

**STUDI PEMBANGKITAN LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO PADA  
BENDUNG KAMBARA DI SUNGAI TIWORO  
KAB. MUNA SULAWESI TENGGARA**

**SKRIPSI**

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**ALWI**  
**NIM. 0310640005-64**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2009**

**STUDI PEMBANGKITAN LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO PADA  
BENDUNG KAMBARA DI SUNGAI TIWORO  
KAB. MUNA SULAWESI TENGGARA**

**SKRIPSI**

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**ALWI**

**NIM. 0310640005**

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

**Prof. Dr. Ir. Suhardjono, MPd., Dipl., HE**

NIP. 19460323 197009 1 001

**Ir. Ussy Andawayanti, MS**

NIP. 19610131198609 2 001

**STUDI PEMBANGKITAN LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO PADA  
BENDUNG KAMBARA DI SUNGAI TIWORO  
KAB. MUNA SULAWESI TENGGARA**

**SKRIPSI**

Disusun Oleh :

**ALWI**

**NIM. 0310640005**

Skripsi Ini Telah Diuji Dan Dinyatakan Lulus  
Pada Tanggal 10 September 2009

Dosen Penguji I,

**Dr. Ir. Rispiningtati, M.Eng**  
NIP. 19500907 197603 2 001

Dosen Penguji III,

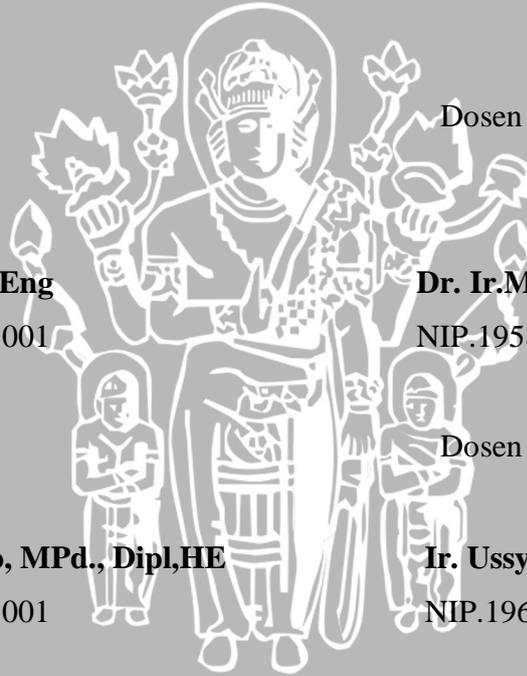
**Prof. Dr. Ir. Suhardjono, MPd., Dipl,HE**  
NIP. 19460323 197009 1 001

Dosen Penguji II,

**Dr. Ir. Muhamad Bisri, MS**  
NIP. 19581126 198609 1 001

Dosen Penguji IV,

**Ir. Ussy Andawayanti, MS**  
NIP. 19610131 198609 2 001



Mengetahui

Ketua Jurusan Pengairan,

**Ir. Dwi Priyantoro, MS**

NIP. 19580502 198503 1 001

## KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim

Asalamu'alaikum Wr. Wb.

*Alhamdulillahilahi rabbil"* alamin, Puji dan Syukur kehadirat ALLAH, SWT. yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahnya serta memberikan kekuatan, petunjuk dan kemudahan, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.

Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu persyaratan akademis pada Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang untuk memperoleh derajat gelar Sarjana Teknik.

Peneliti menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak akan dapat terselesaikan tanpa bantuan, bimbingan, serta pengarahan dari berbagai pihak. Untuk itu dengan segala kerendahan hati peneliti ingin mengucapkan terimah kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr Ir. Suhardjono. MPd. Dipl. H.E. selaku guru besar Fakultas Teknik Pengairan dan sebagai pembimbing I dalam studi ini.
2. Ir. Ussy Andawayanti, MS. selaku dosen pembimbing II dalam studi ini.
3. Ir. Dwi Priyantoro, MS. selaku Ketua Jurusan Teknik Pengairan.
4. Ayah dan ibu tercinta serta adik-adik dan saudara-saudara atas Do`a restu serta dukungan baik moril maupun materil sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
5. Teman-teman kost 43. kertorahayu. (Bayu, Bondan, Nendar, Wahyu, Irung). dan yang tidak disebutkan satu persatu.

Semoga, diberikan berkah dan balasan dari ALLAH SWT. Penyusun menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca pada umumnya, dan bagi Pemda Kab. Muna pada khususnya.

Wassalamu'alaikum Wrh. Wbr.

Malang, November 2009

Penyusun

## ABSTRAKSI

ALWI; Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang Jawa Timur, September 2009;

“*Studi Pembangkitan Listrik Tenaga Mikrohidro pada Bendung Kambara di Sungai Tiworo Kabupaten Muna Sulawesi Tenggara*”.

Dosen Pembimbing, (1). Prof. Dr. Ir. Suhardjono, MPd., Dipl., H.E. Dosen Pembimbing, (2). Ir. Ussy Andawayanti, MS.,

**Kata kunci: Debit air, Tinggi jatuh efektif, Pipa pesat, Pukulan air, Turbin air, Generator, Daya, Energi, Biaya perencanaan.**

Kebutuhan akan energi listrik dari tahun-ketahun semakin meningkat, tetapi penyediaanya belum terpenuhi. wilayah Indonesia banyak memiliki potensi untuk pengembangan energi listrik, salah satu adalah adanya Pembangkit Listrik Tenaga Air Mikrohidro. di Kabupaten Muna. dimana pada wilayah ini terdapat Bendung dengan nama Bendung Kambara yang dapat digunakan sebagai sumber daya energi listrik. dengan membangun pembangkit listrik tenaga mikrohidro, di wilayah tersebut tidak terjadi lagi krisis listrik.

Dalam menentukan besaran dan satuan, kajian studi kelayakan ini digunakan data-data dan nilai-nilai yang diperoleh dari Diknas Pengairan Propinsi dan *PT.Bantardawa Consult* pada tahun anggaran, (1992/1993). *Pekerjaan pengukuran dan perencanaan jaringan Irigasi Kambara*, dari pengembangan pekerjaan tersebut diperoleh kesimpulan tentang data-data dan satuan-satuan sebagai berikut; Debit yang dihasilkan =  $28.607 \text{ m}^3/\text{dtk}$  sehingga presentasi debit dipakai 90%. Setelah diperoleh nilai debit, kemudian saluran pembawa dipakai satuan nilai dari perencanaan sebelumnya dengan kecepatan air di saluran =  $0.65 \text{ m/dtk}$ , Kehilangan tinggi tekan =  $1.3 \text{ m}$ . Tinggi jatuh efektif =  $9.91 \text{ m}$  termasuk tinggi jatuh menengah, sehingga turbin yang dipilih adalah turbin Kaplan. Untuk nilai daya, dibagi beberapa alternatif pertama daya teoritis didapat sebesar =  $2502.98 \text{ kWh}$ . daya turbin diperoleh sebesar =  $2224.8716 \text{ kWh}$ . daya generator diperoleh sebesar =  $2000.36 \text{ kWh}$  maka total keseluruhan daya dari satuan unit pembangkit sebesar =  $6728.212 \text{ kWh}$ . Sedangkan energi yang diperoleh setiap tahun =  $2.2 \cdot 10^6 \text{ mWh}$ . Maka biaya pembangunan diestimasi sebesar = Rp.  $1.038.351.572.$ , hasil studi yang dilakukan dengan membandingkan pada bagian teori dapat disimpulkan bahwa Bendung Kambara tersebut dapat digunakan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro.

DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b>	i
<b>ABSTRAKSI</b>	ii
<b>DAFTAR ISI</b>	iii
<b>DAFTAR TABEL</b>	vi
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	vii
<b>DAFTAR GRAFIK</b>	viii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	ix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1.Latar Belakang Masalah	1
1.2.Identifikasi Permasalahan	2
1.3.Batasan Masalah	3
1.4.Rumusan Masalah	3
1.5.Tujuan dan Manfaat	3
<b>BAB II LANDASAN TEORI</b>	
2.1.Umum	5
2.2.Pusat Listrik Tenaga Mikrohidro	5
2.2.1.Perkembangan Pusat Listrik Tenaga Mikrohidro	5
2.2.2.Dasar-Dasar Perencanaan PLTA Mikrohidro	6
2.3.Beban Listrik	7
2.4.Debit Andalan	7
2.4.1.Distribusi Frekuensi	8
2.5.Saluran Pembawa	9
2.6.Kolam Penampungan Harian	9
2.6.1.Penentuan Volume Kolam Penampung Harian	9
2.7.Kehilangan Tinggi	10
2.8.Tinggi Jatuh Efektif	13
2.9.Pukulan Air ( <i>water hammer</i> )	14
2.9.1.Penutupan Katup Secara Cepat	15
2.9.2.Penutupan Katup Perlahan-lahan	15
2.10.Pipa Pesat ( <i>penstock</i> )	16
2.11.Turbin Air	17



2.11.1.Penentuan Tipe Turbin	17
2.11.2.Karateristik Turbin	19
2.11.3.Dimensi Turbin	22
2.12.Kavitasi	22
2.13.Generator	25
2.13.1.Klasifikasi Generator	25
2.13.2.Daya Generator	25
2.13.3.Efek Roda Gila	26
2.13.4.Berat Generator Turbin Air	26
2.14.Perhitungan Daya Dan Energi	26
2.14.1.Macam Daya Yang Dihasilkan	27
2.14.2.Perhitungan Energi Listrik	27
2.15.Analisa Biaya Perencanaan	28

### **BAB III METODE KAJIAN**

3.1.Letak Adimistrasi Sungai Tiworo	30
3.2.Karateristik Sungai Tiworo	30
3.3.Iklim dan Hidrologi	31
3.4.Geologi dan Topografi	32
3.5.Tanah	32
3.6.Data Debit	32
3.7.Jenis Penggunaan Lahan & Vegetasi	34
3.8.Penduduk dan Budaya	35
3.9.Listrik dan Air Minum	35
3.10.Rencana Pemecahan Masalah	36
3.11.Data Pendukung Kajian	36
3.12.Langkah-Langkah Pengerjaan Skripsi	37
3.13.Pengolahan Data	37

### **BAB IV PERENCANAAN PLTM**

4.1.Umum	38
4.2.Debit Pembangkit PLTMH	38
4.3.Distribusi Frekuensi	38
4.4.Saluran Pembawa	39
4.5.Kolam Penampung Harian	40
4.6.Perhitungan Kehilangan Tinggi	41

