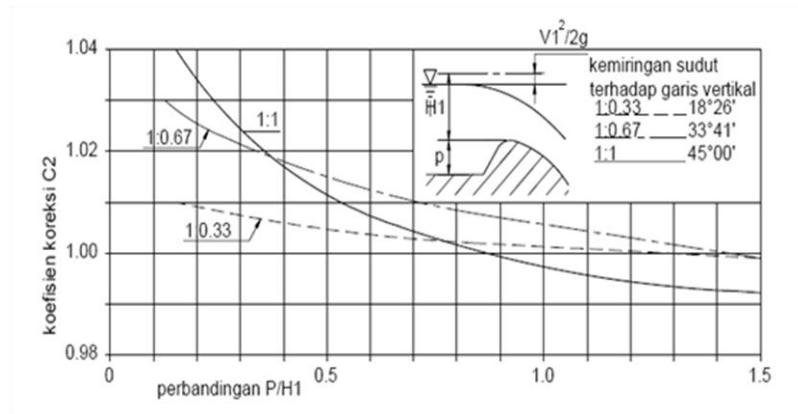
- Q = Debit banjir rencana, m<sup>3</sup>/det
- C<sub>d</sub> = Koefisien debit (C<sub>d</sub> = C<sub>0</sub> × C<sub>1</sub> × C<sub>2</sub>)
- g = Percepatan gravitasi, m/det<sup>2</sup>
- B<sub>ef</sub> = Panjang efektif mercu, m
- H<sub>1</sub> = Tinggi energi diatas mercu, m
- P = Tinggi mercu bendung, m
- r = Jari-jari mercu bendung, m

Koefisien C<sub>d</sub> di dapat dari grafik-grafik, dimana :

- C<sub>0</sub> yang merupakan konstanta sebesar 1,3
- C<sub>1</sub> yang merupakan fungsi dari H<sub>1</sub>/hd dan P/hd (lihat Gambar 3-1)
- C<sub>2</sub> yang merupakan fungsi dari P / H<sub>1</sub> dan kemiringan muka hulu mercu bendung. (lihat Gambar 1.2.).



**Gambar 1. 2 Harga-harga Koefisien C1 untuk Bendung Ambang Bulat sebagai Fungsi Perbandingan H1/hd dan P/hd**



**Gambar 1. 3 Harga –harga Koefisien Cz sebagai Fungsi Perbandingan P/H1**

Untuk menentukan panjang mercu bendung efektif (Bef) dapat di hitung dengan menggunakan-Rumus:

$$Bef = B - 2 (n Kp + Ka) H_1$$

Dimana :

- Bef = Panjang mercu bendung efektif, m
- Kp = Koefisien kontraksi pilar (lihat Tabel 8-1)
- Ka = Koefisien kontraksi pangkal bendung (lihat Tabel 8-1)
- H<sub>1</sub> = Tinggi energi, m
- B = Lebar bendung, m

Besarnya harga koefisien kontraksi Ka dan Kp berdasarkan Standar Perencanaan Irigasi, KP-02 dapat dilihat pada Tabel 1-1.

**Tabel 1. 1 Harga-harga Koefisien Ka dan Kp**

No	Bentuk Pilar	Kp
1.	Untuk pilar berujung segi empat dengan sudut-sudut yang dibulatkan pada jari-jari yang hampir sama dengan 0,1 dari tebal pilar	0,02
2.	Untuk pilar berujung bulat	0,01
3.	Untuk pilar berujung runcing	0
No	Bentuk Pangkal Tembok	Ka
1.	Untuk pangkal tembok segi empat dengan tembok hulu pada 90 <sup>0</sup> ke arah aliran	0,20

2.	Untuk pangkal tembok bulat dengan tembok hulu pada $90^\circ$ ke arah aliran dengan $0,5 H_1 > r > 0,15 H_1$	0,10
3.	Untuk pangkal tembok bulat dimana $r > 0,5 H_1$ dan tembok hulu tidak lebih dari $45^\circ$ ke arah aliran	0

Sumber : Kriteria Perencanaan (KP) 02 Bendung, Direktorat Jenderal Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum, 1986

Hasil perhitungan terhadap panjang efektif mercu dapat dilihat pada Tabel 1-2.

**Tabel 1. 2 Perhitungan Tinggi Muka Air di tiap unit PLTA Liki**

Parameter	Unit-Lambai 1	Unit-Lambai 2	Unit-Belangir
Lebar Bendung (m)	27	22,5	13
Tinggi mercu (m)	2,5	2,5	2,5
Jari-jari bendung (m)	$0,5 H_1$	$0,5 H_1$	$0,5 H_1$
Lebar pintu pembilas (m)	1,4	1,2	1,6
Jumlah pintu pembilas	2	2	1
$h_d$ (m)	3,04	3,44	3,6
$V^2/2g$ (m)	0,33	0,44	0,56
$H_1$ (m)	3,37	3,88	4,16
$B_{eff}$ (m)	20,93	17,12	9,65
$r$ (m)	1,69	1,94	2,08
$C_d$	1,293	1,29	1,293
$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	294,7	299,43	194,79

Detail perhitungan dapat dilihat pada laporan penunjang.

### 3. Tinggi Muka Air Banjir di Hilir Bendung

Untuk memperkirakan tinggi muka air banjir di Sungai Belangir, dilakukan dengan menggunakan Rumus Chezy, yaitu :

$$Q = V \times A$$



$$V = \frac{C \times \sqrt{R \times i}}{87}$$

$$C = \frac{1}{1 + \gamma / R^{0.5}}$$

Dimana :

- Q = Debit banjir rencana, m<sup>3</sup>/det
- V = Kecepatan aliran, m/det
- A = Luas penampang aliran, m<sup>2</sup>
- C = Koefisien debit
- R = Jari-jari hidrolis, m
- i = Kemiringan dasar sungai
- m = Kemiringan tanggul sungai

Berdasarkan rumus di atas dan dengan dilakukan perhitungan dengan cara coba-coba, maka pada kondisi Q<sub>100</sub> di dapat hasil sebagai berikut :

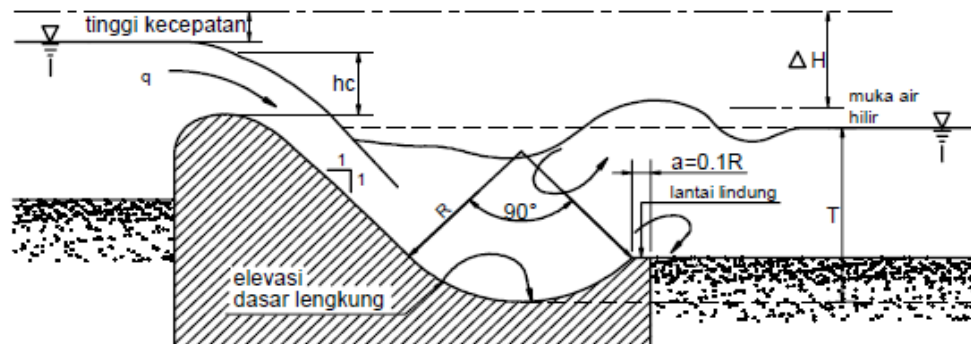
Keterangan	Unit-Lambai 1	Unit-Lambai 2	Unit-Belangir
b	22,7 m	18,7 m	10 m
h	1,10 m	1,36 m	1,4 m
A	19,42 m <sup>2</sup>	21,81 m <sup>2</sup>	14,14 m <sup>2</sup>
O	19,97 m	18,9 m	13,05 m
R	0,972 m	1,154 m	1,084 m
C	34,5	36,3	35,64
V	15,14 m/s	13,7 m/s	13,83 m/s
Q <sub>100</sub>	294,69 m <sup>3</sup> /s	299,43 m <sup>3</sup> /s	194,79 m <sup>3</sup> /s

Detail perhitungan dapat dilihat pada laporan penunjang.

#### 4. Bangunan Peredam Energi

Bangunan peredam energi yang digunakan didasarkan pada jenis sungai, material yang terbawa dan bilangan Froudnya. Dengan memperhatikan kriteria tersebut, maka bangunan peredam energi yang dipilih yaitu peredam energi tipe bak tenggelam (roller bucket).

Bentuk bangunan peredam energi tipe bak tenggelam dapat dilihat pada Gambar 1.4.



**Gambar 1. 4 Peredam Energi**

Perhitungan bangunan peredam energi tipe bak tenggelamberdasarkan pada Standard Perencanaan Irigasi, KP-02 : Bangunan Utama, Direktorat Jenderal Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum.

Batasan  $Fr$  untuk kolam olak adalah

Untuk  $Fr \leq 1,7$  tidak diperlukan kolam olak

Bila  $1,7 < Fr \leq 2,5$  maka kolam olak diperlukan untuk meredam energi secara efektif.

Jika  $2,5 < Fr \leq 4,5$  USBR tipe IV

Untuk  $Fr \geq 4,5$  USBR III

Kedalaman air kritis pada kolam olak dihitung dengan persamaan

$$h_c = \sqrt[3]{q^2/g}$$

Untuk menghitung Bilangan Froude :

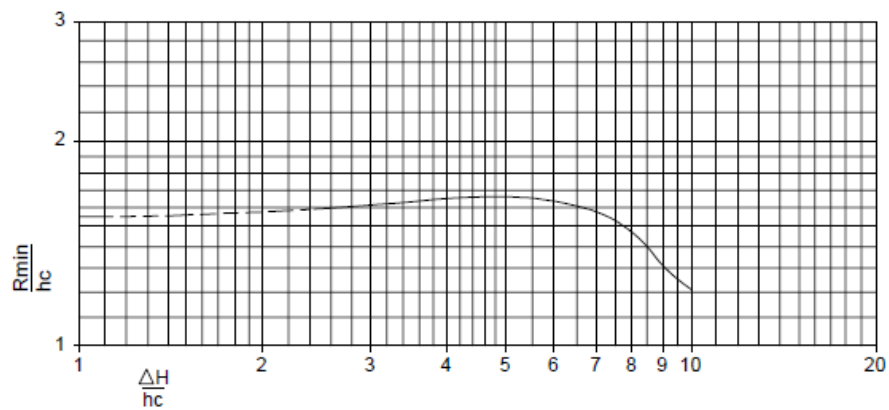
$$V_1 = \sqrt{2g(1/2H_1 + z)}$$

$$Fr = \frac{V_1}{\sqrt{gy_u}}$$

$$y_2/y_u = q / Y_u$$

Jari-jari minimum kolam olak yang diijnnkan menggunakan persamaan berikut dan grafik 8-5

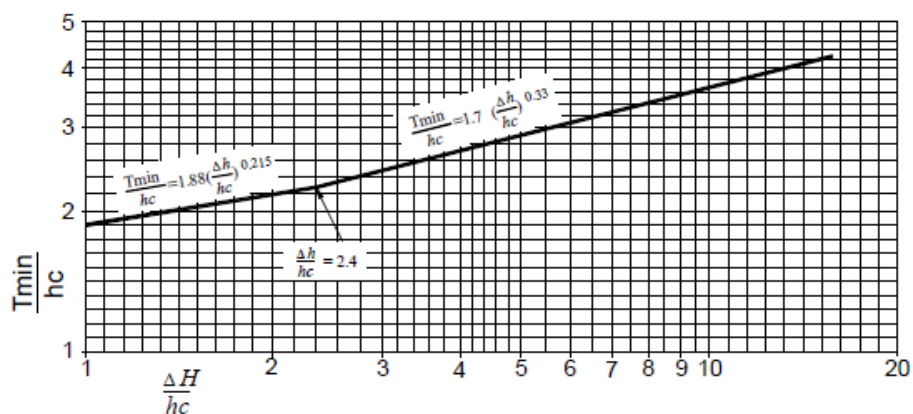
$$\frac{\Delta H}{hc} = 1,37$$



**Gambar 1. 5 Jari-jari minimum yang diijinkan**

Kedalaman air hilir yang diijinkan dihitung menggunakan persamaan berikut dan gambar 8.3:

$$T_{min} = 1,88 \left( \frac{H_1}{h_c} \right)^{0.215}$$



**Gambar 1. 6 Tinggi muka air hilir minimum yang diijinkan**

Perhitungan bangunan peredam energi tersebut adalah sebagai berikut :



Parameter	Unit Lambai 1	Unit Lambai 2	Unit Belangir
El. Mercu Bendung (m)	+1037	+827,5	+974,5
Tinggi m.a banjir diatas mercu (m)	5,54	5,94	6,10
El. m.a banjir di hulu bendung (m)	+1041	+827,5	+979,0
El. dasar sungai di hilir bendung (m)	+1032,5	+831	+969,5
Tinggi m.a banjir di hilir bendung (m)	1,1	1,36	1,4
El. m.a banjir di hilir bendung (m)	+1033,6	+823,86	+970,9
Kedalaman air kritis (m)	2,7	3,11	3,42
Tipe kolam olak	Bak tenggelam	Bak tenggelam	Bak tenggelam
Jari-jari minimum (m)	4,3	4,9	5,4
Kedalaman air hilir (m)	5,6	6,4	6,9

Detail perhitungan dapat dilihat pada laporan penunjang.

#### 5. Bangunan Pembilas Bendung

Bangunan pembilas bendung terletak di dekat dan menjadi satu kesatuan dengan bangunan pengambilan (*intake*). Bangunan pembilas berfungsi untuk menghindarkan angkutan sediment dasar dan mengurangi angkutan muatan sediment layang yang akan masuk ke *intake*.

Bangunan pembilas bendung pada perencanaan ini adalah bangunan pembilas tipe konvensional tanpa undersluice.

Dalam perencanaan bangunan pembilas ini, dilakukan perhitungan-perhitungan sebagai berikut :

##### a. Dimensi Pintu Pembilas Bendung

Untuk menentukan lebar pintu pembilas bendung digunakan Rumus sebagai berikut :

$$B_{sc} = 0,60 \times \text{lebar total pengambilan.}$$

b. Perencanaan Kecepatan Pembilasan

Kecepatan kritis :

$$V_c = (20 \times d_{95})^{0.5}$$

Dimana :

$$\begin{aligned} V_c &= \text{Kecepatan kritis, m/det} \\ d_{95} &= \text{Diamter partikel maksimum, mm} \end{aligned}$$

Pada saat penggelontoran sediment, direncanakan pintu penguras dibuka setinggi  $a$  sehingga debit yang lewat :

$$Q = \mu \times n \times b \times a \times \sqrt{(2 \times g \times h)}$$

Di mana :

$$\begin{aligned} Q &= \text{Debit penggelontoran, m}^3/\text{det} \\ \mu &= \text{Koefisien debit pada bukaan pintu} \\ n &= \text{Jumlah pintu, bh} \\ b &= \text{Lebar bukaan pintu, m} \\ a &= \text{Tinggi bukaan pintu, m} \\ g &= \text{Gaya gravitasi bumi, m/det}^2 \\ h &= \text{Kehilangan air di depan pintu, m} \end{aligned}$$

Direncanakan pada saat penggelontoran sediment, *intake* masih tetap beroperasi, sehingga debit sungai yang mengalir paling sedikit sebesar debit penggelontoran ditambah debit untuk *intake*, yaitu :

$$Q_t = Q + Q_{intake}$$

Sehingga untuk menguras pada saat *intake* operasi, tinggi muka air minimum diatas mercu bendung adalah :

$$Q = C_d \times \frac{2}{3} \times \sqrt{(2/3 \times g \times B_{eff})} \times h d^{1.5}$$

Kecepatan pengurasan yang terjadi :

$$V = Q / A$$

Parameter	Unit-Lambai 1	Unit-Lambai 2	Unit-Belangir
Lebar pintu (m)	1,5	1,5	1,5
Jumlah pintu	2	2	2
Diameter partikel rata-rata $d_{65}$ (mm)	1,3	1,3	4,76
Diameter partikel maksimum $d_{95}$ (mm)	4,76	4,76	4,76
Tinggi bukaan pintu (m)	1,85	1,985	1,85
Debit penggelontoran ( $m^3/s$ )	45,8	43,39	30,06
Tinggi air minimum saat pengurasan (m)	6,06	6,18	6,35
Elevasi m.a diatas mercu saat pengurasan (m)	+1039,1	+829,7	+976,9

Detail perhitungan dapat dilihat pada laporan penunjang.

#### c. Back Water

Untuk mengetahui panjang pengaruh dari back water pada sungai akibat adanya bendung, digunakan rumus sebagai berikut :

$$L=2h / i$$

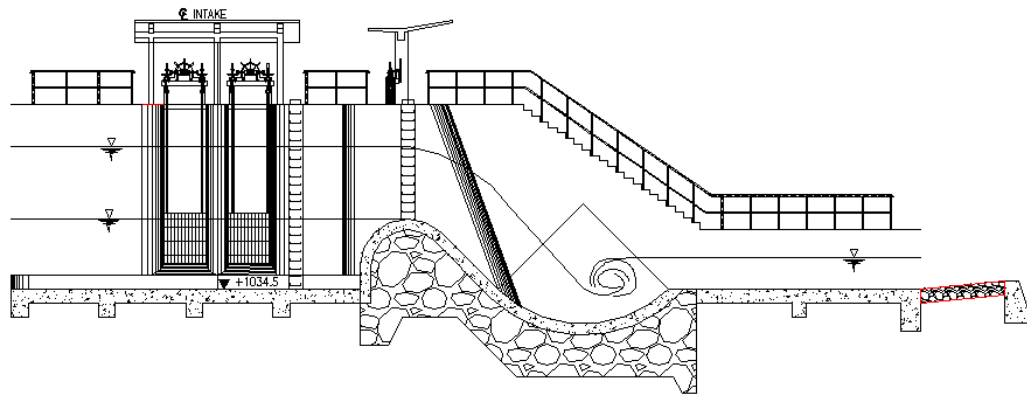
Dimana :

- L = Panjang rambatan akibat back water, m
- h = Beda tinggi muka air, m
- l = Kemiringan dasar sungai

Parameter	Unit-Lambai 1	Unit-Lambai 2	Unit-Belangir
Panjang rambatan (m)	60	103	96

Detail perhitungan dapat dilihat pada laporan penunjang.





**Gambar 1. 7 Potongan memanjang bendung**

#### **1.1.2.1. Penentuan Tubuh Bendung**

Dimensi tubuh bendung ditentukan berdasarkan tinggi dan kemiringan punggung bendung, ukuran mercu dan ukuran peredam energi. Sedangkan kedalaman pondasi bendung ditentukan berdasarkan aspek geologi yaitu kondisi batuan. Selain itu ketebalan pondasi bendung ditentukan pula agar memenuhi persyaratan terhadap tinjauan stabilitas.

Penentuan lantai muka dengan menganalisa panjang rembesan minimum menurut teori Bligh atau Lane. Teori Bligh atau Lane memberikan desain dasar berdasarkan panjang rembesan yang dinyatakan dalam gradien hidrolik.

#### **1.1.2.2. Analisa Rembesan**

Dengan adanya konstruksi bendung, maka air di hulu bendung akan naik, akibatnya ada perbedaan tekanan di hulu bendung dengan hilir. Perbedaan tekanan ini mengakibatkan adanya aliran di bawah bendung. Bila tekanan ini cukup besar, maka akan mengakibatkan tergesernya butiran-butiran tanah tersebut.

Terdapat 2 metode angka rembesan yang dianjurkan untuk mengecek bangunan-bangunan utama terhadap terjadinya erosi bawah tanah. Metode ini membandingkan panjang jalur rembesan di bawah bangunan di sepanjang bidang kontak bangunan/pondasi dengan beda tinggi muka air antara kedua sisi bangunan.

### 1.1.2.3. Metode Lane

Metode Lane atau yang disebut juga metode Angka Rembesan Lane (Weighted Creep Ratio Method) adalah metode yang dianjurkan untuk mengecek bangunan-bangunan utama terhadap terjadinya erosi bawah tanah. Metode Lane ini membandingkan panjang jalur rembesan dibawah bangunan disepanjang bidang kontak bangunan/pondasi dengan beda tinggi muka air antara kedua sisi bangunan.

Disepanjang jalur perkolasi ini kemiringan yang lebih curam dari 45° dianggap vertikal dan yang kurang dari 45° dianggap horisontal. Jalur vertikal dianggap memiliki daya tahan terhadap aliran 3 kali lebih kuat daripada jalur horisontal, yang dapat ditulis sebagai berikut:

$$C_L = \frac{\sum L_v + \frac{1}{3} \sum L_H}{H}$$

dimana :

$C_L$  = angka rembesan Lane

$\sum L_V$  = jumlah panjang vertikal (m)

$\sum L_H$  = jumlah panjang horisontal (m)

$H$  = beda tinggi muka air (m)

### 1.1.2.4. Metode Bligh

Konsep metode Bligh sama dengan metode Lane, namun panjang jalur rembesan di bawah bangunan tidak dibedakan antara vertical dan horisontal.

$$C = \frac{\sum L}{H}$$

dimana :

C = angka rembesan Bligh

$\Sigma L$  = jumlah panjang lintasan (m)

H = beda tinggi muka air (m)

**Tabel 1. 3 Harga-harga Minimum Angka Rembesan Lane (CL) dan Bligh (C)**

Macam pondasi	C <sub>L</sub>	C
Pasir sangat halus atau lanau	8,5	18
Pasir halus	7,0	15
Pasir sedang	6,0	13.5
Pasir kasar	5,0	12
Kerikil halus	4,0	11
Kerikil sedang	3,5	10
Kerikil campur pasir	-	9
Kerikil kasar termasuk batu-batu kecil (berangkal)	3,0	8
Bongkah dengan sedikit batu-batu kecil (berangkal) dan kerikil	2,5	7
Bongkah, batu batu kecil dan kerikil	-	4 ~ 6
Lempung lunak	3,0	-
Lempung sedang	2,0	-
Lempung keras	1,8	-
Lempung sangat keras	1,6	-

Analisa rembesan dilakukan dengan teori Bligh dan Lane untuk kondisi:

- Selama terjadi debit normal, yaitu elevasi muka air hulu mencapai elevasi mercu bendung dan pada waktu bak dikeringkan.
- Selama terjadi banjir rencana

Dengan teori yang sama dihitung tekanan air di bawah bendung, dengan asumsi lantai bendung (apron) hulu kedap air.

#### 1.1.2.5. Stabilitas Bendung

Dimensi tubuh bendung ditentukan berdasarkan ukuran mercu dan ukuran peredam energi. Sedangkan kedalaman pondasi bendung ditentukan berdasarkan aspek geologi yaitu kondisi batuan. Selain itu ketebalan pondasi bendung ditentukan pula agar memenuhi persyaratan terhadap tinjauan stabilitas.

Hal-hal yang ditinjau :

- (1) Kondisi desain dan dimensi rencana
- (2) Pembebanan
- (3) Stabilitas terhadap guling
- (4) Stabilitas terhadap gelincir
- (5) Stabilitas terhadap tekanan

#### 1.1.2.6. Kondisi Desain

Parameter desain yang diperlukan untuk analisis stabilitas bendung adalah

- 1) Berat jenis material :  $2,20 \text{ t/m}^3$  (pasangan batu)
- 2) Daya dukung batuan; berdasarkan hasil pemetaan geologi, dimana fondasi bendung akan duduk pada batuan, maka daya dukung rock soil ditentukan menggunakan pendekatan yang tersaji dalam handbook<sup>1</sup>
- 3) Koefisien lekatan tanah : 0,5
- 4) Koefisien gempa diambil 0,2. Untuk bangunan air, koefisien gempa mengacu pada peta koefisien zona gempa.

#### 1.1.2.7. Pembebanan

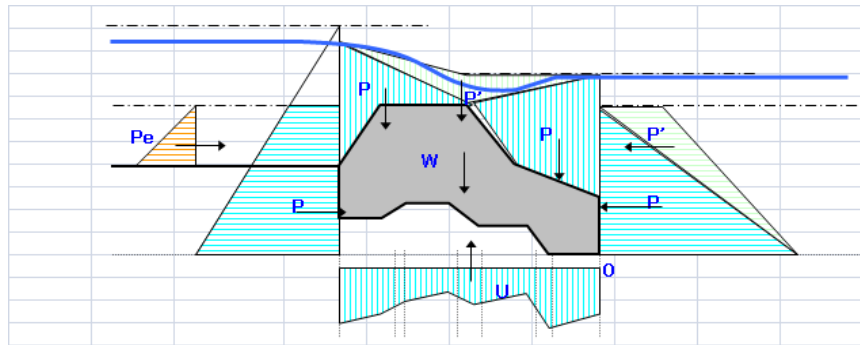
Gaya yang bekerja pada bendung :

- Beban bendung sendiri (W)
- Gaya hidrostatis (P), Gaya hidrostatis berbeda antara bendung yang melimpas dan yang tenggelam tenggelam
- Gaya angkat / uplift (U)
- Gaya tanah/sedimen (Pe), Tinggi sedimen di ukur dari dasar sungai sampai atas mercu
- Gaya gempa (F)

Gaya Luar yang Bekerja pada Bendung pada Kondisi Banjir

---

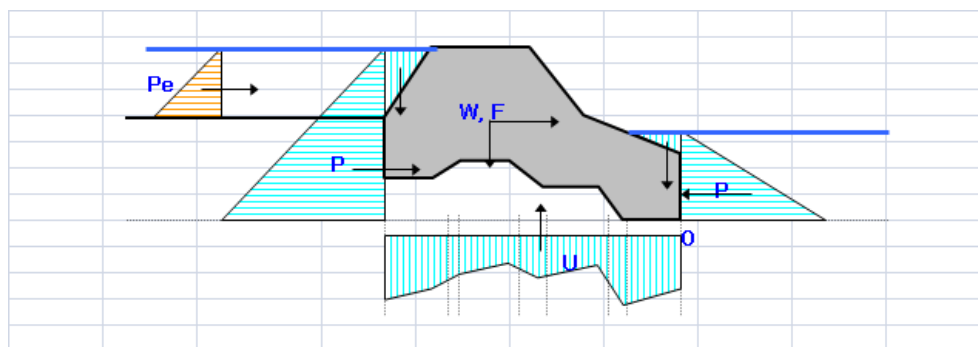
<sup>1</sup> VN Vazirani, SP Chandola, Concise Handbook of Civil Engineering, 1<sup>st</sup> Edition 1993, Reprint 1994, S.Chand & Company Ltd, Ram Nagar, New Delhi, 1994



**Gambar 1. 8 Skema Gaya yang Bekerja pada Bendung pada Kondisi Banjir**

Catatan:  $P'$  adalah gaya hidrostatik yang bekerja pada bendung pada saat kondisi tenggelam.