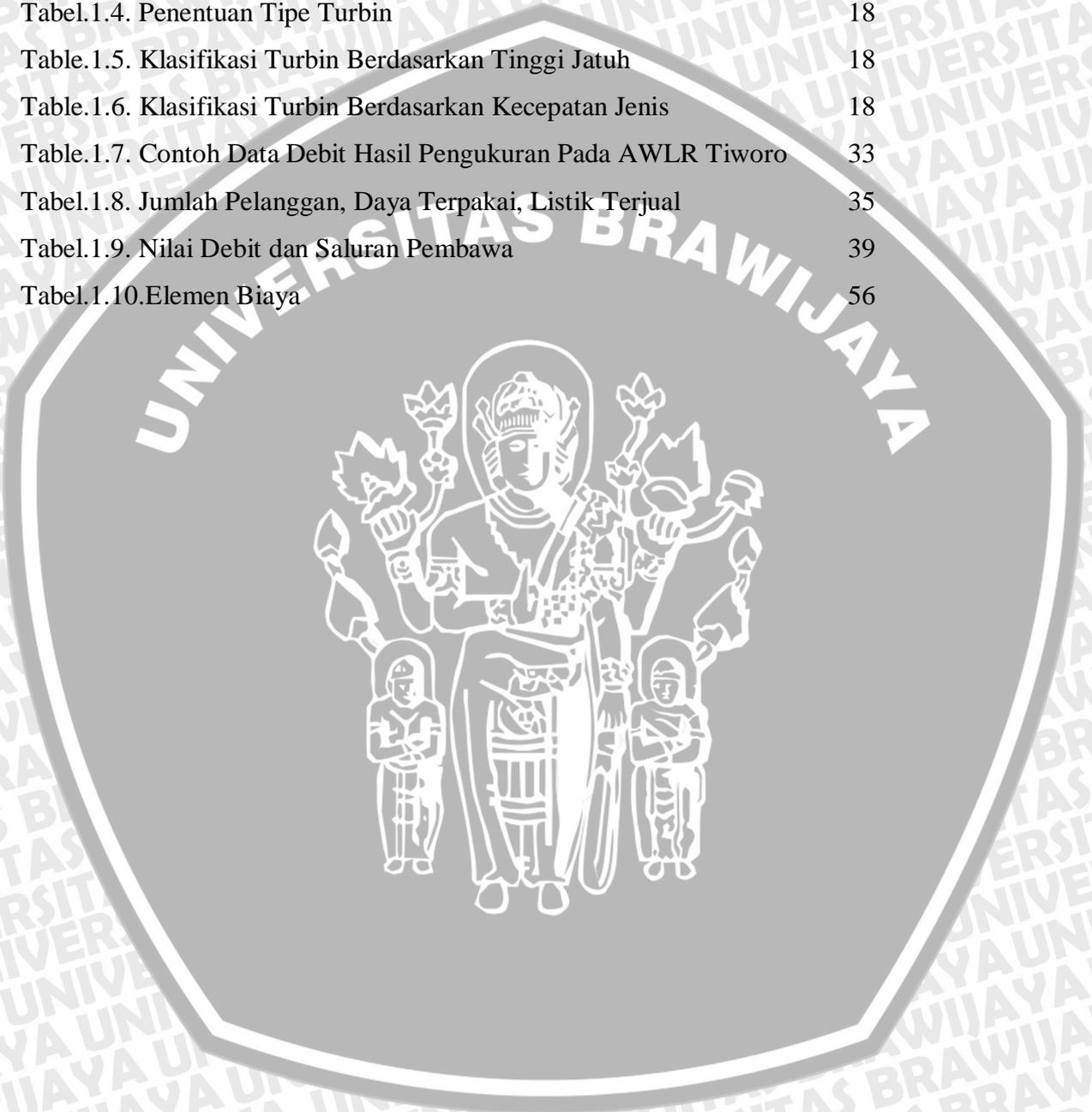


4.6.1.Kehilangan Tinggi Pada Terowongan Tekan	41
4.7.Perhitungan Tinggi Jatuh Efektif	43
4.8.Pukulan Air ( <i>Water Hammer</i> )	44
4.8.1.Penutupan Katup Secara Cepat	44
4.9.Pipa Pesat	45
4.10.Turbin Air	45
4.10.1.Penentuan Tipe Turbin	45
4.10.2.Karakteristik Turbin	46
4.10.3.Dimensi Turbin	47
4.11.Kavitasi	48
4.12.Bangunan Pelengkap Pada Turbin	49
4.13.Generator	50
4.13.1.Klasifikasi Generator	50
4.13.2.Daya Generator	51
4.13.3.Efek Roda Gila	51
4.13.3.Berat Generator	52
4.14.Perhitungan Daya	52
4.15.Energi Listrik	53
4.16.Analisa Biaya Perencanaan	53
<b>BAB V KESIMPULAN dan SARAN</b>	
5.1.Kesimpulan	57
5.2.Saran	57
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	58



## DAFTAR TABEL

Tabel.1.1. Presentase Debit dan Jenis Perencanaan	8
Tabel.1.2. Koefisien Kehilangan Tinggi Untuk Katup Sambungan	13
Table.1.3. Persamaan Untuk Diameter Pipa Pesat	16
Tabel.1.4. Penentuan Tipe Turbin	18
Table.1.5. Klasifikasi Turbin Berdasarkan Tinggi Jatuh	18
Table.1.6. Klasifikasi Turbin Berdasarkan Kecepatan Jenis	18
Table.1.7. Contoh Data Debit Hasil Pengukuran Pada AWLR Tiworo	33
Tabel.1.8. Jumlah Pelanggan, Daya Terpakai, Listik Terjual	35
Tabel.1.9. Nilai Debit dan Saluran Pembawa	39
Tabel.1.10. Elemen Biaya	56



## DAFTAR GAMBAR

Gambar.1.1. Bentuk Gedung Sentral PLTM	6
Gambar.1.2. Bentuk-Bentuk Katup Pada Turbin	13
Gambar.1.3. Pemasangan Pipa Pesat	17
Gambar.1.4. Bentuk Turbin Pleton dan Pemasanganya	19
Gambar.1.5. Bentuk Turbin Francis Aliran Diagonal	19
Gambar.1.6. Bentuk Kecepatan Spesifik dan Nilai Satuan Dayanya	20
Gambar.1.7. Bentuk Pemasangan Turbin Pleton dan Nilai kecepatanya	21
Gambar.1.8. Bentuk Turbin Francis dan Kecepatan Putarnya	21
Gambar.1.9. Bentuk Turbin Kaplan dan Kecepatan Putarnya	21
Gambar.1.10. Skema Perletakan Pipa dan Gedung Sentral Serta Peralatan Lainnya	23
Gambar.1.11. Turbin dan Generator	25



## DAFTAR GRAFIK

Grafik. 1.1. Lengkung Beban Harian Suatu Jaringan Daya Listrik	7
Grafik. 1.2. Koefisien Bentuk Intake	11
Grafik. 1.3. Hubungan Antara $\delta$ dan $N_s$	24



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran.1.Data Curah Hujan Tahunan	60
Lampiran.2.Data Klimatologi	73
Lampiran.3.Data Kelembaban Relatif	74
Lampiran.4.Lama Penyinaran Matahari	75
Lampiran.5.Kecepatan Angin	76
Lampiran.6.Data Stabilitas Dimensi Bangunan Bendung Kambara	77
Lampiran.7.Dimensi Saluran Pembawa Daerah Irigasi Kambara	78
Lampiran.8.Tabel Pola Operasi PLTAM Bendung Kambara	79
Lampiran.9.Hidrograf Inflow	80
Lampiran.10.Lengkung Kapasitas Bendung	81
Lampiran.11.Skema PLTA Mikrohidro Perencanaan	82
Lampiran.12.Skema Penempatan PLTAM Bendung Kambara	83
Lampiran.13.Peta Administrasi Kabupaten Muna	84
Lampiran.14.Laporan Design Saluran dan Bangunan. <i>pt. Bantardawa Konsult</i>	85



**DAFTAR PUSTAKA**

- Anonim,1984. *Standar Kualitas Air*. Module Directorate of Water Supply
- Arismunandar, Artono. & Kuwahara. 1975. *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik Jilid 1*, Paradnya Paramita: Jakarta
- Chow, V. 1992. *Hidrolika Saluran Terbuka*, Erlangga: Jakarta
- Dake.1985. *Hidrolika Teknik*, Erlangga: Jakarta
- Sosrodarsono. 1989. *Perhitungan Biaya Pelaksanaan Pekerjaan Dengan Menggunakan Alat-Alat Berat (FC)*, Departemen Pekerjaan Umum: Jakarta
- \_\_\_\_\_.2007. *Pengukuran Debit Sungai Tiworo*, Dinas PU. Pengairan Propinsi Sulawesi Tenggara
- Electric Power, Development Co. *Outline of desaign and construction of Concrete Dam*, makalah dipresentasikan di Tokyo
- Hwang. 1981. *Desain Beton Bertulang*, Erlangga: Jakarta
- Hasen. 1993. *Field Enginering*. John Wilye and sons
- Kodoatie.1995. *Analisis Ekonomi Teknik*. Andiofsnet: Jakarta
- Kadariah.1979. *Pengantar Eekonomi Proyek*, Fakultas Ekonomi: UI
- Linsley, Ray.K & Joseph. B. Franzini. 1989. *Teknik Sumber Daya Air Jilid I* Erlangga: Jakarta
- \_\_\_\_\_.2003. *Katalog BPS Kecamatan Tikep dalam Angka 2005/2006*: Sulawesi Tenggara
- Luknanto, Djoko. *Turbin Air*, Diktat Kuliah.
- Dandekar, M.M. & Sharma, KN. 1979. *Pembangkit Listrik Tenaga Air*, Jaipur: India
- Paty, OF.1995. *Tenaga Air*, Erlangga: Jakarta
- \_\_\_\_\_.PT.Bantardawa Consult. 1992. *Laporan Desain Saluran dan Bangunan Daerah Irigasi Kambara*: Bandung
- \_\_\_\_\_. 2003 P T. Lumada Sapt Mitra: Jakarta
- Raju, Ranga. 1986. *Aliran Melalui Saluran Terbuka*. Erlangga: Jakarta
- Sularso. 1983. *Pompa dan Kompresor*, Pradnya Paramita: Jakarta
- Soedibyo. 1990. *Teknik Bendungan*: Yogyakarta
- Soemarto,CD.1987. *Hidrologi Teknik*: Usaha Nasional Surabaya Indonesia
- Supli, ER. 2003. *Pengendalian Erosi Tanah Dalam Rangka Pelestarian Lingkungan Hidup*, Bumi Aksara: Jakarta
- Varshney.1977. *HidroPower*, Nemchand: London.
- Weber, N.B.1971. *FluidMechanics for Civil Engginers*, Champman & Hall: London

## MOTTO

”Kesabaran itu akan menolong segala pekerjaan kita, sebesar apa kesabaran kita sebesar itu pula keberuntungan kita”

”Apabila kamu mengalami kegagalan janganlah terus berputus asa akan tetapi gunakanlah kegagalan itu untuk terus menyalakan api semangat juangmu demi lekas tercapai cita-citamu yang luhur”

”Berikan aku sepuluh pemuda yang berkobar jiwanya aku akan mengguncang dunia”

”Hidup cuman sekali manfaatkanlah waktu seefisien mungkin”

”Utak atiklah hal yang sepele saat hal yang besar engkau akan mengobrak abriknya”



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang Masalah

Wilayah Indonesia memiliki 6% persediaan air dunia atau 21% dari air Asia-Pasifik. Namun, pada kenyataannya di Negara kita masih banyak terdapat masalah klasik yang berkaitan dengan air, seperti jika air berlimpah akan mengakibatkan banjir sedangkan jika air tersedia dalam jumlah yang kecil akan mengakibatkan beberapa daerah mengalami kekeringan.

Air melimpah selayaknya bersyukur dan mengelolanya sedemikian rupa untuk kesejahteraan umat manusia. Kondisi ini terjadi di Kabupaten Muna khususnya di Kecamatan Tikep dimana daerah ini memiliki sungai yang berpotensi untuk dijadikan sebagai sumber tenaga listrik mikrohidro karena di dukung oleh bentuk topografi yang beraneka ragam dari berbukit sampai lereng yang dapat memberikan tampungan air yang lebih, curah hujan yang tinggi, serta sumber mata air yang berasal dari dalam bumi dan menjadikan sungai ini tidak akan pernah kering sepanjang tahun.

Energi listrik merupakan kebutuhan mutlak bagi aktivitas keseharian masyarakat, terutama untuk kebutuhan rumah tangga, sektor usaha dan industri. Sehingga permintaan akan pembangkit tenaga listrik sangat besar. Adapun salah satu pembangkit tenaga listrik tersebut adalah tenaga air.

Tenaga air merupakan sumber daya terpenting setelah tenaga uap dan panas. Hampir 30% dari kebutuhan tenaga di dunia dipenuhi oleh pusat-pusat listrik tenaga air (Dandekar dan Sharma, 1991). Namun demikian, masih banyak sekali negara-negara yang memiliki potensi air yang besar namun belum dimanfaatkan secara maksimal.

Tenaga air merupakan sumber energi primer yang terbarukan dan merupakan sumber energi domestik serta ramah lingkungan. Pemanfaatan tenaga air untuk pembangkit tenaga listrik adalah dengan membangun Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) untuk skala besar atau membangun Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) untuk skala menengah dan kecil serta Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro, (PT. Lumada sapt mitra, 2003)

Sampai saat ini, pembangkit listrik dengan tenaga air merupakan pembangkit yang paling ekonomis (Patty,1995;134). Karena dengan dioptimalkannya penggunaan tenaga air untuk membangkitkan tenaga listrik maka dapat menekan penggunaan bahan bakar minyak yang harganya cenderung meningkat dan juga cadangannya semakin kecil. (PT. Lumada sapta mitra,2003).

Di wilayah Kabupaten Muna selama ini sumber tenaga listrik masih menggunakan bahan bakar dari fosil yang membuat masyarakat kewalahan. Padahal ditinjau dari segi kekayaan alamnya air di wilayah ini sangat tidak terbatas. Pada saat musim hujan yang berkepanjangan, banjir akan menggenangi daerah pemukiman di empat Desa yang berada di sepanjang sungai, yaitu Desa Marobe, Wandoke, Wado, Lasama. Akibatnya, kerugian yang dihasilkan cukup besar sehingga daerah tersebut sangat perlu diamankan dengan memanfaatkan debit sebagai pembangkit listrik tenaga mikrohidro.

Berdasarkan uraian diatas maka diperlukan suatu kajian studi sebagai usaha untuk memanfaatkan kekayaan alam tersebut agar dapat memberikan kesejahteraan bagi masyarakat khususnya di Kabupaten Muna

## 1.2. Identifikasi Permasalahan

Salah satu permasalahan yang terjadi pada DAS Tiworo adalah sungai yang sepanjang tahun kondisi alirannya tetap. Debitnya tetap dan jika musim hujan akan meluap dan menenggelamkan areal disekitarnya. Selain itu dari segi kehidupan dimasyarakat masih banyak yang membutuhkan listrik

Kondisi sungai Tiworo bersumber dari mata air di kaki bukit. Letak sungai tersebut adalah di Desa Barangka, melewati bukit menuju dataran rendah. Air yang sepanjang tahun tidak akan pernah kering ini, sangat berpotensi untuk di adakan studi kelayakan oleh pemerintah daerah sebagai alternatif sumber tenaga listrik, khususnya di kecamatan Lawa dan kecamatan Tikep, yang mana daerah ini sementara menyiapkan diri untuk menjadi satu kabupaten baru yakni kabupaten Muna Barat. Selama ini daerah semestinya memperhatikan kehidupan rakyat mulai dari sumber energi maupun kebutuhan lainnya.

Beberapa kriteria yang dapat mendukung kajian studi kelayakan sungai Tiworo sebagai sumber tenaga listrik adalah sebagai berikut:

1. Adanya Bendung Kambara yang memiliki ketinggian 7 meter dan kecepatan aliran di intake mencapai 8 m/s
2. Sungai dengan aliran arus bebas, jika diadakan tampungan akan menimbulkan tekanan lebih tinggi
3. Debit sungai 14.037 m<sup>3</sup>/dtk
4. Sungai sangat panjang dan berkelok-kelok
5. Topografi berbukit, dan memiliki kemiringan antara 8-20%
6. Kondisi masyarakat yang masih kekurangan listrik

### 1.3. Batasan Masalah

Permasalahan yang terjadi pada DAS Tiworo sangat kompleks, maka kajian ini dibatasi untuk menitik beratkan kajian pada pengelolaan sumberdaya air berdasarkan latar belakang masalah dan identifikasi masalah di atas maka batasan masalah pada kajian ini adalah:

1. Lingkup studi dilakukan di Bendung Kambara kecamatan Tikep Kabupaten Muna.
2. Analisa data *outflow* bendung sebagai debit untuk pembangkit tenaga mikrohidro.
3. Analisa tinggi jatuh untuk menentukan tinggi jatuh efektif sehingga didapatkan nilai daya dan energi.
4. Analisa hidrolika yang meliputi terowongan tekan, pipa pesat, dan pukulan air.
5. Analisa ekonomi dengan menghitung BCR dan IRR
6. Tidak membahas AMDAL

### 1.4. Rumusan Masalah

Berdasarkan batasan masalah di atas, maka permasalahan pada kajian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Berapa besar debit andalan yang dapat digunakan ?
2. Berapa besar kehilangan energi total yang terjadi pada pipa pesat ?
3. Berapa tinggi jatuh efektif yang digunakan ?

4. Berapa besar daya yang dihasilkan ?
5. Berapa biaya yang dibutuhkan untuk pembangunan PLTMH ?

### 1.5. Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari studi ini adalah mengelola kekayaan alam untuk kesejahteraan umat manusia. Yaitu untuk menambah daya listrik pada bendung Kambara yang selama ini hanya sebagai suplai air irigasi.