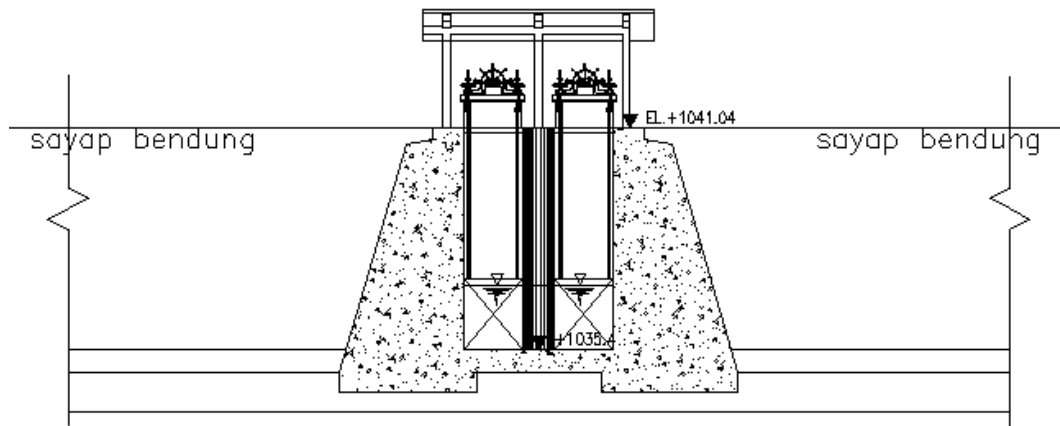
Gaya Luar yang Bekerja pada Bendung pada Kondisi Normal (dengan Gempa)



**Gambar 1. 9 Skema Gaya yang Bekerja pada Bendung pada Kondisi Normal (dengan Gempa)**

### 1.1.3. Bangunan Pengambilan (*Intake*)

*Intake* adalah bangunan pengambilan yang berfungsi untuk menyadap air dari sungai dalam jumlah yang diinginkan. Bangunan *intake* bendung PLTA Liki terletak di sebelah kiri bendung. Denah bangunan *intake* ini dapat dilihat pada Gambar 8.10 Denah Bangunan *Intake* Bendung dibawah ini :



**Gambar 1. 10 Denah Bangunan Intake Bendung**

*Intake* adalah bangunan pengambilan yang berfungsi untuk menyadap air dari sungai dalam jumlah yang diinginkan. Bangunan *intake* bendung PLTA Liki terletak di sebelah kiri bendung PLTA.

Guna menambah fleksibilitas dan agar dapat memenuhi kebutuhan yang lebih tinggi selama umur rencana, maka kapasitas pengambilan diambil sebesar 120% dari kebutuhan, yaitu :

$$Q = 1,2 \times Q_{\text{renc}}$$

Untuk menentukan besarnya bukaan *intake*, dapat digunakan rumus sebagai berikut :

$$Q = \mu \times b \times a \times \sqrt{2 \times g \times z}$$

Dimana :

- Q = Debit rencana, m<sup>3</sup>/detik
- μ = Koefisien pengaliran
- b = Lebar bukaan *intake*, m
- a = Tinggi bukaan *intake*, m
- g = Percepatan gravitasi
- z = Kehilangan tinggi energi, m



Perhitungan :

$$b = Q / (\mu \times a \times \sqrt{2 \times g \times z})$$

Parameter	Unit-Lambai 1	Unit-Lambai 2	Unit-Belangir
$Q_{120\%}$ (m <sup>3</sup> /s)	4,62	4,88	3,35
Tinggi bukaan pintu (m)	1,2	1,3	3
Lebar pintu (m)	1,5	1,5	1,5
Jumlah pintu	2	2	2

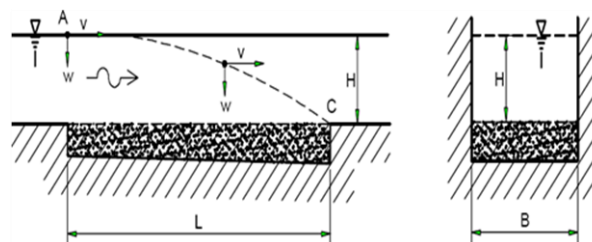
Detail perhitungan dapat dilihat pada laporan penunjang.

#### 1.1.4. Kantung Lumpur (*Sandtrap*)

##### 1.1.4.1. Dimensi *Sandtrap*

*Sandtrap* digunakan untuk menghindari pengotoran saluran dari bahan-bahan endapan.

Penentuan dimensi-dimensi L (panjang) dan B (lebar) pada *Sandtrap* ini didasarkan skema pada Gambar 1-11.



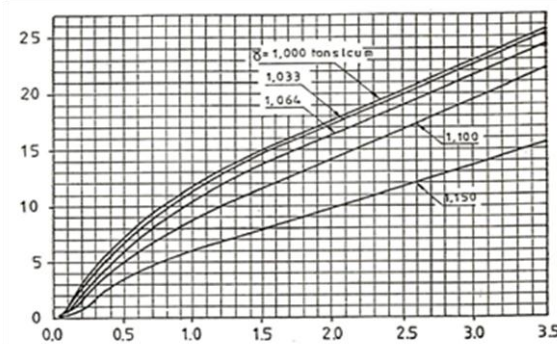
**Gambar 1. 11 Skema Sandtrap**

Berdasarkan skema diatas, kemudian direncanakan dimensi *Sandtrap*. Perencanaan *Sandtrap* ini adalah perencanaan *Sandtrap* yang terletak di hulu intake.

#### A. Kecepatan Endap

Konsentrasi sedimen yang terkandung dalam aliran Sungai bergantung kepada kondisi sungai yang umumnya memiliki diameter yang bervariasi

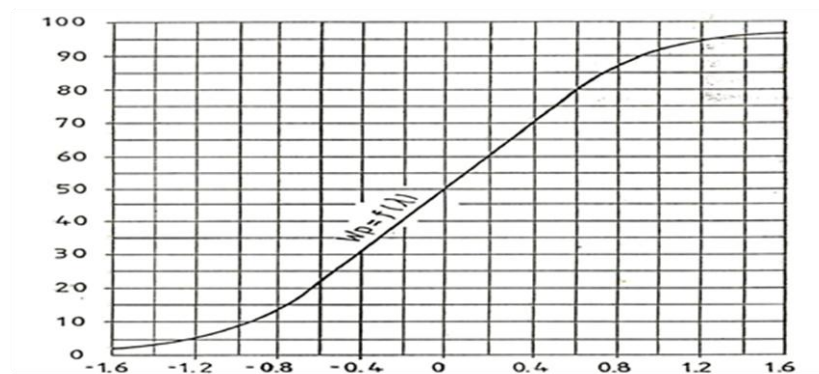
antara 0,3 mm sampai 4,76 mm. Untuk kantong lumpur direncanakan diameter partikel yang dapat diendapkan adalah 0,3 mm. Dari grafik kecepatan endap – diameter partikel, didapatkan kecepatan endap untuk diameter partikel 0,3mm.



**Gambar 1. 12 Grafik Kecepatan Endap Terhadap Ukuran Partikel**

#### B. Dimensi Kantong Lumpur

Dengan asumsi efisiensi pengendapan 98% maka diketahui  $\lambda$  dari grafik relasi Velikanov seperti pada Gambar 8-9.



**Gambar 1. 13 Grafik Relasi Velikanov**

Kecepatan kritis pengendapan dihitung dengan menggunakan formula :

$$V_c = \alpha * \sqrt{d}$$

Dimana :

$V_c$  = Kecepatan kritis pengendapan m/s

$\alpha$  = 44, untuk diameter partikel  $0.1 \text{ mm} < d < 1 \text{ mm}$

$d$  = diameter partikel, 0,3 mm

Maka lebar *Sandtrap* dapat dihitung dengan:

$$Q = Vc * b * h$$

Dimana :

$Q$  = debit rencana,

$Vc$  = kecepatan kritis pengendapan,

$h$  = tinggi muka air di *Sandtrap*,

$b$  = lebar *Sandtrap*

Untuk perencanaan yang lebih detail harus digunakan faktor koreksi guna menyelaraskan faktor yang mengganggu seperti turbulensi air, pengendapan yang terhalang, bahan layang yang banyak. Velikanov menganjurkan faktor koreksi dalam rumus berikut :

$$LB = \frac{Q}{w} \frac{\lambda^2}{7,51 w} \frac{v (H^{0,5} - 0,2)^2}{H}$$

Dimensi kantong lumpur juga sebaiknya sesuai dengan kaidah  $L/B > 8$  agar aliran tidak "meander".

#### C. Penentuan in (eksploitasi normal, Kantong sedimen hampir penuh)

Untuk mencegah tumbuhnya vegetasi dan agar partikel-partikel yang lebih besar tidak langsung mengendap di hilir *intake*, maka kecepatan alirannya ditetapkan terlebih dahulu. Kemudian akan didapatkan luas kantong lumpur normal dengan rumus :

$$A_n = Q_n / V_n$$

maka akan didapatkan tinggi kantong lumpur normal

$$h_n = A_n / b_n$$

Keliling basah ( $O_n$ ) :

$$O_n = b_n + 2h_n \sqrt{1 + m^2}$$

$$R_n = A_n / O_n$$

Kemiringan kantong Lumpur (  $i_n$  ) :

$$i_n = V_n^2 / (R_n^2 / 3 * K)^2$$

#### D. Penentuan is (pembilasan, kantong Lumpur kosong)

Pada kondisi ini, kantong lumpur sudah terisi oleh sedimen yang mengendap, maka direncanakan dahulu kecepatan pembilasan agar sedimen yang mengendap tersebut dapat terbilas dengan baik.

Debit pembilasan diambil sebesar 20% dari debit rencana, yaitu :

$$Q_s = 0,2 * Q$$

Sehingga :

$$A_s = Q_s / V_s$$

Dimana :

$$A_s = b_n * h_s$$

Dari hasil tersebut, maka dapat dihitung  $h_s$  :

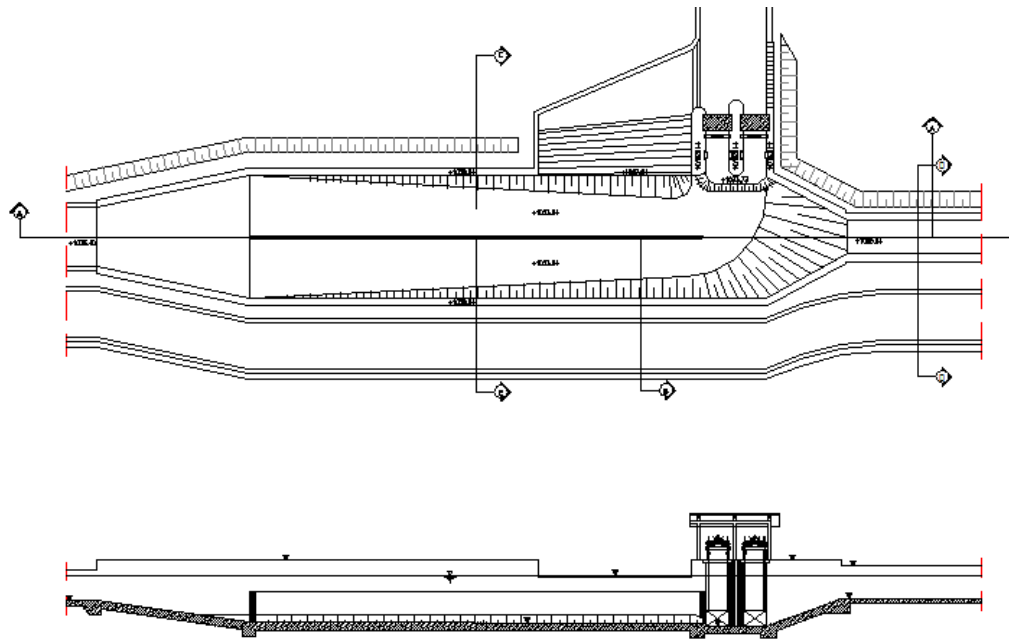
$$h_s = A_s / b_n$$

$$O_s = 2 * h_s + b_n$$

$$R_s = A_s / O_s$$

Agar pembilasan dapat dilakukan dengan baik, maka kecepatan aliran dijaga agar tetap subkritis atau  $Fr < 1$ . Untuk menghitung  $Fr$  dapat digunakan rumus :

$$Fr = V / \sqrt{g * h_s}$$



**Gambar 1. 14 Denah dan Potongan Melintang Kantong Lumpur**

#### E. Volume Tampung Kantong Lumpur

Volume kantong lumpur dihitung berdasarkan dimensi kantong lumpur dan periode pengurasan. Diasumsikan pengurasan dilakukan setiap 30 hari.

Bangunan Pembilas dan Saluran Pembilas *Sandtrap*

##### a. Bangunan Pembilas

Perhitungan :

$$b \times h_s = b_{nf} \times h_f$$

Dimana :

- $b$  = Lebar dasar kantong lumpur, m
- $b_{nf}$  = Lebar bersih bukaan pembilas, m
- $h_f$  = Kedalaman air pada bukaan pembilas, m

Bangunan Pelimpah Samping

Pelimpah samping berfungsi untuk melimpahkan kelebihan debit akibat banjir.

Rumus yang digunakan untuk mengetahui panjang pelimpah samping adalah sebagai berikut:

$$Q = C_w \times L_{\text{spillway}} \times (h_{\text{over} - \text{top}})^{1.5}$$

Dimana :

$L_{\text{spillway}}$  = Panjang bangunan pelimpah samping, m

$Q$  = Debit pelimpah, m<sup>3</sup>/det

$C_w$  = Koefisien debit

$h$  = Ketinggian air yang dilimpahkan, m

Ketinggian air yang akan dilimpahkan diasumsikan sebesar 20% dari ketinggian air di *waterway*, sehingga panjang spillway dihitung menggunakan

$$L_{\text{spillway}} = \frac{Q_p - Q_s}{C_w (h_p - h_s)}$$

Parameter	Unit-Lambai 1	Unit-Lambai 2	Unit-Belangir
$Q_{120\%}$ (m <sup>3</sup> /s)	4,62	4,88	3,35
Tinggi m.a sandtrap (m)	2,2	2,3	1,9
Lebar sandtrap (m)	9	11	6,6
Panjang sandtrap (m)	48,8	49	34,9
Jumlah Kompartemen	2	2	2
Tinggi kantong lumpur normal (m)	1,93	2,04	1,16
Kemiringan kantong lumpur	0,000089	0,000086	0,00013
Debit pembilasan (m <sup>3</sup> /s)	0,92	0,98	0,67
Elevasi m.a masuk sandtrap (m)	+1035,24	+825,5	+972,7
Elevasi m.a setelah sandtrap (m)	+1035,22	+825,4	+972,52
Volume kantong lumpur (m <sup>3</sup> )	534,6	565	387,41
Lebar pintu bilas (m)	1,5	1,5	1,5



Parameter	Unit-Lambai 1	Unit-Lambai 2	Unit-Belangir
Jumlah pintu bilas	2	2	2
Kedalaman tambahan (m)	0,1	0,1	0,2
Ketinggian air limbah (m)	1,4	1	1,8
Panjang spillway (m)	9	9	6

#### 1.1.5. Saluran Pembawa Terbuka

##### a. Dimensi Saluran Pembawa

Saluran pembawa berfungsi membawa air dari *intake* menuju ke *Headpond*. Saluran pembawa harus berfungsi efisien, pemeliharaan yang minimum, mudah dioperasikan dan tidak terjadi rembesan air.

Melihat dari kontur tanah direncanakan menggunakan saluran pembawa terbuka dengan penampang berbentuk persegi.

Dalam menentukan dimensi saluran tertutup digunakan program Flow Advisor. Dengan menginputkan parameter seperti panjang saluran, beda tinggi saluran, dan debit air, maka diameter saluran dan tinggi air di dalam saluran dapat diketahui.

Parameter	Unit-Lambai 1	Unit-Lambai 2	Unit-Belangir
Panjang saluran (m)	1097	1013	602
Beda tinggi (m/km)	0,6	0,6	0,5
Debit rencana (m <sup>3</sup> /s)	4,62	4,88	3,35
Lebar waterway (m)	2,2	2,2	1,9
Tinggi waterway (m)	2,1	2,1	1,9
Panjang (m)	1097	1013	602

## **b. Analisis Stabilitas Lereng Galian**

Secara prinsip, ketidakstabilan lereng terjadi ketika gaya penahan/gaya reaksi lebih kecil dari gaya dorong/gaya aksi yang mengakibatkan sejumlah massa tanah atau batuan meluncur.

Sesuai dengan tujuan analisis kestabilan lereng, dikenal konsep faktor keamanan. Dalam analisis dengan bidang gelincir berupa lingkaran ini perlu dibedakan mana yang disebut sebagai bagian penahan dan bagian pendorong. Dalam analisis diambil tinjauan ketebalan 1.0 m.

Bagian penahan yaitu berupa ketahanan tanah dalam hal ini adalah kuat geser pada bidang gelincir yang dapat dinyatakan dalam dua komponen kuat geser tanah yaitu  $c$  (kohesi) dan  $\phi$  (sudut geser dalam). Selain itu, bagian penahan dapat berupa segmen lereng yang berperan menstabilkan lereng. Harga  $c$  dan  $\phi$  dapat diperoleh dari uji lapangan secara langsung atau dengan korelasi tertentu (SPT, sondir, pressumeter) maupun dari uji laboratorium (uji *triaksial*, uji *direct shear*, uji *unconfined*).

Bagian pendorong umumnya berupa berat tanah sebagai aksi gaya gravitasi bumi dan beban luar (misalnya beban bangunan, tangki air, kendaraan, gempa, dll). Dalam hal ini, apabila lingkaran gelincir dibagi dalam segmen-segmen maka berat tanah dinyatakan sebagai  $A$  di mana  $\gamma$  adalah berat isi tanah dan  $A$  adalah luas segmen bersangkutan.

Dalam penentuan harga  $FK$  secara umum didasarkan atas perbandingan antara gaya penahan dan gaya pendorong di mana:

$$FK = \frac{\text{Gaya penahan}}{\text{Gayapendorong}}$$

Faktor keamanan minimum,  $FK_{\min}$  umumnya diambil sebesar 1. Namun demikian, faktor keamanan tersebut tergantung juga pada urutan konstruksi di lapangan dan besar serta kepentingan konstruksi. Apabila harga  $FK$  lebih besar dari  $FK_{\min}$  dikatakan lereng tersebut dalam kondisi aman. Sebaliknya, apabila  $FK$  yang terjadi lebih kecil dari  $FK_{\min}$  maka lereng berada dalam kondisi kurang aman.

Dalam tulisan ini dibahas metode perhitungan Faktor Keamanan (FK) secara analitik. Cara ini dapat digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng pada tanah homogen dan berlapis dengan asumsi bidang gelincir lingkaran.

Dalam perkembangan sekarang, di bidang geoteknik banyak menggunakan program komputer komersial dengan dasar metode *Fellenius* atau *Bishop*. Dengan program komputer dapat ditentukan dengan lebih mudah dan cepat lokasi lingkaran paling kritis beserta informasi faktor keamanan minimum. Hal ini tentunya perlu ditunjang dengan penentuan data parameter dan pemodelan kondisi lereng yang baik. Dalam laporan ini digunakan program komputer *SLOPE/W*.

- Program Slope/W

*Program SLOPE/W* merupakan program untuk menganalisis kestabilan pada suatu lereng yang diproduksi oleh *GEOSLOPE*, Canada. Stabil atau tidaknya suatu lereng dapat ditentukan dari besarnya faktor keamanan (FK). FK tersebut didasarkan pada teori kesetimbangan batas (*limit equilibrium method*).

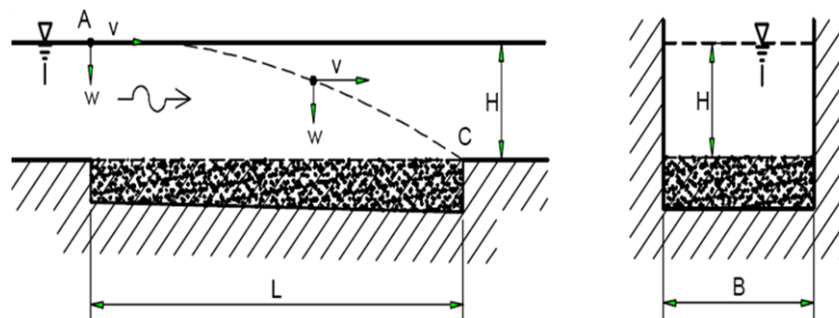
Program ini bisa digunakan untuk mencari bidang gelincir kritis yang circular, non circular atau translasi, dengan menggunakan titik-titik tertentu yang akan dianalisis, dalam menyelesaikan masalah pada daerah lereng (*slope*). Pengguna dapat menentukan jumlah titik yang akan dianalisis pada permukaan, menentukan daerah pusat bidang gelincir, atau dapat menggenerate lokasi bidang longsor secara otomatis. Beberapa titik dapat juga dianalisis secara bersamaan dalam satu analisis, sehingga pengguna dapat dengan cepat menentukan titik dan bidang longsor kritis. Pada setiap analisis, program menggunakan metode *Simplified Bishop*, *Ordinary Method* dan *Simplified Janbu*. Beberapa metode lainnya meliputi metode *Spencer*, *Corps of Engineer*, metode *Lowe and Karafiath*, dan *General Limit Equilibrium* dapat juga dipilih secara simultan. Detail perhitungan dapat dilihat pada laporan penunjang.

### 1.1.6. Headpond

#### 1.1.6.1. Dimensi Headpond

*Headpond* digunakan untuk membuat aliran sebelum masuk ke pipa pesat menjadi seragam. *Headpond* juga berfungsi untuk mengendapkan sedimen halus yang masih terbawa aliran sebelum masuk ke *Penstock*.

Penentuan dimensi-dimensi L (panjang) dan B (lebar) pada *Headpond* ini didasarkan skema pada Gambar 1-15.

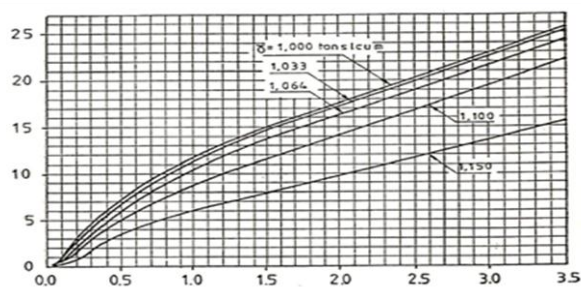


**Gambar 1. 15 Skema Headpond**

Berdasarkan skema diatas, kemudian direncanakan dimensi *Headpond*.

#### A. Kecepatan Endap

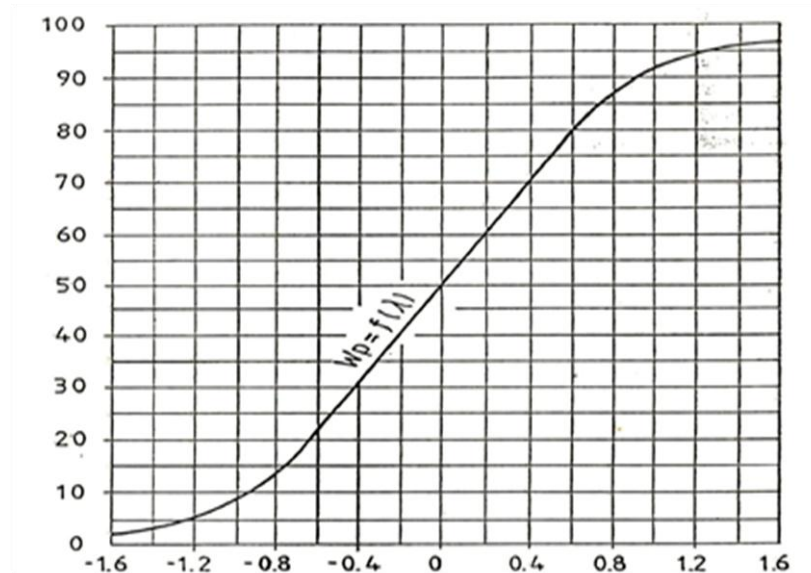
Konsentrasi sedimen yang terkandung dalam *waterway* bergantung kepada kondisi sungai dan hasil pengendapan di sandtrap. Untuk *Headpond* direncanakan diameter partikel yang dapat diendapkan adalah 0.2 mm. Dari grafik kecepatan endap – diameter partikel, didapatkan kecepatan endap untuk diameter partikel 0.2mm.



**Gambar 1. 16 Grafik Kecepatan Endap Terhadap Ukuran Partikel**

## B. Dimensi *Headpond*

Dengan asumsi efisiensi pengendapan 98% maka diketahui  $\lambda$  sebesar 1.5 dari grafik relasi Velikanov seperti pada Gambar 1-17.



**Gambar 1. 17 Grafik Relasi Velikanov**

Kecepatan kritis pengendapan dihitung dengan menggunakan formula :

$$V_c = \alpha * \sqrt{d}$$

Dimana :

- $V_c$  = Kecepatan kritis pengendapan m/s
- $\alpha$  = 44, untuk diameter partikel  $0.1 \text{ mm} < d < 1 \text{ mm}$
- $d$  = diameter partikel, 0.2 mm

sehingga kecepatan kritis pengendapan dapat diperoleh. Dengan debit andalan yang digunakan maka didapat lebar *Headpond* :

$$Q = V_c * b * h$$

Dimana :

- $Q$  = debit rencana, m<sup>3</sup>/s
- $V_c$  = kecepatan kritis pengendapan, m/s
- $h$  = tinggi muka air di *Headpond*, m
- $b$  = lebar *Headpond*, m

Dari perhitungan tersebut didapat lebar *Headpond* dapat diperoleh. Dengan diperolehnya tinggi muka air *Headpond* dan kecepatan endap, maka untuk kondisi air tenang dapat diketahui panjang *Sandtrap*.

Untuk perencanaan yang lebih detail harus digunakan faktor koreksi guna menyelaraskan faktor yang mengganggu seperti turbulensi air, pengendapan yang terhalang, bahan layang yang banyak. Velikanov menganjurkan faktor koreksi dalam rumus berikut :

$$LB = \frac{Q}{w} \frac{\lambda^2}{7,51 w} \frac{v (H^{0,5} - 0,2)^2}{H}$$

Dimensi *Headpond* juga sebaiknya sesuai dengan kaidah  $L/B > 8$  agar aliran tidak "meander". Dari perhitungan didapatkan panjang kantong lumpur setelah koreksi dengan persamaan velikanov.

#### C. Volume Tampungan *Headpond*

Volume tampungan *Headpond* dihitung berdasarkan dimensi *Headpond* dan periode pengurasan. Diasumsikan pengurasan dilakukan setiap 30 hari.

#### D. Penentuan in (eksploitasi normal, Kantong sedimen hampir penuh)

Untuk mencegah tumbuhnya vegetasi dan agar partikel-partikel yang lebih besar tidak langsung mengendap di hilir *intake*, maka kecepatan alirannya ditetapkan terlebih dahulu. Kemudian akan didapatkan luas *Headpond* normal dengan rumus :

$$A_n = Q_n / V_n$$

Dengan diketahui luas *Headpond* normal, maka akan didapatkan tinggi *Headpond* normal

$$h_n = A_n / b_n$$

Keliling basah ( $O_n$ ) :

$$O_n = b_n + 2h_n \sqrt{1 + m^2}$$

$$R_n = A_n / O_n$$

Kemiringan kantong Lumpur (  $i_n$  ) :

$$i_n = V_n^2 / (R_n^2 / 3 * K)^2$$



E. Penentuan is (pembilasan, kantong Lumpur kosong)

Pada kondisi ini, kantong lumpur sudah terisi oleh sedimen yang mengendap, maka direncanakan dahulu kecepatan pembilasan agar sedimen yang mengendap tersebut dapat terbilas dengan baik.