Manfaat yang diharapkan dari kajian ini adalah memberikan masukan kepada pemerintah daerah mengenai adanya kekayaan alam yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber tenaga listrik untuk menanggulangi krisis listrik dimasyarakat setempat khususnya Kabupaten Muna.



## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1. Umum

Suatu perencanaan pusat listrik tenaga mikrohidro tolak ukur utamanya adalah besarnya Debit dan Tinggi Jatuh yang dapat dihasilkan Oleh karena itu, dalam studi tentang Pembangkit Listrik Tenaga Air harus memperhatikan kedua hal dimaksud Secara umum studi ini merupakan suatu bagian analisa awal dalam kegiatan perencanaan sumberdaya air Pengertian yang terkandung di dalamnya adalah bahwa informasi dan besaran-besaran yang diperoleh dalam studi ini merupakan masukan penting dalam studi-studi selanjutnya.

#### 2.2. Pusat Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).

##### 2.2.1 Perkembangan Pusat Listrik Tenaga Mikrohidro

Akhir-akhir ini di dunia termasuk negara-negara maju, memperhatikan pembangunan PLTA Mikrohidro berkapasitas kecil. Pembagian PLTA Mikrohidro pada umumnya adalah sebagai berikut. (Patty,1995:134).

- PLTA Mikro < 100 kW
- PLTA Mini 100 - 999 kW
- PLTA Kecil 1000 - 10.000 kW

Dengan kemajuan teknik, Tinggi jatuh (H) = 1-1,5m dapat digunakan dan kapasitas turbin dapat dibuat 4-5 kW. Salah satu sebab bagi negara-negara maju memperhatikan pembangunan PLTA Mikrohidro berkapasitas kecil adalah harga minyak OPEC yang terus meningkat, di samping bertambahnya kebutuhan listrik. Sampai sekarang ini, pembangkitan listrik dengan tenaga air merupakan pembangkitan yang paling ekonomis, sehingga potensi tenaga air perlu dimanfaatkan. Di negara maju pun potensi tenaga air mikrohidro belum terlalu banyak dimanfaatkan, sedangkan untuk daerah-daerah terpencil pembangkitan listrik dengan PLTA Mikrohidro masih lebih menguntungkan bila dibandingkan dengan menghubungkan daerah setempat dengan hantaran tegangan tinggi dari sentral listrik yang besar.

Di Indonesia salah satu program pemerintah adalah listrik masuk desa. Untuk desa terpencil dan di daerah pegunungan, pembangunan PLTMH Mikrohidro merupakan salah satu jawaban atas program pemerintah tersebut

karena menghubungkan desa ini dengan hantaran tegangan tinggi tidaklah ekonomis.

### 2.2.2. Dasar-Dasar Perencanaan PLTA Mikrohidro

Dalam perencanaan PLTA Mikrohidro berkapasitas kecil termasuk PLTA Mikrohidro, diantaranya terdiri dari:

- a. Bendung dan tempat pemasukan
- b. Saluran dan pipa pesat
- c. Gedung sentral beserta alat elektro-mekanik
- d. Saluran pembuangan

Untuk memperkecil biaya pembangunan, kecuali dengan memakai bahan setempat PLTA Mikrohidro umumnya dapat direncanakan dengan kondisi sebagai berikut:

- a. Air langsung masuk pipa pesat, sehingga tidak memerlukan saluran dari tempat pemasukan ke pipa pesat,
- b. Langsung menggunakan beda tinggi muka air, tanpa pipa pesat, dan tanpa rumah spiral, dan
- c. Penempatan satu atau maksimal dua unit untuk memperkecil biaya pembangunan gedung sentral.



Gambar 1.1 Bentuk Gedung Sentral PLTM

Sumber: [www.Hidrolink.com](http://www.Hidrolink.com), *Hydrohrom*.

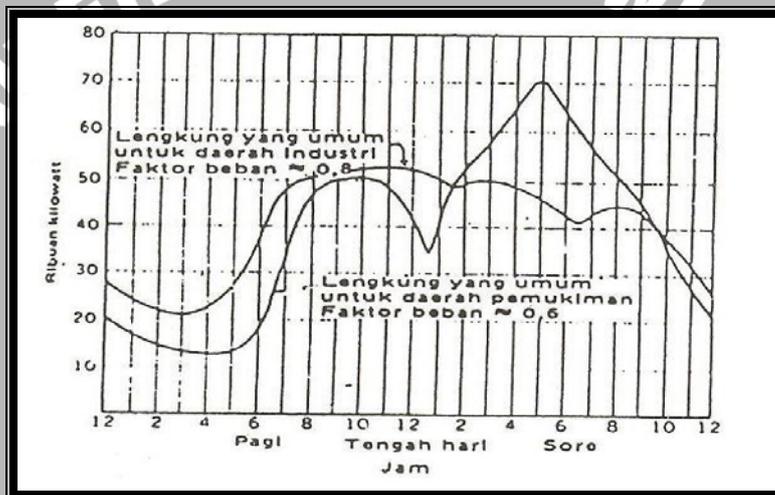
Untuk tempat-tempat yang memiliki potensi tenaga air yang tidak begitu besar dapat didirikan suatu pembangkit tenaga listrik dengan daya yang kecil, menurut pembagian kapasitas pembangkit listrik tenaga air dapat dikelompokkan dalam empat macam, yaitu (Patty, 1995: 35):

1. PLTA mikro; daya antara 2 - 200 kW
2. PLTA kapasitas rendah; daya antara 200 – 1000 kW

3. PLTA kapasitas sedang; daya antara 1000 – 9999 kW
4. PLTA kapasitas besar; daya 10000 kW ke atas.

### 2.3. Beban Listrik

Banyaknya beban yang dipergunakan pada berbagai jam pada satu hari akan sangat bergantung sekali pada kebutuhan konsumsi. Pada jam tertentu pada satu hari, maka akan tercapailah kebutuhan nilai yang tertinggi yang disebut sebagai beban puncak. Grafik 1.1 menunjukkan lengkung beban harian yang umum untuk suatu jaringan daya listrik (Linsley 1991:161) dari lengkung beban maka menjadi mungkin untuk menentukan rata-rata beban dan juga beban maksimal (*puncak*) pada setiap saat. Pertimbangan perbandingan dari beban pokok terhadap beban puncak dapat di ketahu sebagai faktor beban. (Dandekar, 1991:107).



Grafik: 1.1. Lengkung Beban Harian Suatu Jaringan Daya Listrik

Sumber: Linsley, 1991:161

### 2.4. Debit Andalan

Debit andalan di defenisikan sebagai debit yang tersedia guna keperluan tertentu misalnya untuk keperluan irigasi, PLTA, PDAM. dan lain-lain sepanjang tahun, dengan resiko kegagalan yang telah di perhitungkan. Misalnya ditetapkan debit andalan 80% berarti akan dihadapi resiko adanya debit yang jauh lebih kecil dari debit andalan adalah 20% dari pengamatan yang dilakukan (CD. Soemarto, 1986: 214). Dalam perencanaan proyek-proyek PLTM perhitungan debit andalan (*dependable discharge*). Pada saat awal dimaksudkan guna menentukan debit perencanaan yang diharapkan tersedia di sungai untuk memperkirakan besarnya kapasitas terpasang. Besarnya

debit andalan yang diambil untuk penyelesaian optimum penggunaan air di beberapa macam proyek adalah sebagai berikut, (CD. Soemarto, 1986: 214).