Debit pembilasan diambil sebesar 20% dari debit rencana, yaitu :

$$Q_s = 0,2 * Q$$

Sehinga :

$$A_s = Q_s / V_s$$

Dimana :

$$A_s = b_n * h_s$$

Dari hasil tersebut, dengan nilai  $b_n$  yang telah dihitung sebelumnya maka dapat dihitung  $h_s$  :

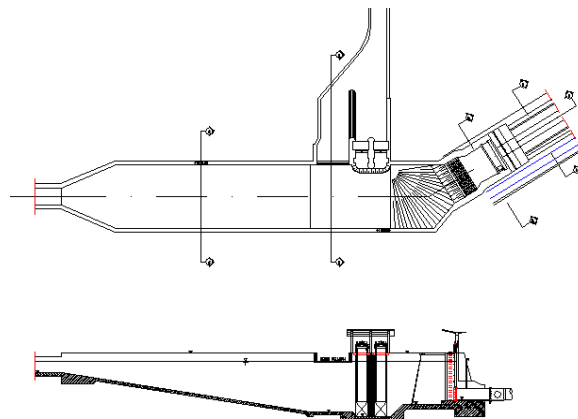
$$H_s = A_s / b_n$$

$$O_s = 2 * h_s + b_n$$

$$R_s = A_s / O_s$$

Agar pembilasan dapat dilakukan dengan baik, maka kecepatan aliran dijaga agar tetap subkritis atau  $Fr < 1$ . Untuk menghitung  $Fr$  dapat digunakan rumus :

$$Fr = V / \sqrt{g * h_s}$$



Gambar 1. 18 Denah dan Potongan Melintang Headpond

## Bangunan Pembilas dan Saluran Pembilas *Sandtrap*

### a. Bangunan Pembilas

Dalam Merencanakan bangunan pembilas untuk bangunan headpond, menggunakan perhitungan sebagai berikut :

Perhitungan :

$$b \times h_s = b_{nf} \times h_f$$

Dimana :

- b = Lebar dasar kantong lumpur, m
- b<sub>nf</sub> = Lebar bersih bukaan pembilas, m
- h<sub>f</sub> = Kedalaman air pada bukaan pembilas, m

### b. Bangunan Pelimpah Samping

Pelimpah samping berfungsi untuk melimpahkan kelebihan debit akibat banjir. Rumus yang digunakan untuk mengetahui panjang pelimpah samping adalah sebagai berikut:

$$Q = C_w \times L_{\text{spillway}} \times (h_{\text{over} - \text{top}})^{1.5}$$

Dimana :

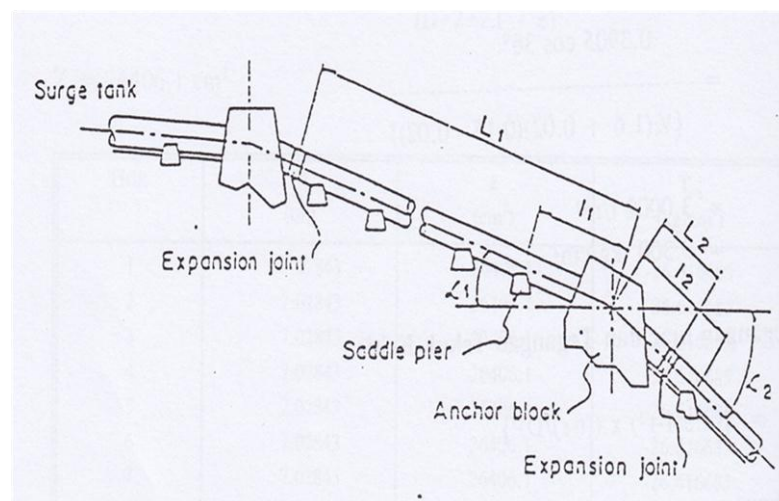
- L<sub>spillway</sub> = Panjang bangunan pelimpah samping, m
- Q = Debit pelimpah, m<sup>3</sup>/det
- C<sub>w</sub> = Koefisien debit
- h = Ketinggian air yang dilimpahkan, m

Besarnya debit yang akan dilimpahkan diasumsi sebesar 120% dari debit yang dibutuhkan. Ketinggian air yang akan dilimpahkan diasumsikan sebesar 20% dari ketinggian air di *waterway*. Resume dari dimensi headpond dijabarkan sebagai berikut:

Parameter	Unit Lambai 1	Unit Lambai 2	Unit Belangir
Q <sub>120%</sub> (m <sup>3</sup> /s)	4,62	4,88	3,35

Tinggi m.a headpond (m)	2,61	2,64	2,3
Lebar headpond (m)	9	9	6,4
Panjang headpond (m)	45,6	46,6	39,6
Volume headpond (m <sup>3</sup> )	534,6	565	387,41
Tinggi headpond normal (m)	1,93	1,89	1,29
Kemiringan headpond	0,0000089	0,0000087	0,00012
Debit pembilasan (m <sup>3</sup> /s)	0,92	0,98	0,67
Elevasi m.a masuk headpond (m)	+1035,89	+826,44	+971,5
Elevasi m.a setelah headpond (m)	+1035,83	+826,37	+972,4
Lebar pintu bilas (m)	1,5	1,5	1,5
Jumlah pintu bilas	2	2	2
Kedalaman tambahan (m)	0,1	0,1	0,1
Panjang spillway (m)	7	7	6

#### 1.1.7. Stabilitas Anchor block



**Gambar 1. 19 Anchor block dan saddle support**

Notasi dan Rumus Yang Digunakan :

Simbol-simbol berikut ini digunakan dalam perhitungan gaya yang terjadi pada blok angker.

$\alpha_1$  = sudut pertemuan garis tengah pipa dan garis horizontal (deg)

$\alpha_1$  = sudut pertemuan antara garis tengah pipa bagian bawah dengan horizontal (deg).

$l_1$  = jarak dari blok angker ke tumpuan terdekat pada bagian atas (m)

$l_2$  = jarak dari blok angker ke tumpuan terdekat pada bagian bawah (m)

$L_1$  = jarak dari blok angker ke bagian sambungan pada bagian atas (m)

$L_2$  = jarak dari blok angker ke bagian sambungan pada bagian bawah (m)

$S_1$  = beban mati pipa bagian atas per meter panjang =  $7r.D.t.r_1$  (ton)

$S_2$  = beban mati pipa bagian bawah per meter panjang =  $7r.D_2.t.r$ , (ton)

$W_1$  = berat air yang berada dalam pipa bagian atas per meter panjang  $7r/4.D, 2.t.r_2$  (ton)

$W_2$  = berat air yang berada dalam pipa bagian bawah per meter panjang  $7r/4.D_2.t.r_2$  (ton)

$D$  = diameter pipa pesat (m)

$t$  = ketebalan pipa pesat (m)

$r_1$  = berat jenis baja =  $7.85 \text{ g/cm}^3$

$r_2$  = berat jenis air =  $1.00 \text{ g/cm}^3$

$c$  = koefisien gesekan antara pipa dengan pilar sadel

#### 1.1.7.1. Beban Akibat Inklinimasi Pipa

Komponen gaya tegak lurus pada sumbu pipa

$$\text{Pipa atas} : W1 = 1/2 (W1 + S1) 11 \cdot \cos a1$$

$$\text{Pipa bawah} : W2 = 1/2 (W2 + S2) 12 \cdot \cos a2$$

Komponen gaya pada sumbu pipa

$$\text{Pipa atas} : T1 = S1 \cdot L1 \sin a1 + c (W1 + S1) (L1 - 11/2) \cos a1$$

$$\text{Pipa bawah} : T2 = S2 \cdot L2 \sin a, + c (W2 + S2) (L2 - 12/2) \cos a2$$

#### 1.1.7.2. Gaya Tekan Akibat Gaya Gesekan Aliran Air

$$\begin{aligned} \text{Pipa atas} &= \frac{2fQ^2}{g\pi D_1^3} L_1 \\ \text{Pipa bawah} &= \frac{2fQ^2}{g\pi D_2^3} L_2 \end{aligned}$$

Di mana:

Q = debit pipa pesat (m<sup>3</sup>)

f = koefisien gesekan air = 0.02

#### 1.1.7.3. Gaya Sentrifugal Yang Bekerja Pada Belokan

$$P_3 = \frac{2V^2}{g \pi D_1^3} L_1$$

Dimana :

V = kecepatan pada bagian belokan (m/dt)

A = luas penampang basah pipa (m<sup>2</sup>)

φ = sudut belokan

P3 = terjadi pada bagian terluar belokan dengan sudut ((l)/2)

#### 1.1.7.4. Resultan Gaya Tekanan Air Yang Bekerja Pada Belokan

$$P_4 = 2H.A \sin (4/2)$$

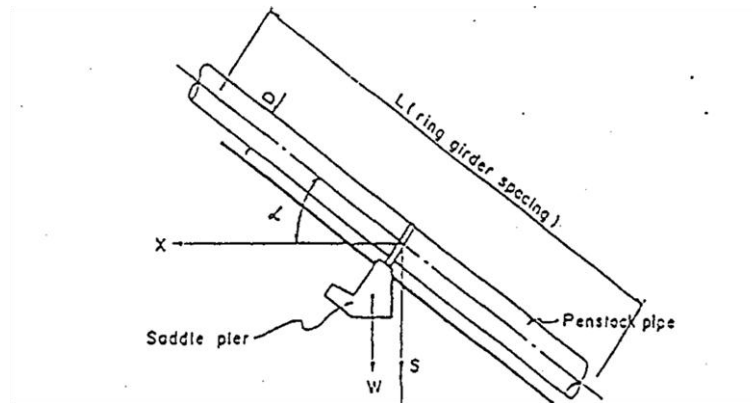
Dimana:

H = tinggi jatuh rencana pada pusat blok angker

A = luas penampang basah ujung bawah pipa

Untuk Perhitungan Struktur *Anchor block* dapat dilihat pada laporan penunjang

#### 1.1.8. Saddle support



Gambar 1. 20 Saddle support

Notasi dan Rumus Yang Digunakan :

Simbol-simbol berikut ini digunakan dalam perhitungan gaya yang terjadi pada *saddle support*

a = sudut pertemuan antara garis tengah pipa dan garis horizontal (deg)

L = jarak antara sadel (m)

S = berat mati pipa meter panjang =  $7r.D.t.r1$  (ton)

W = berat air yang berada dalam pipa per meter panjang =  $r/4.D^2.r2$  (to]

D = diameter pipa (m)

t = ketebalan pipa (m)

r1 = berat jenis baja baja = 7.85 (t/m<sup>3</sup>)

r2 = berat jenis air = 1.00 (t/m<sup>3</sup>)



$c =$  koefisien gesekan antara pipa dengan sadel = 0.15

#### 1.1.8.1 Beban Akibat Inklimnasi Pipa

Komponen gaya yang tegak lurus pada sumbu pipa

$$W = (W + S) L \cos a$$

Komponen gaya pada sumbu pipa

$$T = c(W + S) L \cos a$$

#### 1.1.8.2 Perhitungan Struktur Saddle Support

Untuk Perhitungan Struktur Saddle Support dapat dilihat pada Laporan penunjang

#### 1.1.9. Struktur Bangunan *Power House*

Gedung sentral yang merupakan titik pusat pembangkitan direncanakan memiliki beberapa fasilitas yang penting antara lain:

- Ruang Turbin dan Generator.
- Ruang Kontrol.
- Ruang Perawatan.
- Crane/Derek Pengangkat.
- Ruang Peralatan

Elevasi ruang Turbin dan Generator berada di bawah elevasi Ruang Kontrol dan ruang lainnya juga untuk membedakan aktivitas pekerjaan mekanikal dan elektrik (Ruang Kontrol), sehingga kebersihan ruang kontrol dan ruang lainnya lebih terlindungi dari oli maupun aktivitas perbaikan turbin pada saat overhaul dan lain sebagainya. Ruang turbin dilapisi dengan keramik yang tahan slip juga dimaksudkan untuk memberikan fungsi kebersihan ruangan. Dalam ruang turbin juga dilengkapi dengan sistem penerangan yang ditempatkan pada dinding dikedua sisi dan sistem pemadam kebakaran yang siap terjangkau setiap saat. Sistem penerangan dengan lampu mercury yang dapat diarahkan.

dimaksudkan untuk memudahkan sistem penerangan yang sangat diperlukan pada saat diperlukan perbaikan pada malam hari.

Ruang kontrol dilengkapi jendela lebar untuk memberikan kemudahan dalam aktivitas pengontrolan generator terutama apabila diperlukan sistem pengontrolan manual. Untuk mengurangi kebisingan maka ruang kontrol direncanakan dengan plafon yang kedap suara dan ruangan sedikit tertutup. untuk menstabilkan suhu dalam ruangan. maka dalam ruang kontrol juga dilengkapi dengan exhaust fan.

*Crane* sistem pengangkat ditempatkan pada bagian atas (15 T di atas ruang perawatan), dengan ruang gerak cukup fleksibel disepanjang jalur rel. sehingga akan memudahkan melakukan erection/installing peralatan maupun pengangkatan turbin maupun generator apabila diperlukan perbaikan.

Pada bagian depan gedung sentral juga direncanakan lapangan parkir yang cukup luas, disamping berfungsi sebagai lapangan parkir maka juga untuk memudahkan mobil berputar setelah pembongkaran dan pemuatan selesai. Sistem penerangan pada lapangan parkir adalah menggunakan lampu mercury 250 watt.

Dalam mendesain *Power House* semua bangunan menggunakan struktur baja, kecuali bagian pondasi lantai menggunakan beton bertulang.

#### 1.1.9.1 Umum

##### Satuan

Satuan yang digunakan dalam perhitungan adalah:

Panjang	:	mm, m
Luas	:	mm <sup>2</sup> , m <sup>2</sup>
Gaya	:	kg, ton, N, kN.
Momen	:	kgm, tonm, kNm
Tegangan	:	kg/cm <sup>2</sup> , ton/m <sup>2</sup> , N/mm <sup>2</sup>

## Notasi

Notasi yang ada di dalam perhitungan adalah:

$F_y$	:	Tegangan leleh baja
$F_c$	:	Tegangan ijin beton
$\tau$	:	Tegangan geser ijin
$\sigma_{\text{tu}}$	:	Tegangan tumpu ijin
$\sigma_{\text{ta}}$	:	Tegangan tarik ijin
$N$	:	Beban geser
$P$	:	Beban tekan
$M$	:	Momen
$Dia$	:	Diameter
$WF$	:	Wide Flange
$L$	:	Angle

## **Peraturan, Standar, Referensi dan Program Aplikasi Komputer**

### A. Peraturan dan Standar :

1. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI-03-1726-2003).
2. Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1729-2002)
3. Pedoman Perencanaan Bangunan Baja untuk Gedung (SKBI 1.3.53.1987)
4. American Society for Testing and Materials (ASTM)
5. American Institute of Steel Construction (AISC)-ASD, 9<sup>th</sup> editions
6. American Welding Society (AWS).

### B. Referensi :

1. Foundation Analysis and Design, Joseph E. Bowles
2. Tabel Profil Konstruksi Baja, PT.Gunung Garuda
3. ACI Detailing Manual 2002

### C. Program Aplikasi Komputer :

SAP 2000, untuk analisa struktur baja

### 1.1.9.2 Material

#### Baja

##### 1. Mutu baja

Bahan baja profil, baja pelat strip/lembaran, tali atau kawat adalah baja mutu Bj.37 dengan kekuatan leleh minimal  $240 \text{ N/mm}^2$ , dan memenuhi ketentuan SNI.03-1729-1989. Modulus elastisitas baja,  $E_s = 200,000 \text{ N/mm}^2$ .

##### 2. Alat pengencang

Baut, mur dan angkur memenuhi ASTM A-307-90, dan berlapis kadmium. Baut dan mur tegangan tinggi memenuhi ASTM A-325 atau ISO 8.8.

##### 3. Kawat las

Semua bahan pekerjaan pengelasan struktur utama harus memenuhi standar AWS D1.1-1996 dan penetrasi sebagian/penuh dengan bahan pengisi E 70XX.

### 1.1.9.3 Pembebanan

#### Jenis-Jenis Pembebanan

##### 1. Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati adalah berat sendiri struktur termasuk segala unsur tambahan yang dianggap merupakan satu kesatuan tetap dengannya. Penentuan besaran beban mati standar yang dapat dijadikan acuan perancangan adalah mengacu ke SKBI-1.3.28.1987, yaitu :

2. Baja tuang =  $7,850 \text{ kg/m}^3$

##### 3. Beban Super Impose Dead Load (SDL)

Beban Super Impose Dead Load terdiri dari beban finishing, beban peralatan ME dan beban Plafond. Beban SDL adalah sebagai berikut :

- Beban ME =  $5 \text{ kg/m}^2 \times 4 \text{ m (bentang)} = 20 \text{ kg/m}$
- Beban Crane Sendiri =  $185 \text{ kg}$

- Beban Alat ME = 10,000 kg
- Beban Atap =  $11 \text{ kg/m}^2 \times 4 \text{ m (bentang)} = 44 \text{ kg/m}$
- Beban Purlins = 16.24 kg

#### 4. Beban Hidup (Live Load)

Beban hidup tergantung dari fungsi ruangan :

Beban titik orang untuk pemeliharaan atap = 100 kg

#### 5. Beban Angin (Wind Load)

Mengacu pada “ Peraturan Muatan Indonesia, 1970” , beban angin adalah :

- Diambil tekanan angin  $25 \text{ kg/m}^2$
- Untuk daerah dimana kecepatan angin dapat menaikkan tekanan angin, tekanan angin (p) harus ditentukan dengan memakai rumus dibawah ini:

$$p = \frac{V^2}{16}$$

di mana; V= kecepatan angin (m/det)

#### 6. Beban Gempa (Earthquake Load)

Perhitungan gaya gempa mengacu ke Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI-1726-2002) dan menggunakan formula sebagai berikut:

- V =  $CI/R * W_t$ , di mana :
- V = gaya geser dasar nominal statik ekuivalen,
- C = nilai faktor respons gempa yang didapat dari spektrum respons gempa Rencana untuk waktu getar alami fundamental T1,
- I = faktor keutamaan bangunan,
- R = faktor reduksi gempa, dan
- $W_t$  = berat total bangunan termasuk beban hidup yang direduksi.

Karena bangunan ini terletak di daerah Solok Selatan Sumatera Barat, dalam perencanaan ini dipakai respons spectrum gempa wilayah 4 tanah lunak, dan faktor reduksi (R) sebesar 4.5 dapat dipakai untuk gedung dengan struktur rangka pemikul momen menengah. Faktor keutamaan (I) dapat diambil = 1.

#### 1.1.9.4 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan untuk struktur baja (desain elastis)

**Tabel 1. 4 Tabel Kombinasi Pembebanan Struktur Baja Desain Elastis**

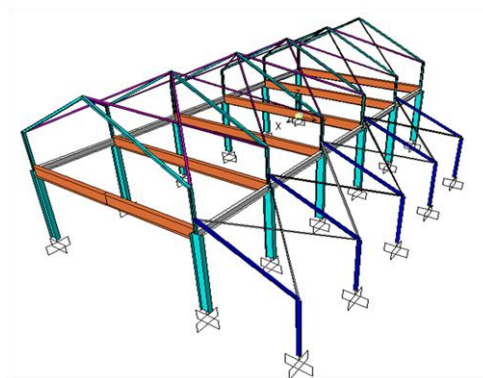
Kondisi pembebanan	Beban				Stress ratio
	DL	LL	E	WL	
Tetap	1	1	-	-	1
Sementara	0.75	0.75	0.75	-	1
Sementara	0.75	0.75	-	0.75	1

#### 1.1.9.5 Struktur Rangka Utama

Struktur rangka utama yang terdiri dari struktur baja dimodelkan dengan menggunakan program SAP.

#### 1.1.9.6 Pemodelan Bangunan

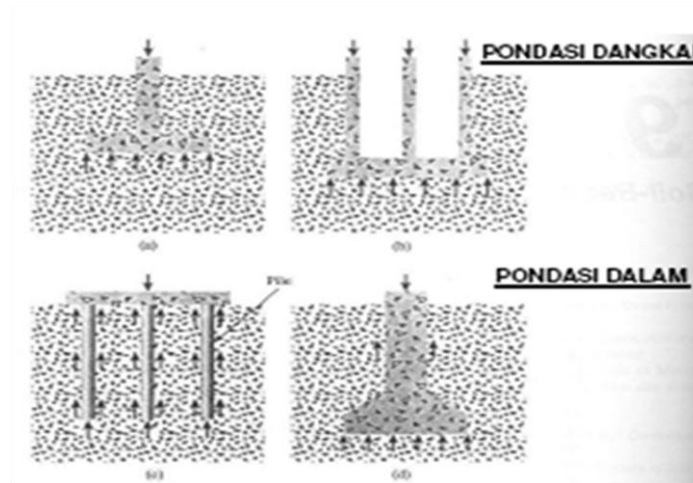
Pemodelan Struktur Utama



**Gambar 1. 21 Pemodelan 3 Dimensi**

### 1.1.9.7 Macam-Macam Pondasi

Bentuk Pondasi yang umum dipakai seperti di bawah ini:

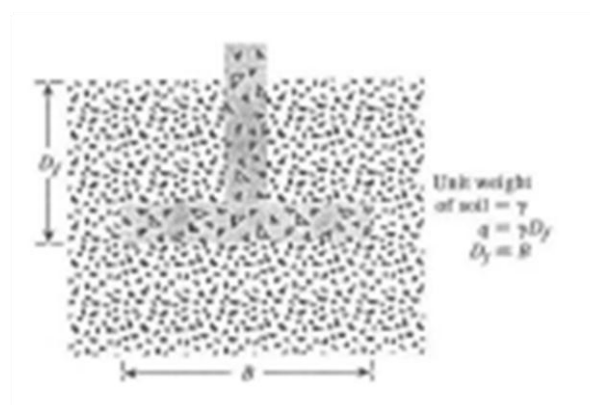


**Gambar 1. 22 Macam-macam Pondasi**

Dari gambar di atas yang termasuk Pondasi dangkal adalah Pondasi Telapak Terhampar (a) dan Pondasi Rakit (b), sedangkan Pondasi Tiang Pancang (c) dan Pondasi Tiang Bor (d) disebut Pondasi Dalam.

### 1.1.9.8 Daya Dukung Pondasi Dangkal

Disebut Pondasi Dangkal jika  $D_f \leq B$



**Gambar 1. 23 Syarat pondasi Dangkal**

Bentuk Keruntuhan Pondasi Dangkal

## 1. General Shear Failure

Keruntuhan ini terjadi jika pondasi berada pada pasir padat dan lempung kaku.

Pasir Padat jika :

1.  $120 < q_c < 150$
2.  $NSPT > 30$
3.  $Dr > 0.60$

Lempung Kaku jika :

1. Dari data sondir diperoleh  $q_c > 60$
2.  $C_u > 10 \text{ t/m}^2$
3.  $NSPT > 8$

## 2. Lokal Shear Failure

Keruntuhan ini terjadi jika pondasi berada pada pasir agak padat dan lempung agak kaku.

Pasir Agak Padat jika :

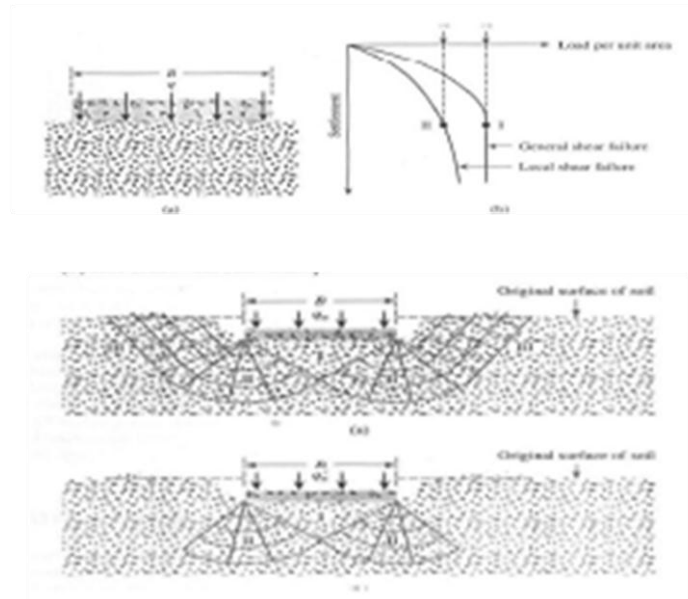
1.  $40 < q_c < 120$
2.  $10 < NSPT < 30$
3.  $0.4 < Dr < 0.60$

Lempung Agak Kaku jika :

1. Dari data sondir diperoleh  $30 < q_c < 60$
2.  $5 < C_u < 10 \text{ t/m}^2$

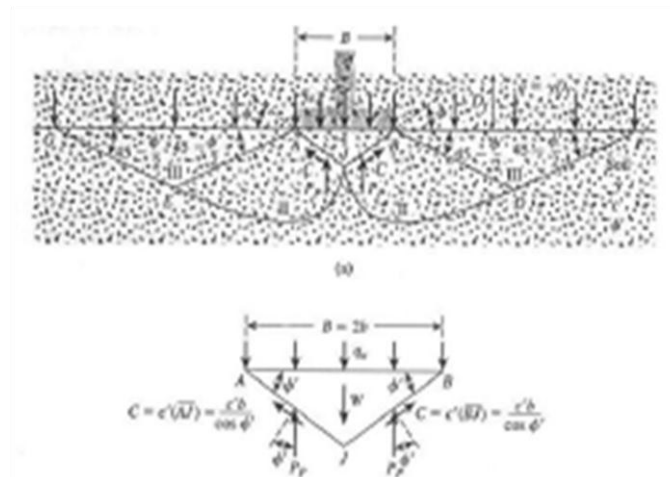


### 3. $4 < \text{NSPT} < 8$



**Gambar 1. 24 Bentuk Keruntuhan Pondasi Dangkal**

### Persamaan Ultimate Terzaghi



**Gambar 1. 25 Pendistribusian Beban Pondasi**

$$r = r_o e^{\theta \tan \phi'}$$

$$q_u B = -W + 2C \sin \phi' + 2P_p$$

$$q_u 2b = 2P_p + 2bc \tan \phi' - \gamma b^2 \tan \phi'$$

$$q_u = \frac{P_p}{b} + c' \tan \phi' - \frac{\gamma b}{2} \tan \phi'$$

$$P_p = 1/2 \gamma (b \tan \phi')^2 K_\gamma + c' (b \tan \phi') K_c + q (b \tan \phi') K_q$$

Dimana :

$W$  = berat tanah ABJ =  $gb^2 \tan \phi'$

$C$  = kohesi sepanjang permukaan AJ

dan BJ =  $c'b/\cos \phi'$

$K_g, K_c, K_q$  adalah Koefisien Tekanan Tanah yang merupakan fungsi dari  $\phi'$ .

$$2bq_u = 2bc'(\tan \phi' [K_c + 1]) + 2bq(\tan \phi')K_q + b^2\gamma(\tan \phi' [K_\gamma \tan \phi' - 1])$$

$$q_u = c'(\tan \phi' [K_c + 1]) + q[(\tan \phi')K_q] + \frac{b}{2}\gamma\left(\frac{1}{2}\tan \phi' [K_\gamma \tan \phi' - 1]\right)$$

Jika  $c' = 0$  dan  $q = 0$  maka :

$$q_u = q_\gamma = \frac{b}{2}\gamma\left(\frac{1}{2}\tan \phi' [K_\gamma \tan \phi' - 1]\right) = \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma$$

Jika  $\gamma = 0$  dan  $q = 0$  maka :

$$q_u = q_c = c'(\tan \phi' [K_c + 1]) = c'N_c$$

Jika  $\gamma = 0$  dan  $c' = 0$  maka :

$$q_u = q_q = q[(\tan \phi')K_q] = qN_q$$

Secara umum  $q_u = q_c + q_q + q_\gamma = c'N_c + qN_q + \frac{1}{2}B\gamma N_\gamma$

Daya Dukung Pondasi Bujur Sangkar:

Daya Dukung  $q_u = 1,3c'N_c + qN_q + 0,4B\gamma N_\gamma$

Daya Dukung Pondasi Melintang:

$$q_u = 1,3c'N_c + qN_q + 0,3B\gamma N_\gamma$$

$$q_u = c'N_c + qN_q + \frac{1}{2}B\gamma N_\gamma$$

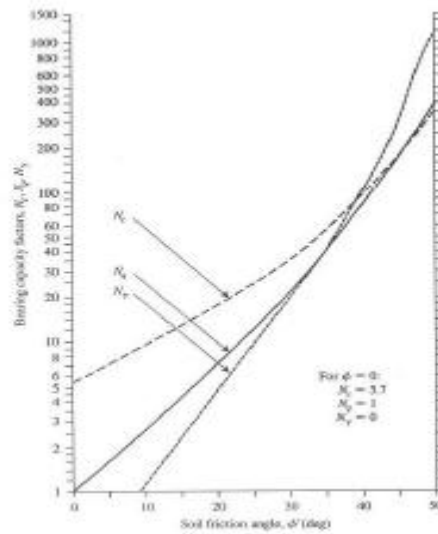
Untuk Keruntuhan Lokal, maka :

$$c' = 2/3 c$$

$$\tan \phi' = 2/3 \tan \phi$$

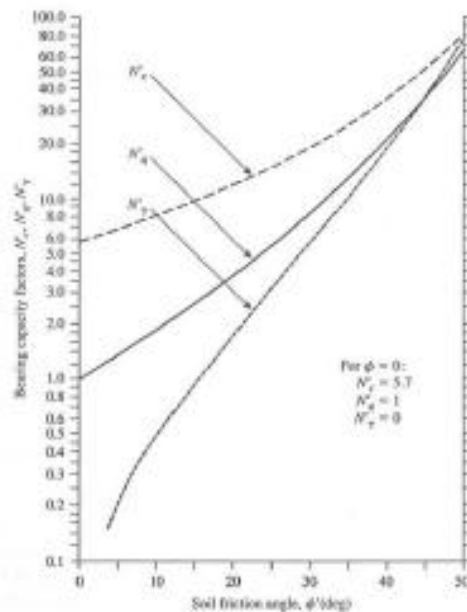
Faktor Daya Dukung  $N_c, N_q$  dan  $N_\gamma$  tergantung dari Sudut Geser Dalam  $\phi$ .

Faktor Daya Dukung untuk Keruntuhan Geser Umum tersebut dapat diambil dari Grafik di bawah ini:



**Gambar 1. 26 Faktor Daya Dukung Untuk General Shear Failure**

Faktor Daya Dukung  $N_c'$ ,  $N_q'$  dan  $N_y'$  untuk Keruntuhan Geser Lokal tersebut dapat diambil dari Grafik di bawah ini.



**Gambar 1. 27 Faktor Daya Dukung Untuk Lokal Shear Failure**

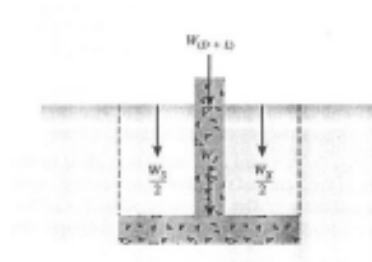
Faktor Keamanan

Faktor Keamanan (SF) umumnya diambil 1.25 atau lebih besar.

Kapasitas Daya Dukung Gross,

$$q_{all} = \frac{q_u}{SF}$$

Kapasitas Daya Dukung tersebut harus sama dengan beban yang dipikul pondasi.



$$q_{all} = \frac{q_u}{SF} = \left[ \frac{W_{(D+L)} + W_F + W_S}{A} \right] \times \frac{1}{SF}$$

Dimana: A = Luas Dasar Pondasi.

Kapasitas Daya Dukung Ultimate Netto =  $q_{u,netto}$

$$q_{u(netto)} = q_u - q$$

Kapasitas Daya Dukung Izin Netto =  $q_{u,netto}$

$$q_{all(netto)} = \frac{q_{u(netto)}}{SF} = \frac{q_u - q}{SF}$$

Dengan asumsi berat tanah dan berat pondasi mendekati sama, maka :

$$q = \gamma D_f = \frac{W_S + W_F}{A}$$

$$q_{all(netto)} = \frac{W_{(D+L)}}{A} = \frac{q_u - q}{SF}$$

Faktor daya dukung dapat diambil dari table di bawah ini:

$\phi'$ (1)	$N_c$ (2)	$N_q$ (3)	$N_{\gamma}$ (4)	$\phi'$ (1)	$N_c$ (2)	$N_q$ (3)	$N_{\gamma}$ (4)
0	5.14	1.00	0.00	26	23.25	11.85	12.54
1	5.38	1.09	0.07	27	23.94	13.20	14.47
2	5.63	1.20	0.15	28	25.80	14.72	16.72
3	5.90	1.31	0.24	29	27.86	16.44	19.34
4	6.19	1.43	0.34	30	30.14	18.40	22.40
5	6.49	1.57	0.45	31	32.67	20.63	25.99
6	6.81	1.72	0.57	32	35.49	23.18	30.22
7	7.16	1.88	0.71	33	38.64	26.09	35.19
8	7.53	2.06	0.86	34	42.16	29.44	41.06
9	7.92	2.25	1.03	35	46.12	33.30	48.03
10	8.35	2.47	1.22	36	50.59	37.75	56.31
11	8.80	2.71	1.44	37	55.63	42.92	66.19
12	9.28	2.97	1.69	38	61.35	48.93	78.03
13	9.81	3.26	1.97	39	67.87	55.90	92.25
14	10.37	3.59	2.29	40	75.31	64.20	109.41
15	10.98	3.94	2.65	41	83.86	73.90	130.22
16	11.63	4.34	3.06	42	93.71	85.38	155.55
17	12.34	4.77	3.53	43	105.11	99.02	186.54
18	13.10	5.26	4.07	44	118.37	115.31	224.64
19	13.93	5.80	4.68	45	133.88	134.88	271.76
20	14.83	6.40	5.39	46	152.10	158.51	330.35
21	15.82	7.07	6.20	47	173.64	187.21	403.67
22	16.88	7.82	7.13	48	199.26	222.31	496.01
23	18.05	8.66	8.20	49	229.93	265.51	613.16
24	19.32	9.60	9.44	50	266.89	319.07	762.89
25	20.72	10.66	10.88				

Detail perhitungan pondasi PH dapat dilihat pada laporan penunjang.

#### 1.1.10. Tailrace

Bangunan ini berfungsi sebagai saluran pembuang akhir yang berasal dari turbin ke Sungai Belangir. Bangunan ini merupakan satu kesatuan dengan *Power House*.

##### 1.1.10.1 Dimensi Tailrace

PLTA Liki direncanakan menggunakan turbin sebagai pembangkit.

Rumus yang digunakan untuk merencanakan dimensi tailrace adalah sebagai berikut :

$$Q = C_d \times \frac{2}{3} \times \sqrt{(2/3 \times g) \times b \times H_1^{1.5}}$$

Dimana :

Q = Debit buangan, m<sup>3</sup>/det

C<sub>d</sub> = Koefisien debit, 0,70

g = Percepatan gravitasi, 9,81 m/s<sup>2</sup>

$b_e$  = Lebar saluran, m  
 $H_1$  = Tinggi muka air, m

#### 1.1.10.2 Saluran Pembuang

Perhitungan dimensi saluran pembuang, digunakan Rumus Strickler :

$$Q = V \times A$$

Dimana :

$$Q = \text{Debit rencana, m}^3/\text{det}$$

$$V = \text{Kecepatan aliran, m/det}$$

$$= k \times R^{2/3} \times I^{1/2}$$

$$A = \text{Luas penampang basah, m}^2$$

$$= b + (m \times h) \times h$$

$$k = \text{Koefisien kekasaran Manning}$$

$$R = \text{Jari-jari hidrolis, m}$$

$$= A / (b + 2h \times \sqrt{1 + m^2})$$

$$I = \text{Kemiringan dasar saluran}$$

Karena saluran pembuang direncanakan terbuat dari pasangan batu, maka :

$$k = 60$$

$$n = 1 / k$$

$$= 0,017$$

Kecepatan maksimum untuk pasangan batu kali yang diijinkan ( $V$ ) < 2 m/det

Parameter	Unit Lambai 1	Unit Lambai 2	Unit Belangir
Jumlah turbin	2	2	2
Debit per turbin (m <sup>3</sup> /s)	1,93	2,04	1,4
Lebar saluran tailrace/turbin (m)	2,2	2,2	2,2
Tinggi m.a kondisi normal (m)	0,8	0,8	0,7
Tinggi m.a kondisi minimum (m)	0,45	0,46	0,36
Tinggi m.a kondisi maksimum (m)	0,92	0,92	0,7

### 1.1.10.3 Stabilitas Dinding Bangunan

Hal utama yang harus diperhatikan dalam perencanaan dinding saluran adalah stabilitas tanggul, kemiringan talud galian serta rembesan ke dan dari saluran. Data tanah yang diperoleh dari hasil penyelidikan tanah pertanian akan memberikan petunjuk umum mengenai sifat-sifat tanah di daerah trase saluran yang direncanakan.

Perhatian khusus harus diberikan kepada daerah - daerah yang mengandung:

- Batu singkapan, karena rawan terhadap dislokasi dan kebocoran atau laju resapan yang tinggi.
- Lempung tak stabil dengan plastisitas tinggi, karena pada tanah lempung dengan diameter butir yang halus variasi kadar air sangat mempengaruhi plastisitas tanah, disamping itu pada tanah lempung dengan kandungan mineral *Montmorillonite* merupakan tanah yang ekspansif, sangat mudah mengembang oleh tambahan kadar air.
- Tanah gambut dan bahan – bahan organik, karena merupakan tanah yang tidak stabil, rawan terhadap proses pelapukan biologis yang berpotensi merubah struktur kimia dan merubah volume tanah akibat proses pembusukan/ pelapukan.
- Pasir dan kerikil, karena mempunyai koefisien permeabilitas yang tinggi dan sifat saling ikat antar butir (kohesi) yang lemah sehingga rawan terhadap terjadinya rembesan yang besar serta erosi atau gerusan (*scouring*).
- Tanah (bahan) timbunan, karena masih berpotensi besar terjadinya proses konsolidasi lanjut sehingga masih terjadi settlement lanjutan oleh karena itu dalam pelaksanaan kualitas hasil pemadatan perlu diperhatikan. Tanah (bahan) timbunan yang digunakan harus sesuai dengan kriteria bahan timbunan yang ada.
- Muka air tanah, karena muka air tanah yang dalam akan mempunyai kecenderungan menyebabkan kehilangan air yang besar.
- Formasi batuan kapur/*limestone*, karena punya kecenderungan larut dalam air sehingga akan menyebabkan kehilangan air besar dan tanah menjadi keropos.

Pengujian gradasi dan batas cair terhadap bahan-bahan sampel pada umumnya akan menghasilkan klasifikasi yang memadai untuk perencanaan talut galian dan timbunan. Untuk talut yang tinggi (lebih dari 5 m) diperlukan analisis yang mendetail mengenai sifat-sifat tanah. Klasifikasi menurut *Unified Soil Classification* USBR akan memberikan data - data yang diperlukan untuk perencanaan saluran. Sumuran uji untuk pengambilan sampel dengan bor tangan, yang digali sampai kedalaman tertentu di bawah ketinggian dasar saluran, harus dibuat dengan interval minimal 0,5 m. Interval ini harus dikurangi jika tanah pada trase itu sangat bervariasi. Pemeriksaan visual dan tes kelulusan juga harus dilakukan, jika memang perlu Persyaratan Teknis untuk Penyelidikan Geoteknik memberikan uraian yang lebih terinci tentang hal ini dan harus dipakai untuk menentukan data yang akan dikumpulkan di lapangan. Pengujian tanah di lokasi bangunan saluran pada umumnya akan menambah informasi mengenai sifat-sifat tanah di dalam *trase* saluran. Untuk Perhitungan Stabilitas Dinding Bangunan dapat dilihat pada Laporan penunjang.

## 1.2 Desain Konsep Metal

### 1.2.1 Pipa Pesat

Pipa pesat berfungsi mengalirkan air dari bak penenang ke turbine untuk memutar runner blade. Pipa pesat dirancang dengan mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut:

- Jalur pipa mengikuti jalur terpendek.
- Aman terhadap momen lentur. baik vertikal maupun horizontal
- Mempunyai tahanan hidrolis minimum tertentu untuk menghindari tekanan udara di bawah tekanan atmosfer
- Efek terhadap turbin
- Kenaikan tekanan akibat water hammer

Syarat-syarat struktural pipa pesat baru:

- Blok anker diletakkan pada jarak maksimum 100 m untuk pipa pesat tipe permukaan yang berfungsi untuk menahan gaya-gaya yang timbul akibat pergeseran pada belokan



- Di antara blok anker, dipasang tumpuan sadel pada setiap jarak 5 m, masing-masing dipasang cincin penopang.
- Pipa pesat dengan sambungan kaku memerlukan sambungan pemuaian (expansion joint) untukantisipasi terhadap perubahan temperatur.

### 1.2.2 Pemilihan Diameter dan Ketebalan Pipa Pesat

Pemilihan diameter pipa pesat baru harus mempertimbangkan biaya pembangunan, kehilangan tenaga dan faktor-faktor lainnya. Pada perencanaan ini, jenis pipa pesat yang digunakan menurut klasifikasi penempatannya adalah pipa pesat permukaan (exposed *Penstock*). Pipa pesat dengan diameter ekonomis ditentukan berdasarkan kecepatan 3 m/detik. Penentuan dimensi pipa dihitung dengan rumus:

$$Q = A \times V$$

dengan:

- Q = debit aliran (m<sup>3</sup>/detik)
- V = kecepatan aliran (m/detik)
- A = luas penampang pipa (m<sup>2</sup>)
- D = diameter dalam pipa pesat (m)

Penentuan diameter pipa pesat dengan cara membandingkan diameter pipa pesat, biaya konstruksi pipa (Cost of pipe) dan biaya akibat kehilangan tinggi tekan (Cost of head loss) dapat memberikan gambaran penentuan diameter optimum pipa. Semakin kecil diameter pipa berdampak semakin besar kerugian tinggi jatuh (head loss) yang terjadi, tetapi biaya konstruksi pipa menjadi rendah, begitu pula sebaliknya. Perubahan grafik biaya konstruksi pipa akan cenderung naik terhadap membesarnya diameter *Penstock*, sedangkan perubahan grafik biaya kehilangan tinggi tekan akan cenderung menurun terhadap pembesaran diameter *Penstock*. Penjumlahan kedua biaya tersebut dapat menghasilkan sebuah grafik biaya total, dimana perubahan grafik biaya total berbentuk parabolik dengan nilai minimum.

Biaya konstruksi pipa akan bergantung pada biaya material pipa dan fasilitas pendukungnya (blok angkur, *saddle support*, dan sambungan fleksibel)

serta biaya gali timbun yang terlewati jalur pipa pesat. Banyaknya *saddle support* akan bergantung pada panjang *Penstock*, yang umumnya setiap 5-6 m panjang *Penstock* ditumpu oleh *saddle support*.

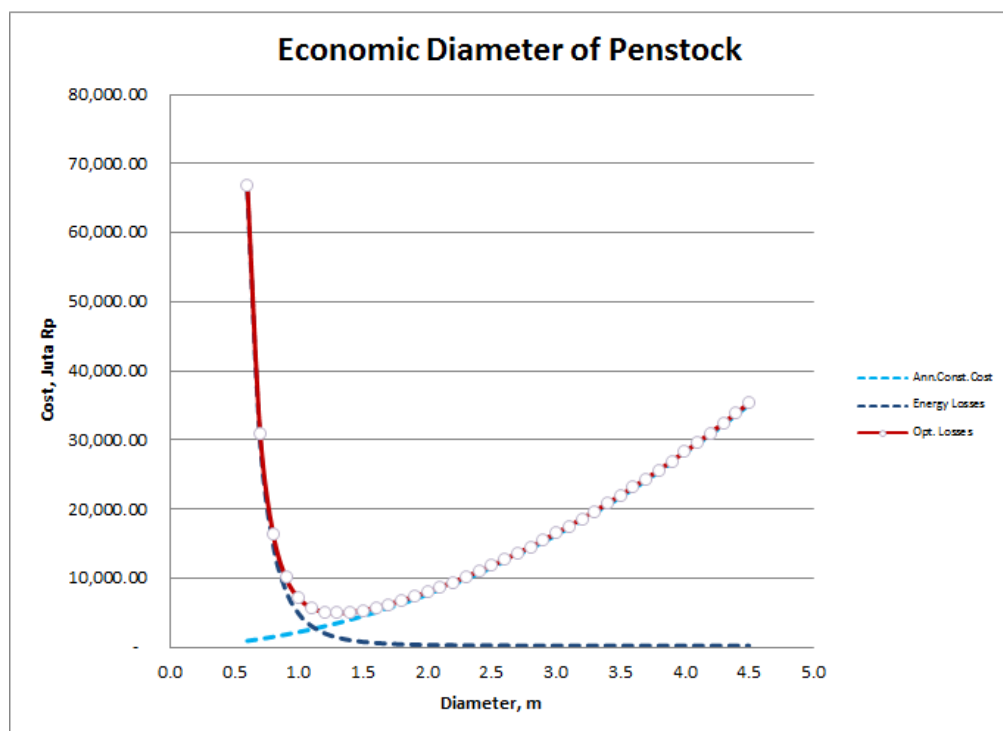
Beberapa parameter dalam menentukan diameter optimum penstock adalah sebagai berikut :

**Tabel 1. 5 Parameter penentuan diameter penstock**

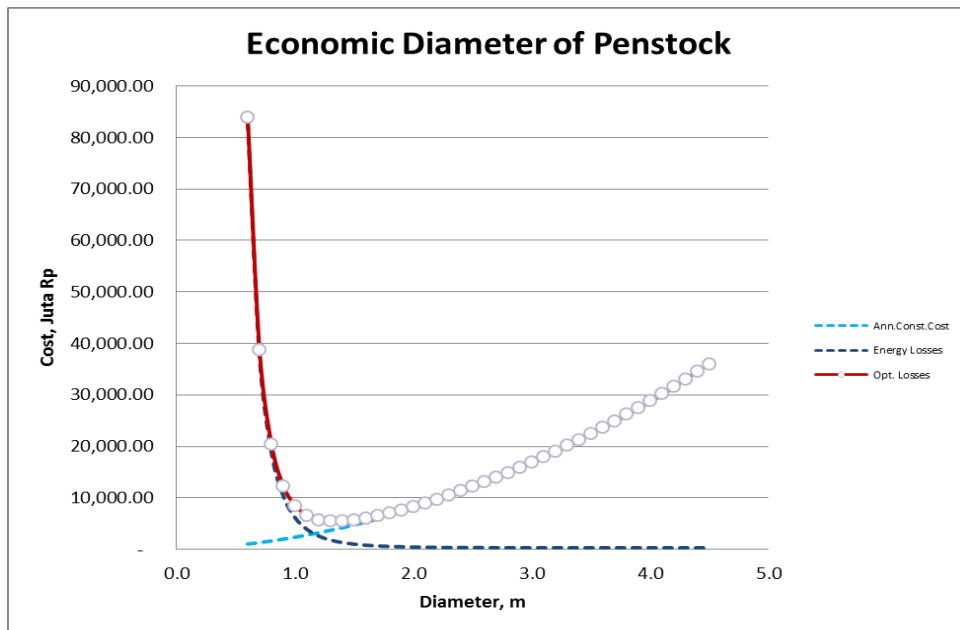
No	Parameter	Jumlah	Satuan
1	<i>Cost of steel liner</i>	64,045	Rp/kg
2	<i>Cost of energy</i>	1215 (1USD = Rp 13500)	Rp/kWh
3	<i>Live of penstock</i>	30	Tahun
4	<i>Discount rate</i>	12	%
5	<i>Friction factor</i>	0.02	
6	<i>Overall efficiency of scheme</i>	0.86	
7	<i>Contigencies cost (% of total cost)</i>	20	%
8	<i>O &amp; M Cost (% of total cost)</i>	1	%
9	<i>Supervision cost (% of total cost)</i>	10	%
10	<i>Design discharge (Qmax)</i>	Lambai I = 3,85 Lambai II = 4.07 Belangir = 2.8	M <sup>3</sup> /s
11	<i>Rate Head (H)</i>	Lambai I = 161.7 Lambai II = 140.7 Belangir = 262.3	m
12	<i>Allowable tensile stress of steel</i>	1,150	Kg/cm <sup>2</sup>
13	<i>Unit weight of steel</i>	7,850	Kg/m <sup>3</sup>
14	<i>Number of penstock</i>	1	
15	<i>Length of penstock</i>	Lambai I = 1077 Lambai II = 1250 Belangir = 2394	m
16	<i>Operation time</i>	24	jam
17	CF	Lambai I = 0,62	

No	Parameter	Jumlah	Satuan
		Lambai II = 0.62 Belangir = 0.66	
18	Jumlah <i>Flange</i>	Lambai I = 180 Lambai II = 209 Belangir = 399	<i>Buah</i>
19	Jumlah <i>Bend</i>	Lambai I = 3 Lambai II = 3 Belangir = 13	<i>Buah</i>

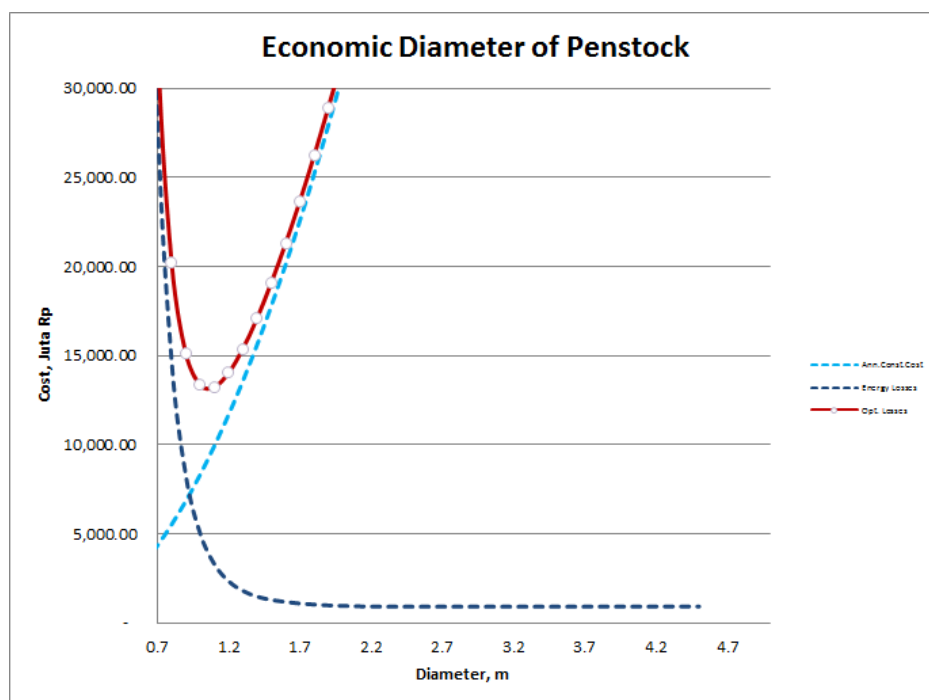
Dari persamaan biaya konstruksi pipa dan biaya kerugian tinggi tekan, dihitung berdasarkan variasi diameter penstock, sehingga diperoleh grafik seperti berikut :



**Gambar 1. 28 Optimasi Penstock PLTA LIKI Unit Lambai 1**



**Gambar 1. 29 Optimasi Penstock PLTA LIKI Unit Lambai 2**



**Gambar 1. 30 Optimasi Penstock PLTA LIKI Unit Belangir**

Dari studi optimasi untuk diameter penstock maka dihasilkan diameter penstock untuk setiap unit adalah sebagai berikut:

Parameter	Unit Lambai 1	Unit Lambai 2	Unit Belangir
Diameter Penstock (m)	1.4	1.4	1.2

Diameter yang diperoleh dari optimasi tersebut diperlukan verifikasi terhadap kesesuaian penggunaan diameter penstock dengan pola operasi turbin generator. Diameter penstock yang sesuai apabila nilai  $T_m/Tw^2$  lebih dari 2.

### 1.2.3 Ketebalan Pipa Pesat

Ketebalan dinding pipa pesat harus lebih besar daripada rumus empiris di bawah ini dan tidak lebih kecil dari 6 mm.

$$t_{\min} = (D+800)/400$$

$t_{\min}$  = ketebalan minimum dari dinding pipa (mm)

D = diameter pipa (mm)

Ketebalan dinding pipa harus ditambahkan kelebihan 3.0 mm sebagai proteksi terhadap korosi dan abrasi. Hasil perhitungan awal tersebut akan dikoreksi dengan memperhatikan faktor keamanan terhadap water hammer.