Tabel: 1.1. Presentase Debit dan Jenis Perencanaan

No	Jenis Perencanaan	Persen Debit
1.	Penyediaan air minum	99%
2.	Penyediaan air industri	95 – 98%
3.	Penyediaan air irigasi untuk:	
	a. Daerah beriklim setenga lembab	70 – 85%
	b. Daerah beriklim kering	80 – 95%
4.	Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA)	85 – 90%

Sumber: C.D. Soemarto, 1986: 214

### 2.4.1. Distribusi Frekuensi

Analisis frekuensi dalam kajian ini dilakukan dengan metode distribusi frekuensi guna pembuatan lengkung durasi aliran dan penentuan debit andalan dengan mengelompokan data-data pengamatan dalam kelas-kelas dengan interval tertentu, biasanya dengan lebar yang sama dan mencatat banyaknya pengamatan dalam masing-masing interval.

Distribusi frekuensi tersebut dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Penentuan jumlah kelas yang umumnya tergantung pada pertimbangan-pertimbangan praktis yang masuk akal dari pengolahan data. Rumus umum yang digunakan untuk menentukan jumlah kelas yaitu: (Anto Dayan, 1972:75):

$$K = 1 + 3.3322 \times \text{Log}n \tag{2.1}$$

Dimana:

K = jumlah kelas

n = jumlah data

2. Hitung besarnya interval dalam tiap-tiap kelas yaitu dengan membagi selisih antara data tertinggi dengan data yang terkecil dengan jumlah kelas (Anto Dayan, 1972:76).

$$I = \frac{Q_{maks} - Q_{min}}{K} \tag{2.2}$$

3. Berdasarkan jumlah kelas dan interval kelasnya maka disusun tabel distribusi frekuensinya dengan mengurutkan data dari kelas terbesar sampai kelas terkecil.
4. Hitung frekuensi kejadian dari masing-masing kelas.
5. Hitung nilai absolut mulai dari kelas terbesar sampai kelas terkecil.
6. Hasil perhitungan pada tabel distribusi frekuensi tersebut dapat di plotkan pada grafik untuk menggambarkan lengkung durasi alirannya.

### 2.5 . Saluran Pembawa

Dari intake sampai dengan kolam penampungan terdapat saluran pembawa. Saluran pembawa direncanakan dengan memakai saluran terbuka. Dimensi saluran ditentukan dengan menggunakan persamaan Maning (Rangga Raju, 1986: 38):

$$U = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \tag{2.3}$$

Dimana:

U = Kecepatan aliran (m/dtk)

R = Jari-jari hidrolis (m)

S = Kemiringan saluran

n = Koefisien Manning ( m/dtk)

Saluran dibuat dari pasangan batu maka diambil harga n adalah sebesar 0,025 (Chow, 1992: 100) dan Z = 1:1.

$$Q = V \cdot A$$

$$V = (1/n) \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \cdot A \tag{2.4}$$

### 2.6 . Kolam Penampungan Harian (KPH)

Kolam penampungan harian (KPH) berfungsi sebagai kolam pengatur yang menampung air sementara bila beban pembangkit berkurang dan menyediakan air untuk peningkatan awal bila beban bertambah (Linsley,1991: 165). Air yang disalurkan sebagai aliran tekan (*presurre flow*) yang masuk ke pipa pesat menuju turbin kadang-kadang disimpan di kolam pada saat penolakan beban oleh turbin dan kemudian ditarik kembali dari kolam bila beban ditingkatkan. Jadi KPH juga bertindak sebagai suatu pengatur persediaan air/ kolam pengatur (Dandekar, 1991: 365).

### 2.6.1 Penentuan Volume Kolam Penampungan Harian (KPH)

Dalam merencanakan suatu kolam penampungan harian (KPH) maka langkah awal yang harus dilakukan adalah mengetahui pola operasi dari PLTMH tersebut. Hal ini akan digunakan untuk memperkirakan berapa volume (*kapasitas*) KPH yang harus disediakan. Berdasarkan debit andalan yang dihitung sebagai debit masukan dan pola operasi PLTA, maka dapat ditentukan volume kapasitas tampungan KPH yang harus disediakan untuk keperluan operasi beban puncak. Volume kolam penampungan harian ini dapat ditentukan dengan persamaan (Arismunandar, 1988: 22).

$$V_{KPH} = (Q_{Puncak} - Q_{INFLOW} \times t \times 3600 \quad 2.5$$

Dimana:

$V_{KPH}$  = Volume penampung harian yang harus disediakan ( $m^3$ )

$Q_{Puncak}$  = Debit pembangkit dan operasi beban puncak ( $m^3/dtk$ )

$Q_{Inflow}$  = Debit rata-rata harian ( $m^3/dtk$ ).

$t$  = Lamanya operasi beban puncak (jam)

### 2.7. Kehilangan Tinggi

Persamaan umum kehilangan tinggi tekan adalah sebagai berikut

(Linsley, 1985: 307):

$$hl = k \times \frac{v^2}{2g} \quad 2.6$$

Dimana :

$hl$  = jumlah kehilangan tinggi (m)

$k$  = nilai koefisien kehilangan tinggi

$v$  = Kecepatan aliran ( m/ dtk)

$g$  = percepatan gravitasi (m/dtk)

a. Kehilangan tinggi tekan akibat saringan (*trashrack*) adalah

(Sosrodarsono, 1989:244)

$$hs = \beta \times \sin .\alpha \times \left(\frac{t}{b}\right)^{\frac{3}{4}} \times \frac{v_0^2}{2.g} \quad 2.7$$

Dimana:

$hs$  = Kehilangan tinggi akibat saringan (m).

- $\beta$  = Koefisien penampang lintang kawat kisi
- = 1,75 (untuk penampang berkepala bulat)
- = 2,24 (untuk penampang berkepala siku-siku)
- = 0,76 (untuk penampang berkepala *stream-line*)
- $\alpha$  = Sudut kemiringan saringan (derajat)
- t = Tebal dari batang saringan (m)
- b = Jarak antara batang-batang saringan (m)
- vo = Kecepatan aliran di muka saringan (m/dtk)

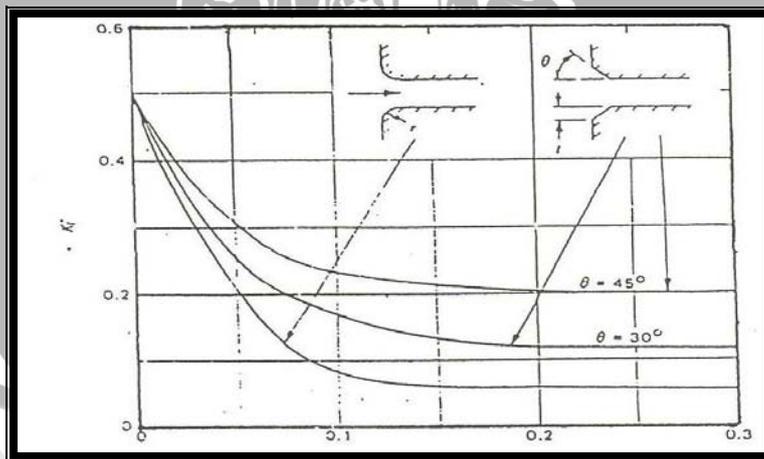
b. Kehilangan tinggi tekan akibat pemasukan (*entrance loss*).