Selain itu ketebalan pipa pesat juga dihitung berdasarkan tekanan air, dengan persamaan sebagai berikut:

$$t = \frac{P_m \times D_p \times 10^3}{2 \times \delta_a \times \eta} + \varepsilon$$

Dimana :

t : tebal steel liner (mm)

$P_m$  : tekanan air ( $\text{kg/cm}^2$ )

D : diameter *Penstock*

$\delta_a$  : tegangan ijin baja (=  $1.200 \text{ kg/cm}^2$ )

$\eta$  : efisiensi (= 0.9)

$\varepsilon$  : perlindungan terhadap korosi (= 3 mm)

#### 1.2.4 Pemeriksaan Terhadap Water Hammer

Percepatan atau perlambatan aliran dalam pipa pesat akibat membuka/menutupnya katup turbin menyebabkan gelombang tekanan pada pipa pesat. Gelombang ini dapat memperbesar atau memperkecil tekanan sepanjang pipa pesat dan menghasilkan water hammer. Penutupan katup turbin akan menghasilkan water hammer positif, sedangkan bila katup dibuka terjadi sebaliknya.

Analisa water hammer dilakukan untuk mengetahui tekanan maksimum dan minimum sepanjang pipa pesat. Tekanan maksimum dan minimum tersebut harus berada dalam batas toleransi tertentu. dimana kenaikan tekanan sebaiknya kurang dari 25% dan tekanan minimum harus lebih besar dari tekanan atmosfer.

Kenaikan tekanan pada pipa pesat akibat water hammer diperkirakan dengan metode grafis seperti yang dikembangkan oleh Parmakian 1955 seperti pada gambar di bawah.

Karakteristik pipe line =  $(a V_o)/(2 g H_o)$

dimana

a : Wave celerity  
V<sub>o</sub> : kecepatan aliran  
g : percepatan gravitasi  
H<sub>o</sub> : tinggi jatuh bersih

Karakteristik waktu (time characteristic)

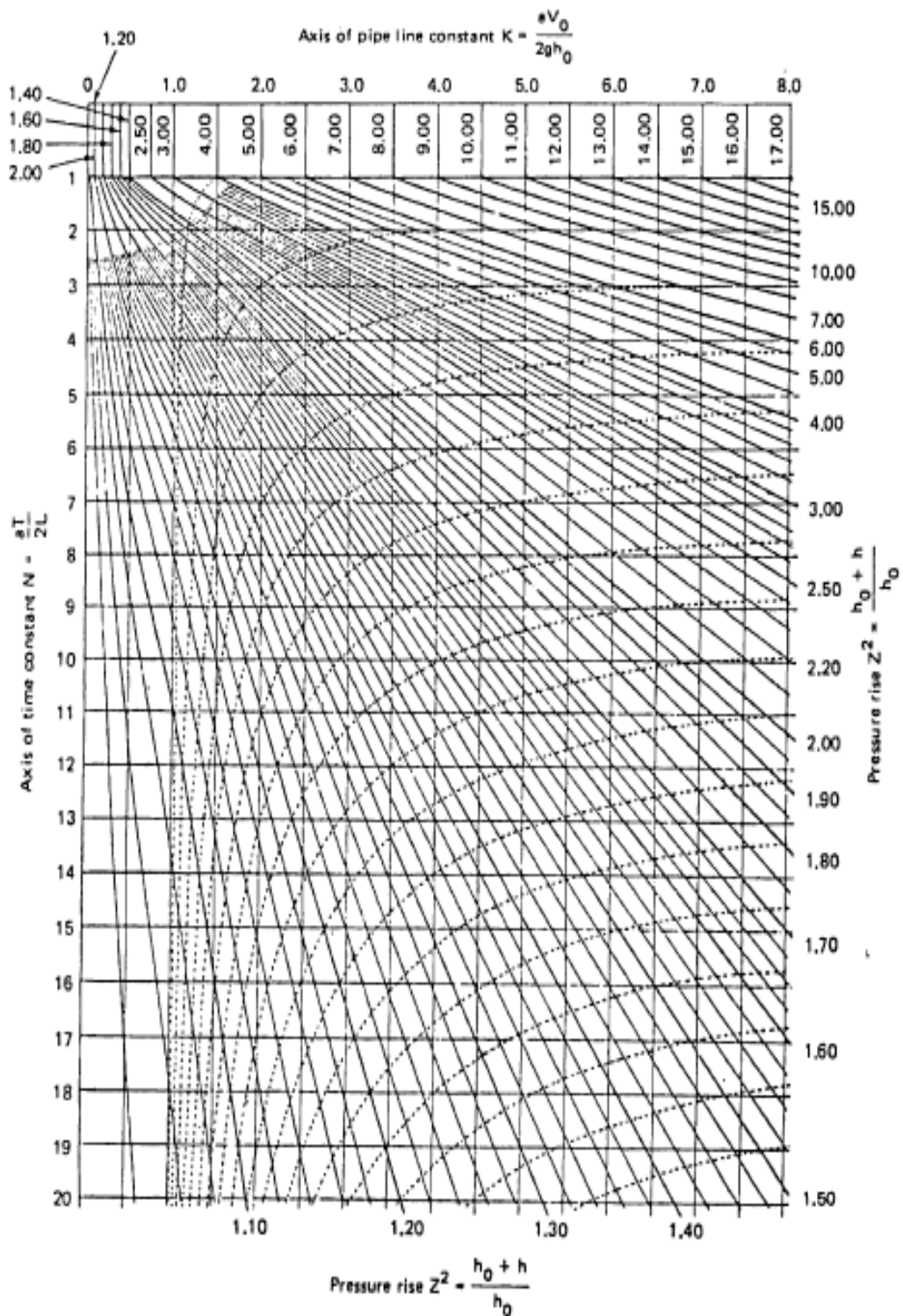
$$N = aT/2L$$

dimana:

a : Wave celerity  
T : Time closure  
L : panjang pipa pesat

Dari perhitungan kenaikan tekanan akibat water hammer menggunakan persamaan dan grafik Allievi diperoleh hasil berikut:

Parameter	Unit-1	Unit-2	Unit-3
Debit rencana (m <sup>3</sup> /s)	3,85	4,07	2,79
Diameter pipa pesat (m)	1,4	1,4	1,2
Kecepatan air (m/s)	2,5	2,64	2,47
Panjang pipa pesat (m)	1077	1250	2394
Kenaikan tekanan (m)	54,6	83,7	15.74
Ketebalan pipa pesat (mm)	16	16	14



**Gambar 1. 31 Grafik Water Hammer Allievi**

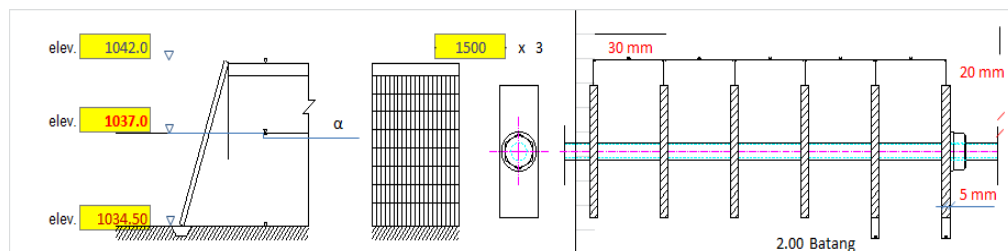


### 1.2.5 Perhitungan Kehilangan Energi Pipa Pesat

Kehilangan energi yang terjadi pada pipa pesat diakibatkan oleh beberapa faktor seperti faktor kekasaran permukaan, pembesaran atau penyempitan penampang, tekukan dll. dengan mengasumsikan headloss pada bangunan sipil telah diperhitungkan, maka perhitungan headloss akan dilanjutkan dengan pertimbangan losses pada :

- Saringan halus (trashrack)
- Entrance pipa pesat (intake)
- Friction losses pada pipa pesat
- Belokan-belokan (bends/elbows)
- Percabangan (Branche)
- Friction losses pada manifold
- Belokan pada manifold
- Inlet valve (butterfly valve)
- Penyempitan penampang (reducer)
- Draft tube
- Kehilangan energi pada saringan halus

Sebuah saringan halus ditempatkan tegak lurus dengan headpond, dipasang miring dengan sudut kemiringan terhadap sisi tegak sebesar 15-17°.



Gambar 1. 32 Dimensi trashrack headpond unit Lambai I

Trashrack Losses (USB, 1987), Hydraulic Design for Energy Generation, McGraw-Hill)							
		----->	$K_t = 1.45 - 0.45 \frac{A_n}{A_g} - (\frac{A_n}{A_g})^2$				
$H_L = K_t \frac{([V_n])^2}{2g}$			Ket :	$A_n$ = net area of trashrack			
				$A_g$ = gross area of trashrack			
				$K_t = 0.41$			

- Kehilangan energi pada entrance

Adanya perbedaan penampang antara kolam penenang dan penstock menyebabkan kehilangan energi di air akibat tumbukan air dengan dinding. Kehilangan energi akibat perubahan penampang dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$hc = K \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Layman's Guide Book, 1998})$$

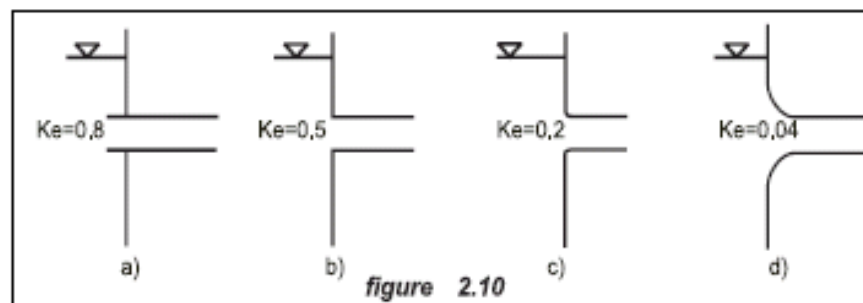
dimana :  $hc$  = kehilangan energi di penyempitan/pelebaran penampang (m)

$K$  = konstanta penyempitan/pelebaran penampang, 0,2

$V$  = kecepatan air, m/d

$g$  = gravitasi (9,81 m<sup>2</sup>/d)

harga  $K$  dapat dilihat dari gambar berikut



**Gambar 1. 33 Koefisien Entrance Losses pada Mulut Penstock (Layman's Guide Book, 1998)**

- Kehilangan Friction Losses

Besarnya kehilangan energi air akibat gesekan air dengan dinding penstock tergantung pada panjang pipa, diameter pipa dan kecepatan fluida yang dirumuskan sebagai berikut :

$$h_f = f \times \left( \frac{L}{D} \right) \times \left( \frac{v^2}{2 \times g} \right)$$

(Layman's Guide Book, 1998)

Dimana :

$h_f$  = kehilangan energi di pipa (m)

$f$  = koefisien friksi di pipa, 0,015

$L$  = panjang penstock (m)

$D$  = Diameter pipa, m

$V$  = kecepatan air, m/s

$g$  = gravitasi (9,81 m<sup>2</sup>/s)

Harga  $f$  dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log_{10} \left( \frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{5.74}{R^{0.9}} \right) \right]^2}$$

(Layman's Guide Book, 1998)

Dimana :  $\epsilon$  = kekasaran permukaan material pipa, 0,6

$R$  = Bilangan Reynold

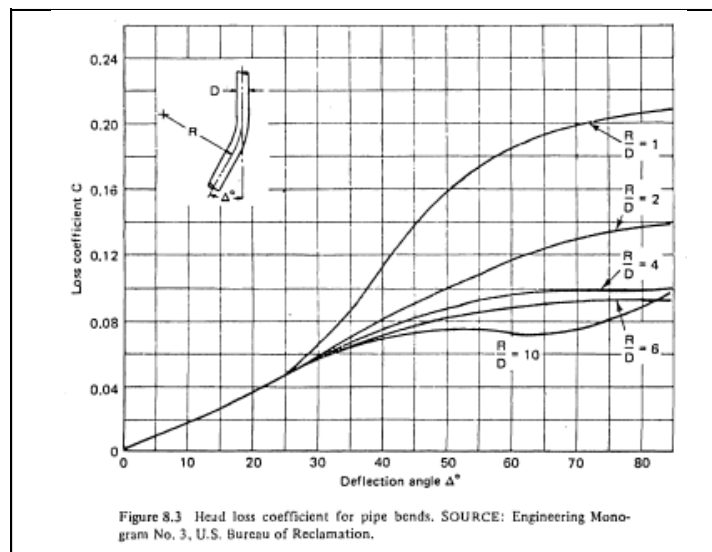
Dengan mengetahui besaran  $\epsilon/D = 0,0003$  maka nilai  $f$  berdasarkan grafik moody.

- Kehilangan head pada belokan Penstock

Dari perencanaan jalur penstock, setiap belokan dapat menyebabkan kehilangan energi. Perhitungan kehilangan energi pada belokan menggunakan persamaan berikut :

$$hb = K \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Layman's Guide Book, 1998})$$

dimana :  
 $hb$  = kehilangan energi di belokan (m)  
 $K$  = konstanta belokan, tergantung sudut belokan  
 $V$  = kecepatan air, m/detik  
 $g$  = gravitasi (9,81 m/detik<sup>2</sup>)



**Gambar 1. 34 koefisien losses pada belokan (bends)**

- Kehilangan pada percabangan (brance)

Penggunaan sebuah pipa penstock memerlukan bifurcation, dimana losses energi dihitung menggunakan :

$$hb = K \frac{V^2}{2g}$$

dimana :

$V$  = Brance velocity, ( m/detik)

$g$  = gravitasi (9,81 m/detik<sup>2</sup>)

$K_b$  = koefisien brance (0,2 untuk symmetrical bifurcation)

- Kehilangan Head akibat gesekan Manifold

Seperti halnya perhitungan losses pada penstock, kehilangan head pada bifurcation akibat gesekan dilakukan dengan cara yang sama, yaitu menghitung bilangan reynold, menghitung perbandingan kekasaran

permukaan terhadap diameter penstock, lalu menghitung koefisien gesek ( $f$ ).

Besarnya kehilangan energi air akibat gesekan air dengan dinding penstock tergantung pada panjang pipa, diameter pipa dan kecepatan fluida yang dirumuskan sebagai berikut :

$$h_f = f \times \left(\frac{L}{D}\right) \times \left(\frac{v^2}{2 \times g}\right) \text{ (Layman's Guide Book, 1998)}$$

Dimana :  
 $h_f$  = kehilangan energi di pipa (m)  
 $f$  = koefisien friksi di pipa, 0,015  
 $L$  = panjang manifold adalah m  
 $D$  = Diameter pipa, m  
 $V$  = kecepatan air, m/s  
 $g$  = gravitasi (9,81 m<sup>2</sup>/s)

- Kehilangan Head akibat belokan pada Bifurcation

Dari perencanaan manifold, untuk satu unit turbine terdapat 2 belokan yang mempunyai sudut belokan sebesar 45°. Perhitungan kehilangan energi pada belokan menggunakan persamaan berikut seperti persamaan yang digunakan pada perhitungan losses yang terjadi pada belokan penstock.

- Kehilangan Head pada Main Stop Valve

Kehilangan energi di katup disebabkan tumbukan air dengan dinding akibat adanya penyempitan penampang aliran. Kehilangan energi di katup dapat dihitung menggunakan persamaan

$$h_v = K \frac{v^2}{2g} \text{ (Layman's Guide Book, 1998)}$$

dimana :  $h_v$  = kehilangan energi di katup (m)

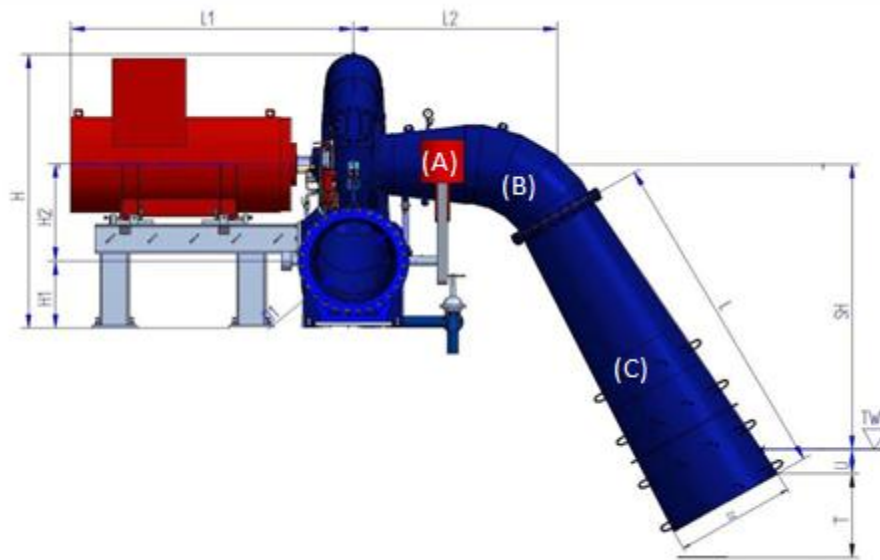
$K$  = konstanta katup  
 $V$  = kecepatan air, m/s  
 $g$  = gravitasi (9,81 m<sup>2</sup>/s)

- Kehilangan Head pada Reducer

Reducer digunakan untuk menghubungkan diameter penstock yang lebih besar ke spiral casing pada turbin francis atau ke nosel pada turbin pelton yang mempunyai diameter lebih kecil.

- Kehilangan Head pada Drafftube

Draft Tube digunakan untuk mengalirkan air buangan dari turbin ke saluran tailrace, dan dirancang untuk memulihkan energi kinetik secara bertahap mengurangi kecepatan. Kerugian di draft tube dikarenakan oleh adanya pelebaran saluran dan belokan.



**Gambar 1. 35 koefisien losses pada belokan (bends)**  
**Tabel 1. 6 Ringkasan Perhitungan Head losses pada Pipa Pesat Lambai I**

**Tabel 1. 6 Ringkasan Perhitungan Head losses pada Pipa Pesat Lambai I**

Summary of Head Losses				
No	Water Passages			Head Losses
1	Trashrack Losses			0.00086 m
2	Entrance Losses			0.06376 m
3	Pipe Friction Losses			4.02815 m
4	Losses of Bends			0.09233 m
5	Losses of Branches			0.04183 m
6	Losses of brance pipe to Gate Valve			0.09000 m
7	Losses of Bends on Brance			0.05703 m
8	Losses of Valve			0.05703 m
9	Losses of Reducer			1.28401 m
10	Losses of Drafttube			0.08765 m
Total Losses				5.80265 m

**Tabel 1. 7 Ringkasan Perhitungan Head losses pada Pipa Pesat Lambai II**

Summary of Head Losses			
No	Water Passages	Head Losses	
1	Trashrack Losses	0.00010	m
2	Entrance Losses	0.07126	m
3	Pipe Friction Losses	4.81392	m
4	Losses of Bends	0.10318	m
5	Losses of Branches	0.04674	m
6	Losses of brance pipe to Gate Valve	0.09000	m
7	Losses of Bends on Brance	0.03187	m
8	Losses of Valve	0.03187	m
9	Losses of Reducer	0.67585	m
10	Losses of Drafftube	0.04108	m
Total Losses		5.90588	m

**Tabel 1. 8 Ringkasan Perhitungan Head losses pada Pipa Pesat Belangir**

Summary of Head Losses			
No	Water Passages	Head Losses	
1	Trashrack Losses	0.01252	m
2	Entrance Losses	0.06203	m
3	Pipe Friction Losses	10.51676	m
4	Losses of Bends	0.14733	m
5	Losses of Branches	0.04902	m
6	Losses of brance pipe to Gate Valve	0.09000	m
7	Losses of Bends on Brance	0.03287	m
8	Losses of Valve	0.03287	m
9	Losses of Reducer	0.42578	m
Total Losses		11.36917	m

### 1.2.6 Stabilitas Blok Anchor

Stabilitas penyangga pipa pesat (*Anchor block*) dihitung terhadap geseran, eksentrisitas dan tegangan tanah. Fungsi penyangga ini adalah untuk menahan gaya-gaya yang timbul pada perletakan pipa pesat. Gaya-gaya yang harus ditahan oleh angker blok dibagi menjadi 2 bagian, yaitu gaya-gaya dari arah hulu dan arah hilir. Gaya-gaya dari arah hulu dan arah hilir meliputi:

- Berat sendiri pipa pesat
- Gaya akial akibat gesekan di atas perletakan (intermediate support)
- Gaya gesekan pada sambungan pemuaian (expansion packing joint)
- Gaya akibat tekanan air dari expansion joint

- Komponen aksial tekanan hidrostatik
- Gaya axial akibat tahanan air
- Gaya kejut

### 1.2.7 Saringan Sampah

Saringan sampah dipasang pada *intake* dan pengambilan pipa pesat (*Penstock screen*). Saringan akan diletakkan dengan kemiringan  $45^{\circ} - 60^{\circ}$  dan cocok untuk dilakukan pembersihan saring dengan jangkar (*hand held rakes*). Jarak antara sumbu batang vertikal (*vertikal bar*) diperkirakan 35 mm untuk saringan halus.

Konstruksi saringan tersebut akan didesain tahan terhadap gaya-gaya horizontal pada arah aliran. Desain konstruksi saringan tersebut meliputi pemilihan dimensi batang vertikal, pipa pengaku horizontal. serta kontrol terhadap lateral buckling dan defleksi.

Untuk ukuran panel dipilih sedemikian rupa. sehingga transportasi, pemasangan dan pergantian yang akan datang dapat dilaksanakan dengan hanya menggunakan kapasitas tarik dan peralatan pengangkat sederhana.

Saringan sampah (*trash rack*) diperlukan untuk meminimalisasi adanya batuan dan kotoran yang terbawa air masuk di sistem PLTA Liki. Umumnya *trash rack* dibuat dari beberapa modul (*bagian*) yang disatukan untuk mempermudah pembuatan, perawatan dan pemasangannya. Kecepatan air masuk *trash rack* dibatasi antara 0,75 hingga 1,5 m/s untuk mempermudah pembersihan sampah dan mengurangi kehilangan energi pada air. Bangunan pengambilan (*intake*) umumnya dilengkapi dengan stop log untuk keperluan perawatan saringan sampah ataupun pintu.

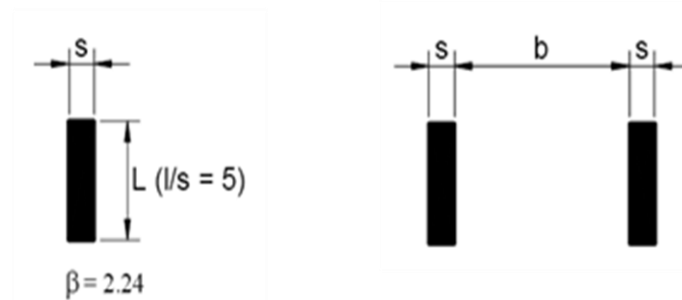
Kebutuhan saringan sampah untuk PLTA Liki dijabarkan sebagai berikut :

#### - **Saringan Sampah (Trash Rack) Pada Bangunan Pengambil (*intake*)**

Pada bangunan pengambil (*intake*) saringan sampah lebih difungsikan sebagai fasilitas untuk meminimalisasi sampah/kayu maupun batuan berskala besar yang terbawa oleh aliran air. *Trash rack* pada bagian ini



sebaiknya didesain tetap dapat mengalirkan air sesuai dengan debit rencana pembangkitan walaupun setengah luas alirannya tersumbat oleh kotoran/sampah. Hal ini dimaksudkan dengan terhalangnya sebagian luas aliran air, bangunan pengambil masih dapat menyediakan debit rencana pembangkitan. Kecepatan aliran air melewati trash rack pada bagian ini dibatasi sebesar 1 m/s untuk mempermudah pembersihan trash rack dan meminimalisasi kehilangan energi di bangunan ini.



Parameter	Unit-1	Unit-2	Unit-3
Tebal plat (mm)	5	5	5
Jarak antar plat (mm)	50	50	50
Lebar plat (mm)	25	25	25
Tinggi trashrack (m)	6,54	6,54	7,1
Jarak Penguat horizontal (m)	0,4	0,4	0,4
Lebar trashrack (m)	1,5	1,5	1,5
Jumlah modul	2	2	2
Sudut trashrack (°)	60	60	60

#### - Saringan Sampah Pada Bangunan Kolam Penenang

Saringan sampah yang dipasang pada bagian sisi masuk kolam penenang difungsikan sebagai penghalang kotoran yang lebih kecil, seperti daun ataupun ranting yang terbawa oleh aliran, sehingga dimensi dari saringan sampah bagian ini lebih rapat bila dibandingkan dengan yang dipasang di bagian bangunan pengambil. Sistem pembersihan pada trash rack di bagian

ini juga sama dengan yang digunakan pada bagian bangunan pengambilan, sehingga kriteria dalam mendisain saringan sampah pada bagian ini hampir sama dengan pada bagian bangunan pengambilan. Perbedaan dari kedua saringan sampah ini hanya pada jarak antara plat trash rack dan dimensi totalnya saja.

Parameter	Lambai 1	Lambai 2	Belangir
Tebal plat (mm)	5	5	5
Jarak antar plat (mm)	30	30	30
Lebar plat (mm)	25	25	25
Tinggi trashrack (m)	7	7	7
Jarak Penguat horizontal (m)	0,3	0,3	0,3
Lebar trashrack (m)	1,6	1,5	1,5
Jumlah modul	1	1	1
Sudut trashrack (°)	60	60	60

### 1.2.8 Pintu Air

Dalam mendisain pintu, faktor-faktor berikut harus dipertimbangkan:

- Berbagai beban yang bekerja pada pintu
- Alat pengangkat – tenaga manusia atau dengan mesin
- Sistem kedap air
- Bahan material yang akan digunakan

#### Sponeng

Fungsi sponeng, pada pintu sorong yaitu untuk menahan tekanan air pada pintu. Direncanakan sedemikian rupa sehingga masing-masing balok/ gelagar mampu menahan beban dan meneruskannya ke sponeng.

### Stang pintu

Fungsi, stang pengangkat pintu yaitu untuk mengangkat dan menurunkan pintu. Terbuat dari baja bulat dengan diameter tertentu.

Penempatan, stang pintu ditempatkan di dalam sponeng di luar bukaan bersih. Keuntungannya, stang pintu tersebut terlindung dari bahaya kerusakan akibat tekanan benda-benda terapung dan tekanan air. Stang pintu yang di tempatkan tidak dalam sponeng, banyak yang rusak sehingga harus diganti.

Jumlah stang, sebaiknya stang pintu dua buah yang diletakkan di bagian dalam di kedua sisi, tidak satu buah ditengah. Bila satu buah ditengah, pengangkatan dan penurunan pintu tidak efektif dan akan cepat mengalami kerusakan.

Plat tembaga/ kuningan bukan dari besi pada pintu dan tempat berputarnya stang akan meringankan pengoprasian pintu. Pintu lebih mudah diturun dan dinaikkan.

Pintu air yang diperlukan yaitu pada pembilas bendung, bangunan pengambilan, pembilas saluran, kolam pengendapan pasir, pengambilan pipa pesat dan pelimpah. Pengoperasian pintu air direncanakan secara manual untuk semua jenis pintu. Pintu-pintu difabrikasi dengan menggunakan pelat dan profil baja dengan bentuk kontruksi standar. Pintu-pintu yang diletakkan pada slot pintu yang akan dipasang pada lembaran pelat baja diletakkan pada beton sekunder dudukan pintu air. Dimensi pintu-pintu yang distandarisasikan dengan membuat banyaknya tipe ukuran pintu seminimal mungkin. Untuk setiap tipe pintu yang sama didesain dengan menggunakan head yang sama, dengan mengambil head maksimum.

Adapun gaya yang harus diperhitungkan adalah gaya-gaya hidrostatik pada waktu air banjir. Bagian-bagian dari pintu air yang akan didesain meliputi pelat daun pintu (skin plate), balok pengaku horizontal (horizontal stiffener) dan stang pengangkat.

Tekanan air per meter lebar:

$$P = \frac{(q_1 + q_2)}{2} \times \frac{(h_1 + h_2)}{2} \times w$$

dengan :

$h_1$  = tinggi air pada waktu banjir

$h_2$  = tinggi pintu

$q_1$  = tekanan air pada pintu paling atas per spasi penguat

$q_2$  = tekanan air pada pintu paling bawah per spasi penguat

$w$  = jarak spasi penguat horisontal (m)

Untuk melihat keamanan pintu air terhadap beban yang diterima pintu, dilakukan dua (2) kali pemeriksaan, yaitu : Pemeriksaan terhadap momen maksimum yang terjadi dibandingkan dengan momen ijin material; dan pemeriksaan lendutan yang terjadi yang dibandingkan dengan lendutan ijin material yang digunakan.

Momen maksimum yang terjadi di profil balok/baja C yang terjadi dihitung dari persamaan sebagai berikut :

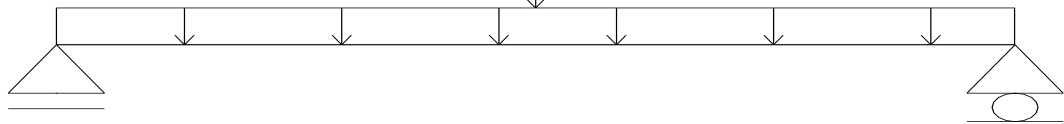
$$M_{max} = \frac{1}{8} \cdot P \cdot L^2$$

Dimana :

$P$  = Tekanan air per lebar pintu (Beban garis air, kg/m)

$L$  = lebar pintu (m)

$P$  (kg/m)



**Gambar 1. 36. distribusi Tekanan Garis Air**

Perhitungan lendutan yang terjadi diperoleh dari persamaan sebagai berikut :

$$\delta_{max} = \frac{5 \cdot P_{max} \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_x}$$

Dimana :  $\delta_{max}$  = defleksi maksimum (m)

$P_{max}$  = beban garis maksimum (kg/m)

$L$  = lebar pintu (m)

$E$  = modulus elastisitas material ( $2,1 \times 10^{10}$ , kg/m<sup>2</sup>)

$I_x$  = Inersia penampang (cm<sup>4</sup>)

Untuk perhitungan tebal plat pintu yang digunakan, digunakan persamaan S. Timoshenko sebagai berikut :

$$\text{Formula of S' Timoshenko's} \quad ; \quad t = \sqrt{\frac{K \times P \times a^2}{100 \times \sigma}} + c$$

Dimana :  $t$  = tebal plat (mm)

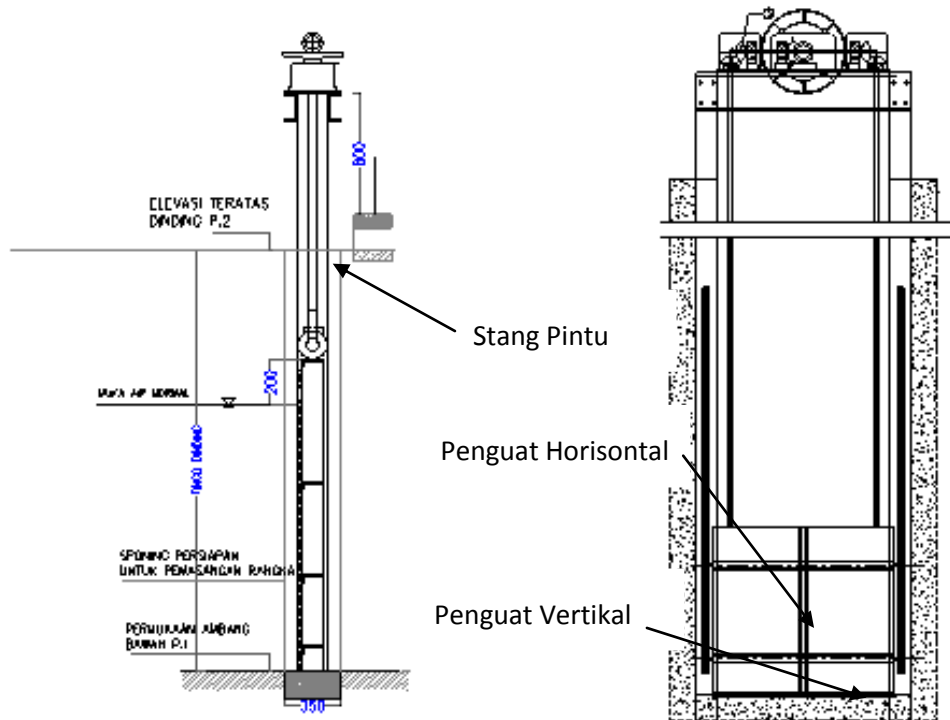
$K$  = konstanta dimensi

$P$  = Tekanan hidrostatik (kg/cm<sup>2</sup>)

$a$  = jarak spasi penguat (cm)

$\sigma$  = kekuatan ijin material ( $\text{kg/cm}^2$ )

c = penambahan tebal untuk korosi (2mm)



**Gambar 1. 37 Pintu Sorong**

Perhitungan pintu menitik beratkan pada lendutan yang diperbolehkan terjadi. Lendutan pada pintu dikarenakan adanya tekanan hidrostatik air pada pintu. Material pintu menggunakan Baja ST 37 yang mempunyai SMYS  $1600 \text{ kg/cm}^2$ . Perhitungan pintu dapat dilihat pada Lampiran Perhitungan Pintu.

Dalam pembuatan pintu terdapat beberapa material yang digabungkan, yaitu:

- Baja Profil C untuk penguat horizontal

Baja yang digunakan untuk penguat horizontal difungsikan untuk menahan tekanan air per segmen vertikal, sehingga pengaturan spasi penguat tersebut disesuaikan dengan tinggi pintu dan tinggi muka air yang diukur dari dasar pintu, serta berat pintu.

- Baja Profil C untuk penguat vertikal

Baja profil yang digunakan untuk penguat vertikal difungsikan untuk menahan tekanan air per segmen horisontal, sehingga pengaturan jarak spasi horisontal difungsikan terhadap lebar dari pintu yang digunakan dan berat pintu.

- Baja Plat

Baja plat di pintu digunakan untuk menahan air dan tekanan yang dihasilkan di bagian hulu dan hilir pintu per segmen pintu (daerah antara spasi penguat).

Standar dimensi untuk Baja Profil C yang digunakan adalah sebagai berikut :

**Tabel 1. 9 Standar Dimensi Untuk Baja Profil C**

Standard sectional dimension			Sectional area	Unit mass	Center of gravity	Geometrical moment of inertia		Modulus of section		Radius of gyration of area		Modulus of section	
A x B	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	A	w	Cy	I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	Z <sub>x</sub>	Z <sub>y</sub>	i <sub>x</sub>	i <sub>y</sub>	Z <sub>x</sub>	Z <sub>y</sub>
mm x mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>
75 x 40	5	7	8.818	6.92	1.27	75.9	12.4	20.2	4.54	2.93	1.19	20.2	4.54
100 x 50	5	7.5	11.92	9.36	1.55	189	26.9	37.8	7.82	3.98	1.50	37.8	7.82
125 x 65	6	8	17.11	13.40	1.94	425	65.5	68.0	14.40	4.99	1.96	68	14.4
150 x 75	6.5	10	23.71	18.60	2.31	864	122.0	115.0	23.60	6.04	2.27	115	23.6

Jenis pintu air pada PLTA Liki adalah pintu geser dengan lokasi sebagai berikut:

- Pintu Pembilas Bendung

Pintu pembilas bendung digunakan untuk membuang sedimen yang berada di hulu bendung. Pada pembilas bendung ini terdapat 2 saluran pembilas. Tinggi dan lebar pintu pembilas bendung bagian bawah adalah 2,3 m dan 1,8. tinggi muka air di hulu bendung adalah 6,1 m dari dasar pintu.

Dari tinggi pintu dan tinggi muka air dari dasar pintu, maka jarak penguat horizontal yang digunakan untuk pembilas bawah berkisar 0,4 m hingga 0,5 m. Untuk jarak sumbu penguat horizontal tersebut, dapat menghasilkan faktor keamanan untuk bahan pintu sebesar 1,8. Detail dari perhitungan dapat dilihat dari lampiran perhitungan pintu.

- Pintu *Intake*

Pintu *intake* digunakan untuk mengambil air sejumlah 120% debit rencana dari bendung yang kemudian di alirkan ke kantong lumpur. Tinggi dan lebar pintu *intake* adalah 1,4 m dan 1,7 m. tinggi muka air di hulu pintu adalah 5,1 m dari dasar pintu.

Dari tinggi pintu dan tinggi muka air dari dasar pintu, maka jarak penguat horizontal yang digunakan adalah 0,5 m hingga 0,4 m. Untuk jarak sumbu penguat horizontal tersebut, dapat menghasilkan faktor keamanan untuk bahan pintu sebesar 2,32. Detail dari perhitungan dapat dilihat dari lampiran perhitungan pintu.

- Pintu Pembilas *Sandtrap*

Pintu pembilas *Sandtrap* digunakan untuk membuang sedimen yang berada di hulu pintu. Tinggi dan lebar pintu pembilas *Sandtrap* adalah 0,7 m dan 1,7 m. tinggi muka air di hulu pintu adalah 3,17 m dari dasar pintu.

Dari tinggi pintu dan tinggi muka air dari dasar pintu, maka jarak penguat horizontal yang digunakan berkisar 0,4 m hingga 0,3 m. untuk jarak sumbu penguat horizontal tersebut, dapat menghasilkan faktor keamanan untuk bahan pintu sebesar 2,74. Detail dari perhitungan dapat dilihat dari lampiran perhitungan pintu.

- Pintu Pembilas *Headpond*

Pintu pembilas *Headpond* digunakan untuk membuang sedimen yang berada di hulu pintu. Tinggi dan lebar pintu pembilas *Headpond* adalah 0,45 m dan 1,7 m. tinggi muka air di hulu pintu adalah 2,4 m dari dasar pintu.

Dari tinggi pintu dan tinggi muka air dari dasar pintu, maka jarak penguat horizontal yang digunakan berkisar 0,2 hingga 0,25 m. untuk jarak sumbu penguat horizontal tersebut, dapat menghasilkan faktor keamanan untuk bahan pintu sebesar 5,54. Detail dari perhitungan dapat dilihat dari lampiran perhitungan pintu.

- Pintu *intake Penstock*

Pintu *intake Penstock* digunakan untuk mengambil air sejumlah debit rencana dari *Headpond* yang kemudian di alirkan ke *Penstock*. Tinggi dan



lebar pintu *intake* adalah 1,4 m. tinggi muka air di hulu pintu adalah 3,67 m dari dasar pintu.

Dari tinggi pintu dan tinggi muka air dari dasar pintu, maka jarak penguat horizontal yang digunakan berkisar dari 0,4 m dan 0,5. untuk jarak sumbu penguat horizontal tersebut, dapat faktor keamanan untuk bahan pintu sebesar 19,7. Detail dari perhitungan dapat dilihat dari lampiran perhitungan pintu. Resume dimensi pintu dijabarkan sebagai berikut :

Parameter		Unit-1	Unit-2	Unit-3
Weir Penguras				
'	Jumlah pintu (m)	2	2	1
	Lebar pintu (m)	1,6	1,6	1,8
	Tinggi pintu (m)	2,2	2,2	2,3
	Tinggi muka air (m)	5,04	6	6,1
	Tebal plat (mm)	6	6	8
Weir intake				
'	Jumlah pintu (m)	2	2	2
	Lebar pintu (m)	1,7	1,7	1,7
	Tinggi pintu (m)	2	2,1	1,4
	Tinggi muka air (m)	4,64	5,14	5,1
	Tebal plat (mm)	7	7	7
Sandtrap Penguras				
'	Jumlah pintu (m)	2	2	1
	Lebar pintu (m)	1,7	1,7	1,7
	Tinggi pintu (m)	1,2	1,2	0,7
	Tinggi muka air (m)	3,31	3,67	3,17
	Tebal plat (mm)	6	6	6

Parameter		Unit-1	Unit-2	Unit-3
Headpond Penguras				
'	Jumlah pintu (m)	2	2	2
	Lebar pintu (m)	1,9	1,9	1,7
	Tinggi pintu (m)	2	1,4	
	Tinggi muka air (m)	6,96	6,96	3,67
	Tebal plat (mm)	8	10	6
Intake penstock				
'	Jumlah pintu (m)	1	1	1
	Lebar pintu (m)	1,6	1,6	1,4
	Tinggi pintu (m)	1,6	1,6	1,4
	Tinggi muka air (m)	6,6	5	3,7
	Tebal plat (mm)	7	6	5

### 1.3 Desain Konsep Pekerjaan Mekanikal

#### 1.3.1 Umum

Lingkup pekerjaan mekanikal meliputi pemilihan peralatan mekanikal dan desain peralatan bantu. Pemilihan dan desain tersebut diarahkan untuk menghasilkan spesifikasi teknis dan dimensi dasar.

Data-data desain didapatkan dari hasil survai lapangan dan optimasi yang telah dilakukan yang terdiri dari hasil analisis hidrologi, hasil optimasi scheme dan energi.

Kriteria dasar desain didasarkan atas:

- Scheme PLTA yang dipilih

- Kondisi lokasi rencana PLTA
- Bentuk Kurva Durasi ( Flow Duration Curve)
- Besarnya head
- Energi yang akan dibangkitkan
- Besarnya beban harian
- Sistem jaringan existing
- Perkiraan kebutuhan listrik
- Pertimbangan operasional, ekonomi dan praktis

### 1.3.2 Jumlah Unit Pembangkit

Jumlah unit pembangkit ditentukan oleh debit air yang dapat dimanfaatkan sepanjang periode tertentudan perkiraan kebutuhan listrik dimasa yang akan datang. Air yang tersedia sepanjang tahun dapat dinyatakan dalam flow duration curve (FDC) yang menyatakan perkiraan besarnya aliran air di sungai terhadap persentase waktu kejadian yang telah berlalu .

Pada umumnya efisiensi turbin akan berkurang secara signifikan apabila debit yang masuk turbin dibawah 60% dari debit desainnya. Pola operasi PLTA run of river harus memperhatikan besarnya debit/aliran sungai sepanjang tahun terhadap debit rencana/debit desain turbin.

### 1.3.3 Turbin

#### 1.3.3.1 Daya Turbin

Besarnya daya output turbin dinyatakan dengan persamaan:

$$P_{\text{turbin}} = g \times h_{\text{net}} \times Q_{\text{plant}} \times \eta_t$$

dimana,

$P_{\text{turbin}}$  = daya output turbin (kW)

$g$  = percepatan gravitasi

$H_{\text{net}}$  = tinggi jatuh bersih

$Q_{\text{plant}}$  = Debit rencana

$\eta_t$  = efisiensi turbin

### 1.3.3.2 Jenis Turbin

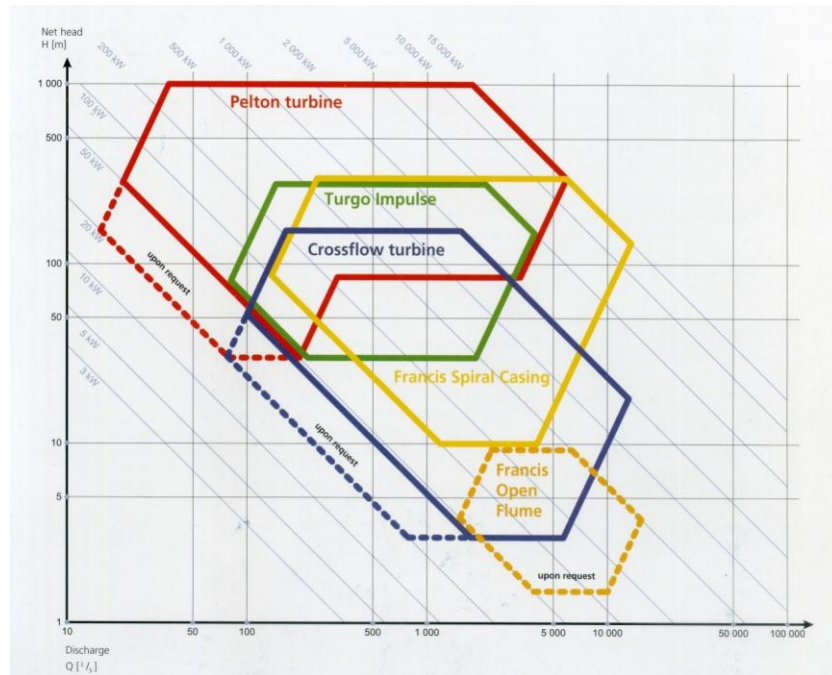
Jenis turbin air yang umum digunakan adalah jenis Turbin Pelton, Turbin Francis, Turbin Cross Flow, dan Turbin Kaplan/propeller. Setiap jenis turbin mempunyai daerah kerja masing-masing dan terdapat irisan daerah kerja untuk kondisi tertentu, sehingga pemilihan jenis turbin yang sesuai sebaiknya didasarkan atas:

- Tinggi jatuh (Head)
- Debit Rencana Pembangkitan
- Putaran Spesifik ( $n_s$ )

Berdasarkan tinggi jatuh klasifikasi/jenis turbin air dijabarkan pada Tabel 1. 10.

**Tabel 1. 10 Tabel Jenis Turbin Berdasarkan Head (m)**

Turbine type	Head range in metres
Kaplan and Propeller	$2 < H_n < 40$
Francis	$25 < H_n < 350$
Pelton	$50 < H_n < 1'300$
Crossflow	$5 < H_n < 200$
Turgo	$50 < H_n < 250$



**Gambar 1. 38 Grafik Pemilihan Turbin**

Ditinjau dari debit dan tinggi jatuh pada grafik di atas, jenis turbin yang bisa digunakan adalah turbin Francis, Turgo impuls ataupun Pelton.

Daerah kerja ketiga jenis turbin di atas ditinjau dari putaran spesifiknya dapat dirunut dari Standar IEC 60193 dan IEC 60041 sebagai berikut :

**Tabel 1. 11 Tabel Jenis Turbin Berdasarkan Putaran Spesifik**

Pelton one nozzle	$0.005 \leq n_{QE} \leq 0.025$
Pelton n nozzles	$0.005 \cdot n^{0.5} \leq n_{QE} \leq 0.025 \cdot n^{0.5}$
Francis	$0.05 \leq n_{QE} \leq 0.33$
Kaplan, propellers, bulbs	$0.19 \leq n_{QE} \leq 1.55$

Persamaan  $n_{QE}$  adalah : 0,08

$$n_{QE} = \frac{n\sqrt{Q}}{E^{3/4}}$$

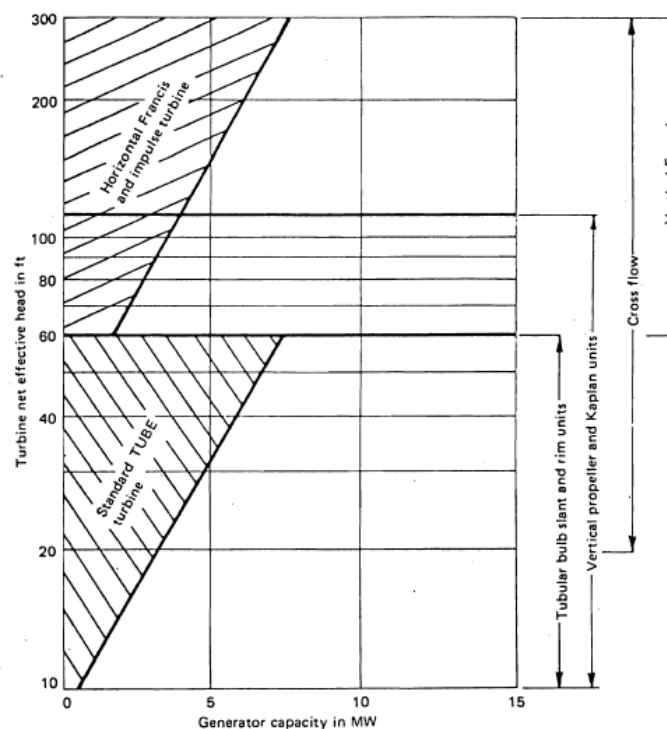
Dimana :  $n_{QE}$  = putaran spesifik  
 $n$  = putaran (putaran/s);  
 $Q$  = Debit ( $m^3/s$ );  
 $E$  =  $g \cdot H_n$  = Energi hidolik spesifik (J/kg)

Daya pembangkitan generator PLTA Liki adalah sebagai berikut :

$$P_g = P_t \times \eta_g$$

Dimana :

$P_g$  = Daya generator (kW)  
 $P_t$  = Daya turbin (kW)  
 $\eta_g$  = efisiensi generator



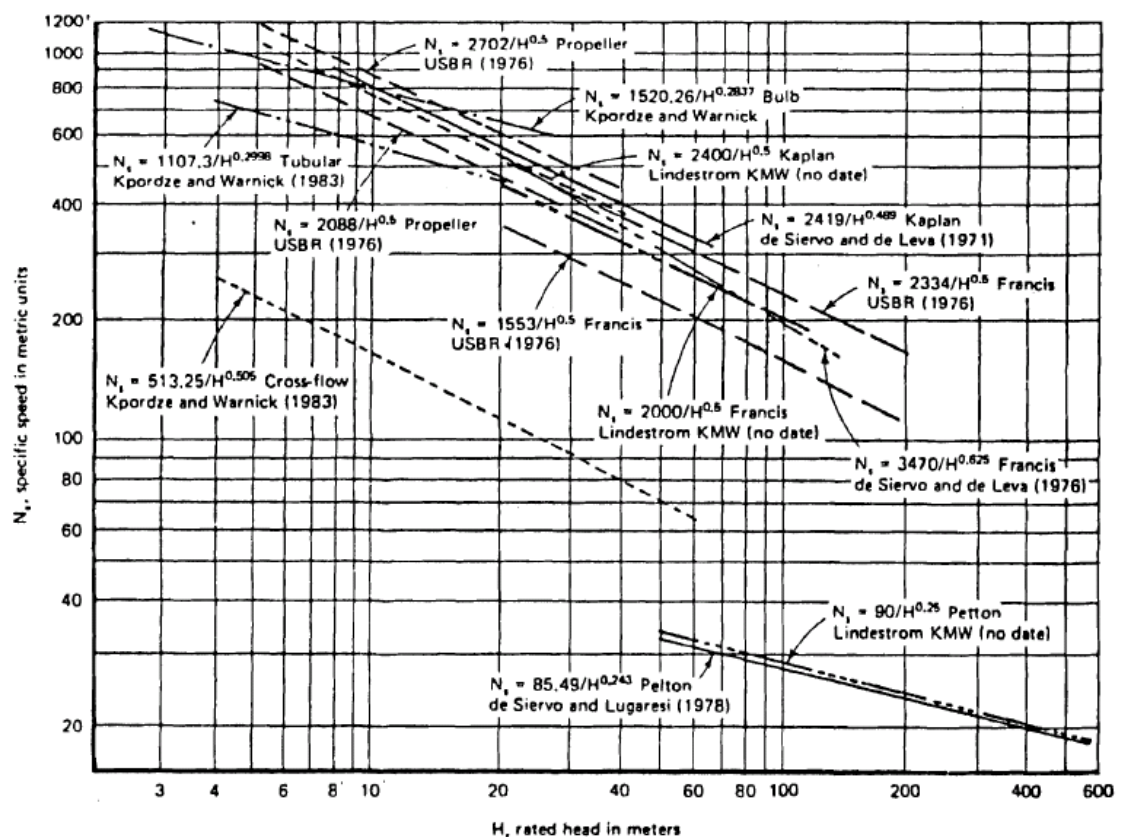
**Gambar 1. 39 Grafik konfigurasi turbin**

### 1.3.3.3 Kecepatan Putar Turbin

Kecepatan putar turbin ditentukan berdasarkan Head, kecepatan spesifik turbin dan jumlah poles generator. Head dan Kecepatan spesifik merupakan parameter penting dalam perencanaan dasar dari turbin generator, sedangkan

jumlah poles generator merupakan parameter untuk koreksi kecepatan turbin apabila skema turbin-generator yang digunakan adalah sambungan langsung (direct couple). Pentingnya harga  $N_s$ , maka diperlukan perhitungan  $N_s$  menggunakan beberapa persamaan untuk mendapatkan harga yang moderat. Harga  $N_s$  dalam perencanaan turbin menentukan besarnya dimensi dan kavitasi turbin.

Persamaan  $N_s$  untuk beberapa referensi ditunjukkan pada grafik sebagai berikut :



**Gambar 1. 40 Grafik Persamaan kecepatan spesifik Turbin (Hydropower Engineering, 1984)**

Kecepatan spesifik yang dihitung menggunakan empat (4) persamaan untuk jenis Turbin Francis, yaitu:

- Persamaan  $N_s$  USBR (1976), untuk  $N_s$  tinggi
- Persamaan  $N_s$  USBR (1976), untuk  $N_s$  rendah
- Persamaan  $N_s$  Lindstrom KMW

- Persamaan  $N_s$  de Siervo and de Leva (1976)

Dalam menghitung persamaan  $N_s$ , Head yang digunakan adalah Net Head. dari persamaan  $N_s$  tersebut dapat menentukan besarnya putaran maksimum turbin ( $N$ ) dengan menggunakan persamaan :

$$N_s = \frac{N\sqrt{P}}{H^{5/4}}$$

Dimana :       $N_s$       = kecepatan putar spesifik turbin  
                  $N$         = Kecepatan putar turbin (rpm)  
                  $P$         = Daya turbin (H.P)  
                  $H$         = Tinggi jatuh bersih (m)

Pemilihan kecepatan putar turbin aktual sebaiknya memperhatikan hal-hal berikut

- Jenis turbin yang digunakan  
Setiap jenis turbin mempunyai daerah kerja yang berbeda, termasuk daerah kerja putaran yang mampu dihasilkan oleh turbin. Putaran maksimum yang mampu dihasilkan oleh turbin sangat bergantung pada tinggi jatuh dan debit rencana pembangkitannya.
- Kecepatan maksimum turbin berdasarkan potensi energinya  
Kecepatan maksimum turbin dihitung berdasarkan putaran spesifiknya ( $N_s$ ) yang merupakan fungsi dari tinggi jatuh air.
- Putaran Generator  
Kecepatan putar turbin tersebut harus disesuaikan dengan putaran generator untuk menghasilkan 50 Hz.