Kehilangan tinggi pada pemasukan (*hp*) tergantung dari bentuk pemasukannya. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan rumus (Dake, 1985:77)

$$hp = \left( \frac{1}{C^2} - 1 \right) \times \frac{V^2}{2g} \quad 2.8$$

Dimana:

- hp = kehilangan tinggi pada pemasukan (m).
- c = Koefisien kecepatan (0,95-1,00)
- v = kecepatan aliran (m/dtk)
- g = percepatan gravitasi (m/dtk)



Grafik 1.2 Koefisien Bentuk Intake

Sumber: Gulliver, 1991:5.75

c. Kehilangan tinggi tekan akibat belokan.

Kehilangan tinggi tekan akibat belokan terdiri 2 macam yaitu belokan lengkung dan belokan patah, akan tetapi belokan lengkunglah yang paling banyak digunakan. Untuk belokan lengkung dihitung dengan rumus fuller sebagai berikut (Sularso, 1983: 24);

$$hb = (0,131 + 1,847 \times \left(\frac{D}{2R}\right)^{3,5} \times \left(\frac{q}{90}\right)^{0,5} \times \frac{V^2}{2g} \quad 2.9$$

Dimana:

- hb = kehilangan tinggi karena belokan (m)
- D = diameter dalam pipa (m)
- R = jari-jari lengkung sumbu belokan (derajat)
- q = sudut belokan (derajat)
- v = kecepatan aliran dalam saluran (m/detk)
- g = percepatan gravitasi = 9,81 m/dtk

d. kehilangan tinggi akibat gesekan (*friction losses*)

Kehilangan tinggi tekan akibat gesekan, meliputi gesekan sepanjang pipa pesat.

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan rumus (Gulliver, 1991: 5.42):

$$hg = \lambda \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \quad 2.10$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -\log \left[ \frac{k}{3,7} \right] + \left[ \frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} \right] \quad 2.11$$

Dimana:

- Hg = kehilangan tinggi akibat gesekan (m)
- $\lambda$  = faktor gesekan dari Darci Weisbach
- L = panjang pipa pesat (m)
- v = kecepatan aliran (m/dtk)
- D = diameter dalam pipa (m)
- g = percepatan grafitasi
- k = faktor kekasaran pipa (m/dtk)
- Re = bilangan Reynold

bilangan Reynold untuk masing-masing tipe aliran adalah sebagai berikut

(Weber,1971: 82):

1. Aliran laminar

$$Re = \frac{D \times V}{\nu} < 2000 \quad 2.12$$

2. Aliran turbulen

$$Re = \frac{D \times v}{\nu} > 4000 \quad 2.13$$

Dimana:

Re = bilangan Reynold

D = diameter pipa (m)

v = kecepatan aliran (m./dtk)

$\nu$  = harga kekentalan kinematik air pada suhu 20<sup>0</sup>C

$$= 1,01 \times 10^{-4} m^2 / dtk$$

e. Kehilangan tinggi karena adanya katup

Besarnya kehilangan tinggi karena adanya katup dipengaruhi oleh jenis katup yang digunakan serta bukaan katup.

$$hk = ku \times \frac{V^2}{2g} \quad 2.14$$

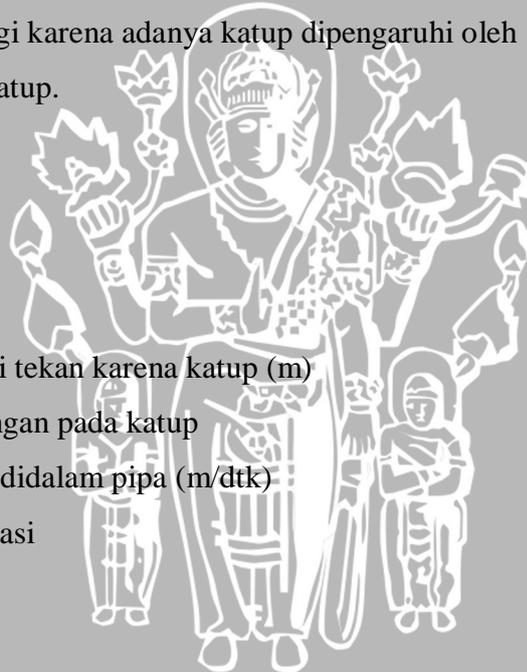
Dimana:

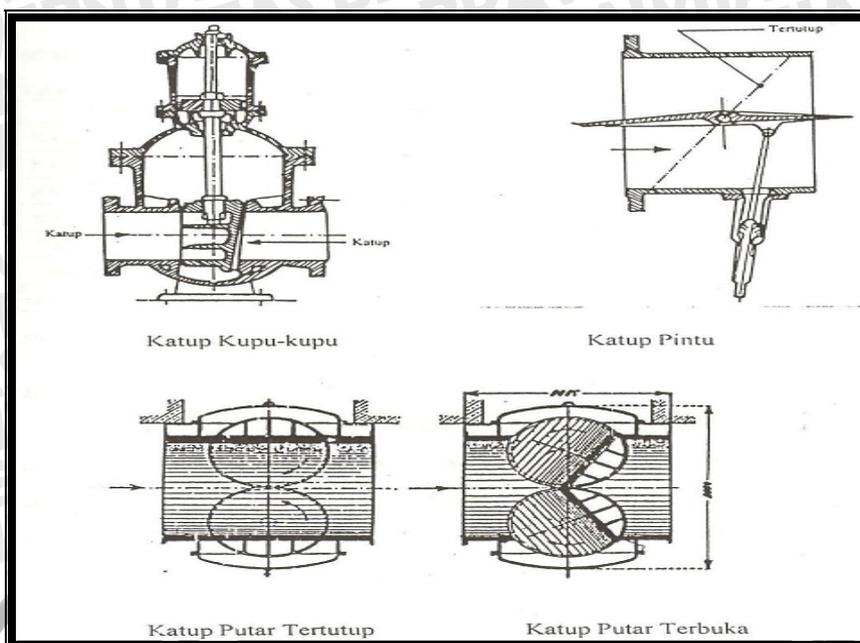
hk =kehilangan tinggi tekan karena katup (m)

Ku =koefisien kehilangan pada katup

v =kecepatan aliran didalam pipa (m/dtk)

g =percepatan grafitasi





Gambar: 1.2. Bentuk Bentuk Katup Pada Turbin

Sumber: O.F, Patty, 1995:108

Koefisien kehilangan tinggi tekan untuk katup dan sambungan adalah sebagai berikut:

Tabel 1.2 Koefisien Kehilangan Tinggi Untuk Katup dan Sambungan

Bentuk Katup dan Sambungan	Ku
Katup bola (terbuka lebar)	10
Katup pengatur ayunan (terbuka lebar)	2,5
Katup pintu (terbuka lebar)	0,2
Katup pintu (terbuka separuh)	5,6
Tikungan balik	2,2
T- baku	1,8
Siku-siku 90 baku	0,9

Sumber: Linsley, 1985: 274

### 2.8. Tinggi Jatuh Efektif

Tinggi jatuh efektif adalah tinggi jatuh dari permukaan air waduk di titik penyadapan dan permukaan air di saluran bawah (*tailrace*) setelah dipergunakan untuk menghasilkan daya dikurangi dengan total kehilangan

tinggi tekan akibat saringan, pemasukan, belokan, gesekan, dan lain-lain (Linsley, 1985:162).