Putaran generator untuk menghasilkan 50 Hz merupakan fungsi jumlah pole generator yang ditabelkan sebagai berikut :

**Tabel 1. 12 Fungsi Jumlah Pole Generator (ESHA 2004)**



Number of poles	Frequency		Number of poles	Frequency	
	50 Hz	60Hz		50 Hz	60 Hz
2	3000	3600	16	375	450
4	1500	1800	18	333	400
6	1000	1200	20	300	360
8	750	900	22	272	327
10	600	720	24	250	300
12	500	600	26	231	377
14	428	540	28	214	257

Mengacu pada jumlah poles generator, ketersediaan generator di pasaran dan kemampuan putaran turbin maksimum, Hubungan putaran turbin dan generator dinyatakan sebagai berikut :

$$n = \frac{120(f)}{N_p}$$

Dimana     $n$         = Putaran (rpm)  
               $N_p$         = Jumlah Poles Generator (6 buah)  
               $f$          = Frekwensi generator (Hz)

- Umur bantalan turbin  
 Semakin tingginya putaran turbin akan berdampak umur bantalan yang semakin turun, sehingga pemilihan putaran turbin yang serendah akan meningkatkan availability operasi turbin. Untuk jenis turbin francis poros horizontal, bantalan yang digunakan umumnya adalah bantalan radial, dimana untuk bantalan radial kontak komponen bola/peluru bantalan dan alurnya mempunyai luas kontak yang kecil, sehingga tegangan material peluru bantalan cukup besar. Berdasarkan hal tersebut, apabila semakin tingginya putaran pada bantalan, maka kontak peluru bantalan dengan alurnya semakin sering terjadi, hal ini akan mempersingkat umur dari bantalan.
- Kemudahan perawatan dan biaya investasi  
 Konfigurasi hubungan poros turbin dan generator dapat berupa direct couple ataupun menggunakan increaser/reducer (gearbox).

### 1.3.3.4 Dimensi Turbin dan Draft Tube

#### A. Runner dan Casing Turbin

Dari putaran spesifik yang dihitung di atas, maka dimensi turbin francis dapat dihitung menggunakan formula F. de Siervo dan F. de Leva.

## **B. Berat Runner**

Berat runner dapat dihitung secara empiris dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$W_{\text{runner}} = 607 (D_m)^{2.75} \text{ kg}$$

## **C. Berat Turbin**

Berat turbin dapat dihitung secara empiris dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$W_{\text{turbin}} = 15175 (D_m)^{2.23} \text{ kg}$$

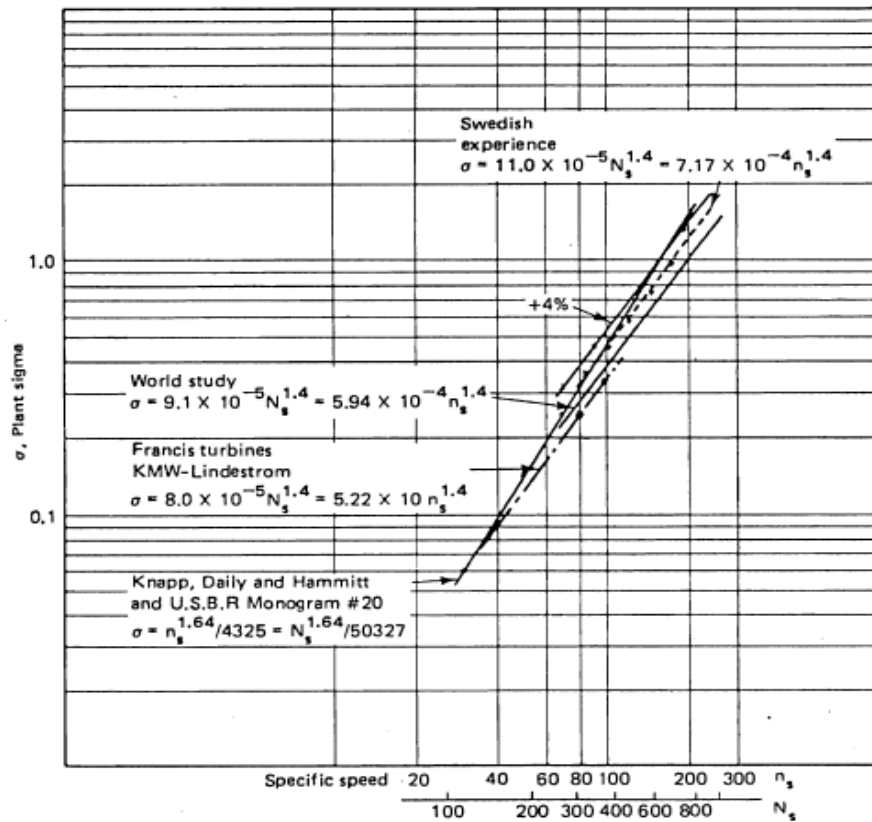
## **D. Draft Tube**

Draft tube adalah komponen yang dipakai untuk mengalirkan air keluar dari runner turbin. Pada turbin francis, dimensi draft tube tergantung pada kecepatan spesifik turbin dan diameter runner turbin. Sedangkan untuk turbin pelton draft tube disesuaikan dengan tinggi muka air di tailrace. Untuk menghitung dimensi-dimensi draft tube digunakan persamaan de Siervo-deLeva.

### **1.3.3.5 Pengaturan Setting Turbin**

Kavitasi terbentuk akibat tekanan hidrodinamis dari aliran air berada di bawah tekanan uap air sehingga menimbulkan gelembung udara. Gelembung tersebut jika pecah dapat menimbulkan kenaikan tekanan impuls diikuti dengan suara. Pecahnya gelembung secara terus menerus di runner turbin dapat menyebabkan pitting pada permukaan material dan merusak runner turbin. Oleh karena itu kavitasi harus dihindari dengan cara peletakan sumbu runner turbin terhadap level air tail race harus sedemikian rupa sehingga tekanan air tidak lebih

rendah dari tekanan penguapan pada temperatur dilokasi perencanaan PLTA. Kavitasi dikarakteristikkan oleh koefisien kavitasi (Thoma's Sigma), yaitu:



**Gambar 1. 41 Bilangan Thoma untuk berbagai sumber (Hydropower Engineering, 1984)**

Bilangan Thoma yang dihitung berdasarkan persamaan pada kedua grafik di atas akan menentukan ketinggian pemasangan sumbu poros turbin terhadap permukaan air di tailrace. Ketinggian pemasangan sumbu poros turbin ( $H_s$ ) adalah sebagai berikut :

$$H_s = \frac{P_{atm} - P_v}{\rho \cdot g} + \frac{V^2}{2 \cdot g} - \sigma \cdot H_n$$

Dimana  $H_s$  = Ketinggian sumbu poros turbin terhadap air tail race (m)

$P_{atm}$  = Tekanan udara atmosfir di lokasi PLTA (101418 Pa)

$P_v$	=	Tekanan jenuh/uap air pada temperatur 20°C (2339,2 Pa)
$V$	=	Kecepatan air masuk draft tube (m/s)
$H_n$	=	Head net

Untuk jenis Turbin Pelton, maka tidak terjadi kavitasi selama operasional turbin, peletakan sumbu turbin didasarkan pada tinggi muka air di tailrace.

**Tabel 8. 13 Resume perhitungan peralatan mekanikal**

Parameter	Unit-1	Unit-2	Unit-3
Jumlah turbin	2	2	2
Debit turbin (m <sup>3</sup> /s)	1,93	2,03	1,4
Head nett (m)	156	134,79	262.3
Daya turbin (kW)	2710	2476	4331
Jenis turbin	Francis	Francis	Pelton
Konfigurasi poros turbin	horizontal	Horizontal	Horizontal, 2 nosel
Putaran turbin (rpm)	1000	1000	429
Konfigurasi turbin dengan generator	Direct couple	Direct couple	Direct couple
Berat runner (kg)	133,2	129,31	170
Berat turbin (kg)	4436,4	4330,69	3418
Jarak dari sumbu turbin ke m.a tailrace (m)	2	2	2.11

#### 1.3.4 Main Inlet Valve

Inlet valve dipasang pada bagian up-stream dari turbin. Fungsi peralatan ini adalah :

- Sebagai alat isolasi turbin pada saat turbin tidak berjalan. yaitu selama terjadi kegiatan perbaikan dan perawatan forebay/head tank atau turbin
- Untuk mengontrol operasi turbin ( Start and Stop ) dalam keadaan normal. dan
- Untuk menutup aliran air pada saat terjadi keadaan darurat.

- Katup utama ini dipasang setelah bifurcation yang terletak di dalam bangunan *Power House*.

Penentuan Jenis katup main inlet valve adalah butterfly valve bila head static dari 0 – 150 m, spherical valve bila ketinggian jatuhnya dari 150 m – 1200 m, dan cone valve bila ketinggian jatuhnya ada diatas 1200 m

Jenis katup yang digunakan adalah butterfly valve yang digerakkan secara hidrolik. Untuk valve jenis operasi secara hidrolik. penutupan katup dilakukan secara gravitasi dengan beban ( counter weight). Jenis katup butterfly konstruksinya sederhana, rigid, relatif murah dan banyak tersedia di pasaran. Kelemahan jenis katup ini adalah pada penutupan dimana katup tidak dapat menutup aliran air sepenuhnya, selalu ada kebocoran beberapa liter per detik. Penggunaan katup pembebas tekanan ( by pass ) untuk memproteksi pipa dari pengaruh tekanan surge berlebih ketika terjadi penutupan aliran, seperti pada instalasi tekanan tinggi lebih dari 50 m, tidak diperlukan pada instalasi tekanan rendah. Hal ini diatasi dalam perencanaan dan perhitungan pipa pesat ( *Penstock* ). Pada umumnya pabrikan turbin telah menyertakan inlet valve sebagai kesatuan komponen turbin yang didesain untuk mendukung kerja turbin secara keseluruhan.

Katup jenis butterfly di pasaran tersedia mulai diameter 80 mm hingga 4000 mm. Diameter katup yang digunakan adalah 1 m (1000 mm) untuk kedua *Penstock*. Setelah katup utama ini umumnya pemipaan *Penstock* dilengkapi dengan flexible join untuk meredam getaran yang muncul dari turbin agar tidak diteruskan ke *Penstock*.

### 1.3.5 Governor

Pengatur (governor) untuk mengontrol turbin ber-type aktuator (servomotor) yang menjalankan motor maupun hidrolik dan dilengkapi pengontrol kecepatan elektrik yang ditandai dengan kecepatan generator.

Governor harus dilengkapi dengan semua peralatan yang diperlukan untuk pengatur dan pengontrol turbin termasuk deteksi kecepatan, pengontrol start, pengontrol kecepatan, penurun kecepatan, kontrol beban, pembatas beban, pengatur waktu pembukaan dan penutupan guide vane, dan lain-lain.

Governor harus mampu mengontrol kecepatan turbin dengan cara yang stabil ketikadijalankan pada kecepatan tanpa beban atau ketika dijalankan pada beban penuh padaoperasi beban terisolasi. Governor harus mampu mengontrol keluaran (output) ketika dioperasikan secara paralel dengan generator lain dalam sistem pembangkitan PLTA .Governor harus bisa digunakan untuk menghidupkan turbin dengan mode startingmanual dan otomatis, secara sinkron dan tertutup.

Kecepatan perputaran turbin akan dideteksi dengan generator penanda kecepatan (toothhead disc with sensor) yang langsung dihubungkan dengan poros generator.

Alat pengatur kecepatan governor harus dilengkapi dengan alat-alat berikut:

1) Pada panel pengatur

- i. Kontrol manual dilengkapi dengan dua posisi "naikkan/raise" dan "turunkan/lower" pada pengatur kecepatan
- ii. Kontrol manual dilengkapi dengan dua posisi "naikkan/raise" dan "turunkan/lower" pada pengatur beban
- iii. Kontrol manual dilengkapi dengan dua posisi "naikkan/raise" dan "turunkan/lower" pada pembatas beban
- iv. Pembukaan guide vane dan indikator posisi pembatas beban
- v. Penunjuk/indikator kecepatan
- vi. Pengatur selektor dengan dua posisi "otomatis/auto" dan "manual/manual" untuk kontrol turbin
- vii. Pengatur tombol tekan untuk pengontrolan listrik secara manual dari katup masuk.
- viii. Pengatur otomatis untuk kepentingan otomatis sinkron (sinkron secara manual dan otomatis)

2) Pada panel kontrol utama central control panel yang akan disediakan dilengkapi alat pengatur (lihat gambar diagram satu garis):

- i. Pangatur control manual dengan dua posisi "naikkan/raise" dan "turunkan/lower" untuk pemakaian umum pada pengatur kecepatan dan pengatur beban.
- ii. Pangatur control manual dengan dua posisi "naikkan/raise" dan "turunkan/lower" untuk pembatas beban
- iii. Pembukaan guide vane dan penunjuk posisi pembatas beban

- iv. Penunjuk/indikator kecepatan
  - v. Debit turbin
  - vi. Permukaan air pada pond/kolam penenang
- 3) Panel pengendalian akan dilengkapi dengan :
- i. Sensor kecepatan termasuk sensor overspeed, sensor penyinkron kecepatan dan sensor under speed.
  - ii. Overvoltage protection
  - iii. Relai "Quick shutdown operation". "Normal shut down", Emergency Shutdown. on". "Normal shut down

### **1.3.6 Peralatan Elektrikal**

#### **1.3.6.1 Sistem Instalasi Pembangkit**

Dalam instalasi instrumentasi elektrikal pada PLTA Liki ini perlu juga dipertimbangkan sistem pengaman sebagai berikut :

- ⇒ Pengaman arus lebih
- ⇒ Pengaman tegangan kurang
- ⇒ Pengaman tegangan lebih
- ⇒ Pengaman diferensial generator
- ⇒ Pengaman frekwensi
- ⇒ Pengaman putaran lebih
- ⇒ Pengaman stator gangguan tanah
- ⇒ Pengaman daya balik

Test link perlu ditambahkan pada setiap pemasangan instrumentasi ukur untuk keperluan pemeliharaan dan kontrol.

#### **1.3.6.2 Transformer**

Transformer utama yang akan digunakan pada PLTA Liki adalah Transformer 3 fasa 6.3 kV/20 kV. Konstruksi transformer harus cukup sederhana, dengan perawatan seminimal mungkin. Tipe yang direncanakan adalah "hermatically sealed" dengan tipe pendinginan ONAN.

Parameter	Lambai 1	Lambai 2	Belangir
Jumlah	2	2	2
Capacity	3250 kVA	3000 kVA	4000 KVA
Voltage	6.3 KV / 30 KV	6.3 KV / 30 KV	6.3 KV / 30 KV
Frequency	50 Hz	50 Hz	50 Hz
Connection	Dyn 5	Dyn 5	Dyn 5
Impedance	5 – 6 %	5 – 6 %	5 – 6 %
Colling System	ONAN	ONAN	ONAN

Selain transformer utama juga diperlukan transformer sekunder 20 kV/380 V , untuk keperluan utilitas pembangkit. Kapasitas transformer sekunder berkisar 50 kVA.

Parameter	Unit-1	Unit-2	Unit-3
Jumlah	1	1	1
Capacity	50 KVA	50 KVA	50 KVA
Voltage	20 KV / 380 Volt	20 KV / 380 Volt	20 KV / 380 Volt
Frequency	50 Hz	50 Hz	50 Hz
Connection	Dyn 5	Dyn 5	Dyn 5
Impedance	5%	5%	5%
Colling System	ONAN	ONAN	ONAN

### 1.3.6.3 Standar Yang Digunakan

Standard yang digunakan untuk peralatan elektrikal, yaitu:

- International Electrcal Commission (IEC);*
- Japanese Industrial Standard (JIS);*
- Japanese Electro – Mechanical Committee (JEC);*
- Standar PLN (SPLN); dan



e. Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL).

#### 1.3.6.4 Pemilihan Jenis Generator

Generator adalah suatu peralatan yang berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Sedangkan jenis generator yaitu generator sinkron, dan generator asinkron (induksi). Salah satu kriteria pemilihan penggunaan generator pada PLTA Liki yaitu cara pengoperasian PLTA Liki itu sendiri apakah paralel dengan Sistem atau bekerja “*isolated*”.

Generator sinkron berputar pada kecepatan 6000/2P putaran per menit, 2P adalah jumlah kutubnya. Generator sinkron terdiri atas tiga komponen utama yaitu stator, rotor, dan sistem penguatannya (eksitasi). Ditinjau dari Sistem eksitasinya generator sinkron dapat dibagi menjadi tiga, yaitu:

- Sistem eksitasi tanpa sikat (*brushless excitation*);
- Sistem eksitasi statis / tanpa sikat dengan *generator magnet permanent* (PMG); dan
- Sistem eksitasi dengan “*slip ring*”.

Sistem eksitasi tanpa sikat terdiri atas generator eksitasi bolak balik yang dihubungkan secara langsung dengan poros generator utama dan penyearahan jembatan yang ikut berputar di dalam poros. Arus eksitasi untuk generator utama diambil dari generator eksitasi, sedangkan arus eksitasi untuk generator eksitasi diambil dari tegangan keluar generator utama setelah disearahkan, pengaturan tegangan keluar generator utama dilakukan dengan mengatur arus eksitasi generator eksitasi dengan alat yang disebut “*automatic voltage regulator*” AVR.

Pada jenis generator ini apabila terjadi hubung singkat diterminal generator, transformator atau sistem distribusinya, tegangan keluar generator akan turun. Hal ini disebabkan saat terjadi hubung singkat jatuh tegangan pada terminal generator akan semakin besar dan akan mengakibatkan arus yang masuk ke sistem eksitasinya akan semakin kecil. Dengan mengecilnya arus eksitasi maka tegangan keluar generator juga akan semakin kecil. Proses ini berlangsung terus sehingga dapat disimpulkan bahwa generator jenis ini akan

gagal menyuplai daya pada waktu hubung singkat yang menetap. Generator jenis ini memiliki beberapa kelebihan antara lain dari Sistem eksitasinya sederhana, mudah perawatannya, dan harganya relatif lebih murah.

Sistem eksitasi tanpa sikat dengan generator magnet permanent hamper sama dengan jenis generator dengan Sistem eksitasi tanpa sikat. Perbedaan adalah pada sumber arus eksitasi, untuk generator eksitasinya. Kalau pada jenis eksitasi tanpa sikat, arus eksitasi untuk generator eksitasi diambil dari tegangan keluar generator utama maka pada jenis Sistem eksitasi tanpa sikat dengan generator magnet permanent diambil dari tegangan keluar *generator magnet permanent*.

Jenis generator ini memungkinkan untuk mengadakan selektifitas “*feeder*” yang mengalami gangguan apabila terjadi hubung singkat yang menetap. Hal ini disebabkan PMG akan tetap menyuplai daya ke sistem eksitasi generator utama sehingga penurunan tegangan pada terminal generator utama relative kecil. Pada umumnya jenis generator ini dayanya besar. Jika harganya dibandingkan dengan generator Sistem eksitasi tanpa sikat untuk daya yang sama, generator ini lebih mahal dan perawatannya lebih rumit.

Sistem yang ketiga, Sistem eksitasi dengan “*slip ring*”, adalah suatu Sistem yang tidak menggunakan generator eksitasi. Pada sistem ini arus eksitasi generator utama langsung diambilkan dari tegangan keluarannya dan dilairkan kebilitan medan generator utama melalui sepasang “*sip ring*”.

Dengan adanya slip ring pada generator ini mengakibatkan perawatannya akan sulit. Disamping itu jenis generator ini sudah jarang digunakan dan sulit mendapatkannya dipasaran, seandainya adapun kapasitasnya sangat kecil.

Jenis generator yang lain adalah generator asinkron atau generator induksi. Pada dasarnya generator induksi ini kontruksinya sama dengan motor induksi dan memerlukan sumber tegangan bolak balik untuk eksitasinya atau memerlukan daya reaktif untuk eksitasinya. Belitan stator dihubungkan dengan sumber tegangan bolak balik, dan rotor yang digunakan umumnya jenis rotor sangkar yang diputar dengan kecepatan melebihi kecepatan sinkronya. Daya aktif yang dihasilkan oleh generator induksi tergantung pada besarnya *slip negative*. Fakor daya mesin induksi ditentukan oleh daya reaktif yang diperlukan

dan reaktansi bocornya. Biasanya faktor daya generator induksi 0,2 sampai 0,3 lebih rendah dibandingkan jika bekerja sebagai motor induksi, dan tidak ada faktor daya yang tertentu. Oleh sebab itu generator induksi tidak dapat digunakan untuk menyuplai beban-beban induktif yang faktor dayanya rendah.

Setelah mempertimbangkan kelebihan dan kekurangan pada beberapa tipe generator dan pertimbangan dari cara pengoperasian PLTA Liki maka diusulkan generator yang dipakai adalah generator sinkron tanpa sikat dengan mempertimbangkan bahwa PLTA Liki ini harus bisa beropersi sendiri dan menyuplai daya ke GH.

Berdasarkan arah porosnya generator untuk turbin air yang digunakan adalah poros Horizontal. Generator dengan poros horizotal digunakan untuk mesin-mesin dengan kapasitas pembangkitanya besar atau mesin-mesin dengan putaran rendah.

#### **1.3.6.5 Konstruksi Generator**

Beberapa kemungkinan untuk jenis pendingin generator adalah sebagai berikut:

- a. Pendingin udara tertutup dengan air dingin sebagai "*heat exchanger*";
- b. Pendingin udara tertutup dengan udara dingin sebagai "*heat exchanger*";  
dan
- c. Pendingin udara terbuka.

Dua alternatif pertama mempunyai keuntungan/kelebihan dapat mengurangi debu yang masuk ke generator. Meskipun demikian pemilihan untuk menggunakan sistem pendinginan air untuk generator perlu mempertimbangkan mengingat adanya endapan pada air pendingin tersebut.

Sirkulasi udara dapat dilakukan dengan fan yang dipasang diluar generator dan menggunakan fan pada generator itu sendiri. Filter harus dipasang pada arah udara masuk untuk mengurangi debu yang masuk ke generator.

Bantalan generator untuk lokasi PLTA Liki ini diusulkan menggunakan tipe konvensional dengan pendingin dan pelumas sendiri. Jika diperlukan pompa

minyak untuk pelumas dan pendinginan maka dapat dihubungkan dengan poros generator dan unit ini mampu untuk menghentikan turbin kalau terjadi kekurangan atau kehilangan tekanan dalam pipa minyak.

Gaya tolak aksial akan diatasi oleh bantalan turbin dan bantalan penaik kecepatan (*speed increaser*). Bantalan generator hanya mendapat gaya tolak aksial dari generator saja.

Kualitas Sistem isolasi belitan generator ditentukan oleh kelembaban didalam generator itu sendiri. Oleh sebab itu diusulkan dipasang pemanas (*heater*) pada generator untuk mencegah kondensasi uap air saat generator tidak dioperasikan.

#### **1.3.6.6 Spesifikasi Generator**

Pemilihan tegangan dasar (*rated voltage*) generator merupakan sesuatu yang cukup penting, sebab adanya kenyataan, bahwa penggunaan tegangan yang lebih tinggi akan menyebabkan makin tebalnya isolasi yang digunakan, sehingga luas penampang penghantar akan menjadi kecil dan investasi untuk generaor tersebut akan menjadi cukup tinggi. Akan tetapi penggunaan tegangan yang lebih rendah akan mengakibatkan rating arus menjadi lebih besar untuk suatu kapasitas daya pembangkit tertentu, oleh sebab itu untuk PLTA Liki diusulkan keluaran tegangan generator adalah 6.3 kV. Pertimbangan pemilihan putaran generator disesuaikan dengan putaran turbin. Berikut adalah spesifikasi generator yang akan diusulkan :

Parameter	Unit-1	Unit-2	Unit-3
<b>Jumlah</b>	2 unit	2 unit	2 unit
Type	3 Phases, Silent Pole Brushless Synchronous Generator	3 Phases, Silent Pole Brushless Synchronous Generator	3 Phases, Silent Pole Brushless Synchronous Generator
Capacity	3185 kVA	2900 kVA	3922 KVA
Shaft	Horizontal	Horizontal	Horizontal
Voltage	6.3 KV	6.3 KV	6.3 KV
Voltage variation	+/- 5 %	+/- 5 %	+/- 5 %
Current	264,8 A	333.2 A	449.2 A
Power Factor	0.85 lag	0.85 lag	0.85 lag
Frequency	50 Hz	50 Hz	50 Hz
Frequency variation	+/- 1 %	+/- 1 %	+/- 1 %
Speed	1000 rpm	1000 rpm	429 rpm
Connection	Star	Star	Star
Insulation Class	Class – F	Class – F	Class – F

Duty	Continuous	Continuous	Continuous
Ambient temperature	25 ° C	25 ° C	25 ° C
Temperature at rated load	Class – B Limit	Class – B Limit	Class – B Limit
Temperature at max load	Class – F Limit	Class – F Limit	Class – F Limit
Cooling System	IC – 01	IC – 01	IC – 01
Cooling water temperature	25 ° C	25 ° C	25 ° C
Excitation System	Brushless Excitation Systems	Brushless Excitation Systems	Brushless Excitation Systems
Voltage Regulation	1.50%	1.50%	1.50%
Voltage adjustability	+/- 10 %	+/- 10 %	+/- 10 %
Efficiency	>95 %	>95 %	>95 %
Synchronous Reactance	<125 %	<125 %	<125 %
Short Circuit Ratio	>0.8	>0.8	>0.8
Drive	Water Turbine	Water Turbine	Water Turbine
Lubrication	Oil bearing lubrication	Oil bearing lubrication	Oil bearing lubrication
Grounding	Neutral Grounding Resistor	Neutral Grounding Resistor	Neutral Grounding Resistor
Generator Protection	All of Generator Protections (over current, ground fault,	All of Generator Protections (over current, ground fault,	All of Generator Protections (over current, ground fault,

	loss of excitation, directional power, over speed , inter winding short circuit etc )	loss of excitation, directional power, over speed , inter winding short circuit etc )	loss of excitation, directional power, over speed , inter winding short circuit etc )
AVR	Electronic that compatible to generator	Electronic that compatible to generator	Electronic that compatible to generator

### 1.3.6.7 Pemilihan Transformator

Pemilihan transformator yang digunakan sebagai acuan dalam desain, yang terdiri dari transformator utama dan transformator pemakaian sendiri meliputi, yaitu:

- a. Tipe transformator
- b. Tegangan dasar transformator
- c. Pengubah tap
- d. Isolasi
- e. Hubungan transformator
- f. Kenaikan transformator
- g. Sistem pendingin

Transformator daya pada pembangkit ini harus memiliki tipe yang disesuaikan dengan fungsinya masing-masing. Untuk transformator utama dianjurkan tipe pasangan luar (*outdoor*), dan transformator pemakaian sendiri tipe pasangan dalam (*indoor*). Besarnya kapasitas dari transformator utama harus disesuaikan dengan kapasitas generator, dan untuk transformator pemakaian sendiri harus disesuaikan dengan kapasitas pemakaian beban yang terdiri dari beban esensial dan non esensial pada PLTA Liki.

Tegangan primer dari transformator utama harus sama dengan tegangan output generator, sedangkan tegangan sekundernya harus sama dengan tegangan Sistem jaringan. Sedangkan transformator pemakaian sendiri pada tegangan primernya sama dengan tegangan Sistem jaringan, sedangkan tegangan sekundernya sesuai dengan tegangan peralatan-peralatan yang digunakan pada PLTA Liki.

Penentuan pemilihan transformator nanti hendaknya memperhitungkan efisiensi dari transformator, baik transformator utama maupun transformator pemakaian sendiri, dengan tidak mengabaikan rugi-rugi dari setiap jenis transformator.



### 1.3.6.8 Lain-Lain

Fasilitas pendukung PLTA Liki lainnya yang diperlukan adalah :

1. Battery Back up – UPS untuk mendukung operasi peralatan
2. *Power House* overhead traveling crane kapasitas 15 ton.
3. Diesel generator set 50 kVA
4. Kompresor
5. Peralatan komunikasi
6. Pemadam kebakaran

Data teknis dan spesifikasi PLTA Liki telah dirinci pada dokumen lelang, sebagai pelengkap dan dokumen pendukung.

## 1.3.7 Sistem Kontrol, Pengukuran dan Komunikasi

### 1.3.7.1 Sistem Kontrol

Mengingat letak PLTA Liki dioperasikan dalam area *Power House* / Pembangkit maka operasional dikendalikan dari ruang kontrol.

Disamping sistem kontrol start/stop, diperlukan juga sistem rele untuk menghentikan operasi pembangkit pada keadaan darurat dan ini akan dilaksanakan apabila terjadi:

- ☐ Gangguan listrik pada generator
- ☐ Kecepatan putaran lebih
- ☐ Tombol *emergency* ditekan
- ☐ Sistem kontrol mengalami gangguan

Sistem kontrol *start / stop* ini bisa menggunakan kontrol setempat (melalui panel lokal) atau kontrol jarak jauh (secara remote) dari suatu ruang kontrol terpusat. Kontrol setempat dilakukan dari governor actuator yang terletak dilantai generator sedangkan kontrol jarak jauh dilakukan dari ruang kontrol terpusat. Keadaan operasi normal dilakukan pengontrolan secara remote. Kontrol setempat digunakan hanya pada saat diadakan pengetesan dan tidak dapat untuk mengontrol operasi paralel dengan sistem.

Panel kontrol lokal dan remote yang terletak diruang kontrol dilengkapi dengan fasilitas–fasilitas:

- ❑ Kontrol *start / stop*
- ❑ Unit kontrol lokal, termasuk sinkronisasi
- ❑ Unit instrumentasi
- ❑ Unit pengukuran

### 1) Kontrol pembebanan

Kontrol pembebanan minimal dilengkapi dengan fasilitas–fasilitas :

- ❑ Batas beban maksimum
- ❑ Batas beban minimum
- ❑ Kontrol beban
- ❑ Kontrol tegangan

### 2) Kontrol *start / stop*

Kontrol *start/stop* dapat dilakukan dengan tiga cara yaitu otomatis, semi otomatis, dan manual. Urutan *start/stop* secara manual dilengkapi dengan sistem *interlock* untuk menghindari adanya kesalahan urutan.

#### - Otomatis

Unit pembangkit akan start atau stop secara otomatis tergantung pada level air di *intake* dan level set point yang dipilih.

#### - Semi Otomatis

Pada posisi semi otomatis urutan start / stop akan berlangsung secara otomatis, dimana operator tinggal menekan tombol start / stop saja, maka unit pembangkit akan start / stop sendiri sedangkan untuk kontrol pembebanannya dilakukan secara manual.

- Manual

Pada posisi manual, operator harus melakukan langkah–langkah (urutan) start/stop secara manual. Setiap kali suatu langkah atau proses selesai akan ditandai dengan matinya lampu indikator dan apabila proses belum selesai lampu indikator tersebut akan berkedip.

**3) Stop / berhenti secara otomatis**

Bila ketinggian air sungai dibawah minimum operating level (MOL) maka unit pembangkit akan berhenti secara otomatis dengan urutan sama seperti pada stop normal.

**4) Trip stop (berhenti pada keadaan gangguan)**

Bila terjadi gangguan listrik misalnya under voltage atau overspeed rele bekerja, maka secara serentak inlet valve diperintah untuk menutup dan CB 20 kV untuk membuka. Hal ini menjamin unit pembangkit dilepas dari sistem secara cepat dan aman.

**5) Emergency stop (berhenti pada keadaan darurat)**

Bila terjadi gangguan mekanis, misalnya temperatur lebih, akan mengakibatkan *emergency stop* dengan urutan sebagai berikut ; runner blade dikontrol pada posisi tanpa beban, kemudian tutup *inlet valve* dan buka CB 20 kV.

**6) Emergency shutdown**

Bila terjadi gangguan listrik (misal arus lebih) akan mengakibatkan *emergency shutdown* dengan urutan sebagai berikut: secara serentak runner blades, *inlet valve* dan CB 20 kV di *trip*.

**1.3.7.2 Sistem Pengukuran/Instrumentasi**

Alat–alat pengukuran konvensional diperlukan untuk pengukuran mekanis dan listrik. Amperemeter untuk sistem 20 kV dan sistem 400 Volt, masing–

masing satu buah untuk tiap fasenya. Energi meter (KWH Meter) dipasang pada generator, dan transformator pemakaian sendiri.

NO	EQUIPMENTS	SPECIFICATION
	<b>ELECTRIC PANEL 400V</b>	
1	Measuring systems	V , I, PF, F, W, VA
2	Protection systems	Over current , ground fault , fuse
3	Potential Transformer	400 V / 220 V / 110 V
4	Current Transformer	30 VA, In / 5 or In / 1
5	Internal lightning protection	Lightning Arrester 400 V
6	Cable and accessories	Compatible to electrical condition
7	Switchgear	400V , 200 A , 50 Hz , 20 KA 1 Sec
8	Incoming panel	
9	Outgoing panel	
	<b>ELECTRIC PANEL 6.3 KV</b>	
1	Measuring systems	V , I, PF, F, W, VA
2	Protection systems	Over current , ground fault , loss of excitation, directional power, over speed , inter winding short circuit , differential , over load , thermal, vibration etc
3	Potential Transformer	6.3 KV / 220 V / 110 V
4	Current Transformer	30 VA, In / 5 or In / 1
5	Internal lightning protection	Lightning Arrester 6.3 KV
6	Cable and accessories	Compatible to electrical condition
7	Switchgear	6.3 KV, 250 A , 50 Hz , 30 KA 1 Sec
8	Incoming panel	
9	Outgoing panel	
	<b>ELECTRIC PANEL 20 KV</b>	

1	Electric synchronizing systems	Compatible to genertor specification
2	Measuring systems	V , I, PF, F, W, VA
3	Protection systems	Over current , ground fault , etc
4	Potential Transformer	20 KV / 220 V / 110 V
5	Current Transformer	30 VA, In / 5 or In / 1
6	Internal lightning protection	Lightning Arrester 20 KV
7	Cable and accessories	Compatible to electrical condition
8	Switchgear	20 KV, 100 A , 50 Hz , 40 KA 1 Sec
9	Incoming panel	
10	Outgoing panel	
	<b>Instrument &amp; Control</b>	
1	Metering Systems	Meter for all voltage (LV and MV)
2	DC Power Supplay & UPS	110 Volt DC, Battery 200 AH , UPS min 1 hour

*Instrument* dan indikator minimal yang harus ada dan diletakkan pada panel kontrol adalah sebagai berikut :

a. Turbin:

- tekanan pipa pesat
- tekanan minyak servomotor *runner blades*
- posisi *runner blades*
- tekanan minyak servomotor *inlet valve*
- temperatur bantalan turbin
- temperatur *seal draft tube*
- tekanan *draft tube*
- batasan minyak bantalan turbin
- pengukuran debit air

*Speed increaser* (penaik kecepatan):

- batasan minyak penaik kecepatan

- temperatur penaik kecepatan
- b. Generator
  - temperatur bantalan generator
  - batasan minyak bantalan generator
  - temperatur stator
  - kecepatan generator
- c. Transformator utama
  - temperatur minyak transformator utama
- d. Rangkaian 20 kV
  - pengukuran daya aktif (kW)
  - pengukuran daya reaktif (kVAr)
  - pengukuran arus
  - pengukuran tegangan
  - pengukuran frekuensi
  - pengukuran jam jalan (kerja)
  - pengukuran energi (KWH)
  - sinkronoskop dengan voltmeter
- e. Elevasi muka air
  - pengukuran tinggi permukaan air
- f. Sistem pemakaian sendiri
  - pengukuran tegangan transformator pemakaian sendiri
  - arus
  - tegangan panel utama
  - pengukuran energi transformator pemakaian sendiri (kWH)
  - pengukuran arus *standby genset*
  - pengukuran tegangan *standby genset*
  - pengukuran frekuensi *standby genset*
  - pengukuran jam kerja *standby genset*

### **1.3.7.3 Sistem Komunikasi**

Sistem komunikasi antara PLTA Liki dan Gardu hubung maupun dengan PLN (Persero) Area dilakukan sistem komunikasi suara dengan sistem transmisi kabel atau sistem transmisi radio VHF.

Ditinjau dari segi operasi, sistem radio lebih baik dari sistem kabel, terhadap gangguan alam seperti pohon tumbang atau oleh gangguan lainnya seperti layang-layang pada waktu musim layang-layang.

### **1.3.8 Perhitungan Energi**

Perhitungan energi setiap unit PLTA Liki dijabarkan dalam tabel berikut:





Energy Calculation (Q36.1%) of PLTA LIKI UNIT LAMBAI 2													
Q max	=	5.49	m3/d	g =	9.81	m3/detik	Eff total =	0.874			CF=	68.27%	
H gross	=	142.00	m	H netto =	134.90	m	P =	4713	kW				
Prob.	=	36.1	%										
UNIT - 2		Q rencana	2.04	m3/d		P2 =	2357	kW					
UNIT - 2													
percent of time (%)	Average	Number of Day	Discharge Q (m3/s)	Q/Qmax (%)	Turbine Efficiency	Generator Efficiency	Gearbox Efficiency	Area of Flow Duration Curve (Q x t)	Net head (m)	Total Eff.	Power (kW)	Annual Energy (kWh)	
0.00 - 70.00	70.00	256	2.04	100.00	0.91	0.950	1.000	12,494	134.90	0.868	2,341	14,356,296	
70.00 - 77.06	77.06	26	2.04	100.00	0.91	0.950	1.000	1,261	134.90	0.868	2,341	1,448,635	
77.06 - 80.00	78.53	11	1.96	96.35	0.92	0.950	1.000	505	134.90	0.875	2,274	584,889	
80.00 - 85.00	82.5	18	1.72	84.56	0.93	0.950	1.000	755	134.90	0.879	2,005	878,214	
85.00 - 90.00	87.5	18	1.38	67.60	0.91	0.950	1.000	603	134.90	0.860	1,567	686,411	
90.00 - 95.00	92.5	18	0.95	46.77	0.82	0.950	1.000	417	134.90	0.780	984	430,782	
95.00 - 100.00	97.5	18	0.21	10.51	0.00	0.950	1.000	94	134.90	0.000	-	-	
Days =		365								Annual Energy Production		18,385,226	
UNIT - 1		Q rencana	2.04	m3/d		P3 =	2357	kW					
UNIT - 1													
percent of time (%)	Average	Number of Day	Discharge Q (m3/s)	Q/Qmax (%)	Turbine Efficiency	Generator Efficiency	Gearbox Efficiency	Area of Flow Duration Curve (Q x t)	Net head (m)	Total Eff.	Power (kW)	Annual Energy (kWh)	
0.00 - 20.00	20.0	73	2.04	100.00	0.91	0.950	1.000	3,570	134.9	0.868	2,341	4,101,799	
20.00 - 36.10	36.1	59	2.04	100.00	0.91	0.950	1.000	2,874	134.9	0.868	2,341	3,301,948	
36.10 - 41.10	38.6	18	1.82	89.17	0.93	0.950	1.000	796	134.9	0.880	2,116	926,686	
41.10 - 46.10	43.6	18	1.40	68.76	0.91	0.950	1.000	614	134.9	0.860	1,594	698,177	
46.10 - 51.10	48.6	18	1.04	50.82	0.85	0.950	1.000	454	134.9	0.803	1,100	481,898	
51.10 - 56.10	53.6	18	0.70	34.54	0.75	0.950	1.000	308	134.9	0.709	661	289,320	
56.10 - 61.10	58.6	18	0.44	21.40	0.00	0.950	1.000	191	134.9	0.000	-	-	
61.10 - 66.10	63.6	18	0.14	6.63	0.00	0.950	1.000	59	134.9	0.000	-	-	
66.10 - 71.10	68.6	18	0.00	0.00	0.00	0.950	1.000	-	134.9	0.000	-	-	
71.10 - 76.10	73.6	18	0.00	0.00	0.00	0.950	1.000	-	134.9	0.000	-	-	
76.10 - 77.06	76.6	4	0.00	0.00	0.00	0.950	1.000	-	134.9	0.000	-	-	
Days =		281								Annual Energy Production		9,799,827	
TOTAL ENERGI												28,185,053	
Inhouse 100 kVA phi 0.8												700,800	
Transmission Looses (1%)												281,851	
Annual Energy Sold												27,202,403	
Turbine efficiency depends on the ratio Q / Qmax													
>>> Data From Europe Turbine Manufacture													

Energy Calculation (Q31.5%) of PLTA LIKI UNIT BELANGIR													
Q max	=	3.70	m3/d	g	=	9.81	m3/detik	Eff total	=	0.8645	CF	=	66.55%
H gross	=	274.50	m	H netto	=	263.52	m	P	=	6259	kW		
Prob.	=	31.5	%										
UNIT - 2		Q rencana	1.40	m3/d		P2	=	3130	kW				
UNIT - 2													
percent of time (%)	Average	Number of Day	Discharge Q (m3/s)	Q/Qmax (%)	Turbine Efficiency	Generator Efficiency	Gearbox Efficiency	Area of Flow Duration Curve (Q x t)	Net head (m)	Total Eff.	Power (kW)	Annual Energy (kWh)	
0.00 - 70.00	70.00	256	1.40	100.00	0.91	0.950	1.000	8,587	263.52	0.868	3,143	19,274,544	
70.00 - 73.94	73.94	14	1.40	100.00	0.91	0.950	1.000	483	263.52	0.868	3,143	1,083,694	
73.94 - 80.00	76.97	22	1.30	92.66	0.92	0.950	1.000	689	263.52	0.878	2,944	1,563,701	
80.00 - 85.00	82.5	18	1.09	78.16	0.92	0.950	1.000	479	263.52	0.876	2,478	1,085,502	
85.00 - 90.00	87.5	18	0.88	62.48	0.88	0.950	1.000	383	263.52	0.840	1,900	832,138	
90.00 - 95.00	92.5	18	0.61	43.23	0.81	0.950	1.000	265	263.52	0.767	1,201	525,965	
95.00 - 100.00	97.5	18	0.14	9.72	0.00	0.950	1.000	60	263.52	0.000	-	-	
Days =		365								Annual Energy Production		24,365,545	
UNIT - 1		Q rencana	1.40	m3/d		P3	=	3130	kW				
UNIT - 1													
percent of time (%)	Average	Number of Day	Discharge Q (m3/s)	Q/Qmax (%)	Turbine Efficiency	Generator Efficiency	Gearbox Efficiency	Area of Flow Duration Curve (Q x t)	Net head (m)	Total Eff.	Power (kW)	Annual Energy (kWh)	
0.00 - 20.00	20.0	73	1.40	100.00	0.91	0.950	1.000	2,453	263.52	0.868	3,143	5,507,013	
20.00 - 31.50	31.5	42	1.40	100.00	0.91	0.950	1.000	1,411	263.52	0.868	3,143	3,166,532	
31.50 - 36.50	34.0	18	1.29	92.34	0.93	0.950	1.000	566	263.52	0.879	2,939	1,287,227	
36.50 - 41.50	39.0	18	1.03	73.26	0.92	0.950	1.000	449	263.52	0.869	2,305	1,009,804	
41.50 - 46.50	44.0	18	0.76	54.52	0.86	0.950	1.000	334	263.52	0.813	1,605	703,026	
46.50 - 51.50	49.0	18	0.53	38.15	0.78	0.950	1.000	234	263.52	0.740	1,022	447,445	
51.50 - 56.50	54.0	18	0.32	23.18	0.00	0.950	1.000	142	263.52	0.000	-	-	
56.50 - 61.50	59.0	18	0.16	11.32	0.00	0.950	1.000	69	263.52	0.000	-	-	
61.50 - 66.50	64.0	18	0.00	0.00	0.00	0.950	1.000	-	263.52	0.000	-	-	
66.50 - 71.50	69.0	18	0.00	0.00	0.00	0.950	1.000	-	263.52	0.000	-	-	
71.50 - 73.94	72.7	9	0.00	0.00	0.00	0.950	1.000	-	263.52	0.000	-	-	
Days =		270								Annual Energy Production		12,121,046	
TOTAL ENERGI												36,486,591	
Inhouse 100 kVA phi 0.8												700,800	
Transmission Looses (1%)												364,866	
Annual Energy Sold												35,420,925	
Turbine efficiency depends on the ratio Q / Qmax													
>>> Data From Europe Turbine Manufacture													

## DAFTAR ISI

<b>KONSEP DESAIN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1.Desain Dasar Sipil.....</b>	<b>2</b>
1.1.1.    Bangunan Pengelak.....	2
1.1.1.1.    Umum .....	2
1.1.1.2.    Debit Banjir Rencana Untuk Penentuan Kapasitas Bangunan Pengelak .....	2
1.1.1.3.    Saluran Pengelak.....	3
1.1.1.4.    Metoda Pelaksanaan Konstruksi Bangunan Pengelak .....	3
1.1.2.    Bendung .....	4
1.1.2.1.    Penentuan Tubuh Bendung.....	15
1.1.2.2.    Analisa Rembesan .....	15
1.1.2.3.    Metode Lane .....	16
1.1.2.4.    Metode Bligh.....	16
1.1.2.5.    Stabilitas Bendung.....	17
1.1.2.6.    Kondisi Desain .....	18
1.1.2.7.    Pembebanan .....	18
1.1.3.    Bangunan Pengambilan ( <i>Intake</i> ) .....	19
1.1.4.    Kantung Lumpur ( <i>Sandtrap</i> ) .....	21
1.1.5.    Saluran Pembawa Terbuka .....	27
1.1.6.    Headpond .....	30
1.1.7.    Stabilitas Anchor block .....	35
1.1.7.1.    Beban Akibat Inklinimasi Pipa .....	36
1.1.7.2.    Gaya Tekan Akibat Gaya Gesekan Aliran Air .....	37
1.1.7.3.    Gaya Sentrifugal Yang Bekerja Pada Belokan .....	37
1.1.7.4.    Resultan Gaya Tekanan Air Yang Bekerja Pada Belokan .....	38
1.1.8.    Saddle support.....	38

1.1.8.1	Beban Akibat Inklimnisi Pipa .....	39
1.1.8.2	Perhitungan Struktur Suddle Support .....	39
1.1.9.	Struktur Bangunan <i>Power House</i> .....	39
1.1.9.1	Umum .....	40
1.1.9.2	Material .....	42
1.1.9.3	Pembebanan .....	42
1.1.9.4	Kombinasi Pembebanan .....	44
1.1.9.5	Struktur Rangka Utama .....	44
1.1.9.6	Pemodelan Bangunan .....	44
1.1.9.7	Macam-Macam Pondasi .....	45
1.1.9.8	Daya Dukung Pondasi Dangkal .....	45
1.1.10.	Tailrace .....	51
1.1.10.1	Dimensi Tailrace .....	51
1.1.10.2	Saluran Pembuang .....	52
1.1.10.3	Stabilitas Dinding Bangunan .....	53
<b>1.2</b>	<b>Desain Konsep Metal .....</b>	<b>54</b>
1.2.1	Pipa Pesat .....	54
1.2.2	Pemilihan Diameter dan Ketebalan Pipa Pesat .....	55
1.2.3	Ketebalan Pipa Pesat .....	59
1.2.4	Pemeriksaan Terhadap Water Hammer .....	60
1.2.5	Perhitungan Kehilangan Energi Pipa Pesat .....	63
1.2.6	Stabilitas Blok Anchor .....	69
1.2.7	Saringan Sampah .....	70
1.2.8	Pintu Air .....	72
<b>1.3</b>	<b>Desain Konsep Pekerjaan Mekanikal .....</b>	<b>80</b>
1.3.1	Umum .....	80

1.3.2	Jumlah Unit Pembangkit.....	81
1.3.3	Turbin .....	81
1.3.3.1	Daya Turbin .....	81
1.3.3.2	Jenis Turbin.....	82
1.3.3.3	Kecepatan Putar Turbin.....	84
1.3.3.4	Dimensi Turbin dan Draft Tube.....	87
1.3.3.5	Pengaturan Setting Turbin .....	88
1.3.4	Main Inlet Valve .....	90
1.3.5	Governor .....	91
1.3.6	Peralatan Elektrikal.....	93
1.3.6.1	Sistem Instalasi Pembangkit.....	93
1.3.6.2	Transformer.....	93
1.3.6.3	Standar Yang Digunakan .....	94
1.3.6.4	Pemilihan Jenis Generator .....	95
1.3.6.5	Konstruksi Generator.....	97
1.3.6.6	Spesifikasi Generator .....	98
1.3.6.7	Pemilihan Transformator.....	104
1.3.6.8	Lain-Lain .....	105
1.3.7	Sistem Kontrol, Pengukuran dan Komunikasi .....	105
1.3.7.1	Sistem Kontrol .....	105
1.3.7.2	Sistem Pengukuran/Instrumentasi.....	107
1.3.7.3	Sistem Komunikasi.....	111
1.3.8	Perhitungan Energi .....	111

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Skema Penutupan Setengah Lebar Sungai .....	4
Gambar 1. 2 Harga-harga Koefisien C1 untuk Bendung Ambang Bulat sebagai Fungsi Perbandingan $H1/hd$ dan $P/hd$ .....	6
Gambar 1. 3 Harga –harga Koefisien Cz sebagai Fungsi Perbandingan $P/H1$ .....	7
Gambar 1. 4 Peredam Energi.....	10
Gambar 1. 5 Jari-jari minimum yang diijinkan.....	11
Gambar 1. 6 Tinggi muka air hilir minimum yang diijinkan .....	11
Gambar 1. 7 Potongan memanjang bendung.....	15
Gambar 1. 8 Skema Gaya yang Bekerja pada Bendung pada Kondisi Banjir .....	19
Gambar 1. 9 Skema Gaya yang Bekerja pada Bendung pada Kondisi Normal (dengan Gempa).....	19
Gambar 1. 10 Denah Bangunan Intake Bendung.....	20
Gambar 1. 11 Skema Sandtrap.....	21
Gambar 1. 12 Grafik Kecepatan Endap Terhadap Ukuran Partikel .....	22
Gambar 1. 13 Grafik Relasi Velikanov.....	22
Gambar 1. 14 Denah dan Potongan Melintang Kantong Lumpur.....	25
Gambar 1. 15 Skema Headpond .....	30
Gambar 1. 16 Grafik Kecepatan Endap Terhadap Ukuran Partikel .....	30
Gambar 1. 17 Grafik Relasi Velikanov.....	31
Gambar 1. 18 Denah dan Potongan Melintang Headpond .....	33
Gambar 1. 19 Anchor block dan saddle support .....	35
Gambar 1. 20 Saddle support .....	38
Gambar 1. 21 Pemodelan 3 Dimensi .....	44
Gambar 1. 22 Macam-macam Pondasi.....	45
Gambar 1. 23 Syarat pondasi Dangkal.....	45
Gambar 1. 24 Bentuk Keruntuhan Pondasi Dangkal .....	47

Gambar 1. 25 Pendistribusian Beban Pondasi .....	47
Gambar 1. 26 Faktor Daya Dukung Untuk General Shear Failure.....	49
Gambar 1. 27 Faktor Daya Dukung Untuk Lokal Shear Failure .....	49
Gambar 1. 28 Optimasi Penstock PLTA LIKI Unit Lambai 1 .....	57
Gambar 1. 29 Optimasi Penstock PLTA LIKI Unit Lambai 2.....	58
Gambar 1. 30 Optimasi Penstock PLTA LIKI Unit Belangir.....	58
Gambar 1. 31 Grafik Water Hammer Allievi.....	62
Gambar 1. 32 Dimensi trashrack headpond unit Lambai I .....	63
Gambar 1. 33 Koefisien Entrance Losses pada Mulut Penstock (Layman's Guide Book, 1998).....	64
Gambar 1. 34 koefisien losses pada belokan (bends) .....	66
Gambar 1. 35 koefisien losses pada belokan (bends)Tabel 1. 6 Ringkasan Perhitungan Head losses pada Pipa Pesat Lambai I .....	68
Gambar 1. 36. distribusi Tekanan Garis Air .....	75
Gambar 1. 37 Pintu Sorong.....	76
Gambar 1. 38 Grafik Pemilihan Turbin.....	83
Gambar 1. 39 Grafik konfigurasi turbin.....	84
Gambar 1. 40 Grafik Persamaan kecepatan spesifik Turbin (Hydropower Engineering, 1984) .....	85
Gambar 1. 41 Bilangan Thoma untuk berbagai sumber (Hydropower Engineering, 1984) .....	89

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Harga-harga Koefisien $K_a$ dan $K_p$ .....	7
Tabel 1. 2 Perhitungan Tinggi Muka Air di tiap unit PLTA Liki.....	8
Tabel 1. 3 Harga-harga Minimum Angka Rembesan Lane (CL) dan Bligh (C) .....	17
Tabel 1. 4 Tabel Kombinasi Pembebanan Struktur Baja Desain Elastis .....	44
Tabel 1. 5 Parameter penentuan diameter penstock .....	56
Tabel 1. 6 Ringkasan Perhitungan Head losses pada Pipa Pesat Lambai I .....	68
Tabel 1. 7 Ringkasan Perhitungan Head losses pada Pipa Pesat Lambai II .....	69
Tabel 1. 8 Ringkasan Perhitungan Head losses pada Pipa Pesat Belangir.....	69
Tabel 1. 9 Standar Dimensi Untuk Baja Profil C.....	77
Tabel 1. 10 Tabel Jenis Turbin Berdasarkan Head (m) .....	82
Tabel 1. 11 Tabel Jenis Turbin Berdasarkan Putaran Spesifik.....	83
Tabel 1. 12 Fungsi Jumlah Pole Generator (ESHA 2004).....	86