Persamaan tinggi jatuh efektif adalah sebagai berikut:

$$H_{eff} = E_{MAW} - TWL - hl \quad 2.15$$

Dimana:

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

$E_{maw}$  = elevasi muka air waduk(m)

TWL = Tail water level (m)

hl = total kehilangan tinggi tekan (m)

## 2.9 Pukulan Air (*Water Hammer*)

Bila air yang sedang mengalir dalam suatu pipa tiba-tiba. Dihentikan oleh penutupan suatu katup, maka energi dinamikanya akan berubah menjadi energi elastis sehingga serangkaian gelombang tekanan positif dan negatif akan bergerak maju mundur didalam pipa sampai terhenti oleh gesekan. Fenomena semacam ini dikenal sebagai pukulan air (*water hammer*). (Linsley, 1985: 324).

Dalam perencanaan pipa pesat harus diperhitungkan kemungkinan tekanan air terbesar dengan mengingat akan kenaikan tekanan yang diakibatkan oleh gelombang dan pukulan air, disamping tekanan hidrotatis. Perkembangan teori pukulan air dimulai dari suatu analisis yang menganggap bahwa pipa adalah kaku. Pada teori ini perubahan terjadi pada salah satu ujung pipa dari suatu kolom zat cair (*dalam pipa*) akan segera dirasakan secara serentak pada ujung lain, berarti bahwa kecepatan rambat gelombang sangat besar dan tak terbatas. Teori ini dikenal dengan *rigid water colum teori*.

Perkembangan selanjutnya adalah menganggap pipa bersifat elastis dan zat cair kompresible. Pada teori ini perubahan terjadi pada salah satu ujung dari suatu kolam zat cair yang tidak secara serentak dirasakan di sepanjang kolom zat cair. Kecepatan rambat gelombang besar tetapi terbatas. Teori ini biasa disebut *elastis water colum teori*.

Perhitungan besarnya cepat rambat gelombang tekanan adalah sebagai berikut; (Davis, 1952: 642).

$$C = \frac{1}{\sqrt{W \times Q}} \quad 2.16$$

$$W = \frac{w}{g} \quad 2.17$$

$$Q = \frac{1}{K} + \frac{d}{d \times E} \quad 2.18$$

Dengan memasukan W dan Q kedalam persamaan (2-18), maka didapatkan:

$$C = \frac{1}{\sqrt{\frac{w}{g} \times \left[ \frac{1}{k} + \frac{d}{\delta \times E} \right]}} \quad 2.19$$

Dimana:

- C = cepat rambat gelombang ( m/dtk)
- w = berat jenis air (kg/m<sup>3</sup>)
- g = gravitasi bumi = 9,81 m/dtk
- K = modulus elastisitas air = 2,2 \* 10<sup>8</sup> kg/m
- D = diameter pipa (m)
- δ = ketebalan pipa (m)
- E = modulus elastisitas baja = 2,1 \* 10<sup>10</sup> kg/m

### 2.9.1 Penutupan Katup Secara Cepat

Elastisitas pipa akan mengurangi cepat rambat gelombang tekanan dan kenaikan tekanan. Untuk mempermudah gambaran mengenai proses perambatan gelombang pada penutupan katup di gunakan pada waktu t = 0 Kondisi aliran adalah permanen, kemudian katup ada diujung pipa ditutup dengan tiba-tiba. Apabila dianggap bahwa pipa adalah tidak mempunyai gesekan, maka pada kondisi aliran permanen tersebut tinggi tekanan di sepanjang pipa adalah H<sub>0</sub>. Mekanisme penjalaran gelombang tekanan pada sistem pipa adalah sebagai berikut: (Hwang,1981:130). Kenaikan tekanan maksimum terjadi karena penutupan katup secara tiba-tiba dan waktu penutupan kurang atau sama dengan 2.l/C persamaannya adalah;

$$\Delta H = \frac{C \times V}{g} \quad 2.20$$

Dimana:

- $\Delta H$  = kenaikan tekanan (m)
- $C$  = cepat rambat gelombang (m/dtk)
- $g$  = percepatan gravitasi (m/dtk).

### 2.9.2 Penutupan Katup Perlahan

Untuk penutupan katup dengan waktu lebih dari  $2 \cdot L/C$  detik, penutupan katup sesungguhnya, dapat di perkirakan dengan penutupan tiba-tiba yang bertahap secara berurutan. Persamaan-persamaan yang akan digunakan dalam perhitungan adalah (Parmakian, 1963:39).

$$H_w = H - H_o = F + f \quad 2.21$$

$$B = \frac{C_d \times A_g \times \sqrt{2 \times g}}{A} \quad 2.22$$

$$V = \frac{C \times B^2}{2 \times g} + \frac{B}{2} \sqrt{\left[ \frac{C \times B}{g} \right]^2} + 4 \times \left[ H_o + \frac{C \times V_o}{g} + 2f \right] \quad 2.23$$

$$F = -\frac{C}{G} \times (V - V_o) + f \quad 2.24$$

$$F(t) = -F \times \left( t - \frac{2 \times l}{C} \right) \quad 2.25$$

Dimana:

- $H_w$  = tekanan water hammer (m)
- $H$  = tinggi tekan total (m)
- $H_o$  = tinggi tekan mula mula (m)
- $F$  = tekanan gelombang arah positif (m)
- $f$  = tekanan gelombang arah negatif (m)
- $C_d$  = koefisien debit
- $A_g$  = luas bukaan katup ( $m^2$ )
- $A$  = luas penampang pipa ( $m^2$ )
- $g$  = gaya gravitasi (m/dtk)
- $V$  = kecepatan aliran (m/dtk)
- $v_o$  = kecepatan awal aliran (m/dtk)
- $C$  = cepat rambat gelombang (m/dtk)
- $t$  = waktu (detik).



Penentuan tambahan tekanan adalah sebagai berikut: ( Patty, 1995: 62).

- 50% pada H hingga 50 m.
- 255 pada H dari 50-150 m.
- 15% pada hari h lebih dari 250 m.

### 2.10 Pipa Pesat (*penstock*).

Pipa pesat (*penstock*) merupakan pipa yang direncanakan untuk dapat menahan tekanan tinggi, dan berfungsi untuk mengalirkan air dari kolam penampungan menuju turbin Untuk mendapatkan diameter pipa pesat dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut: (Anonim, 1996: 48):

Tabel 1.3 Persamaan Untuk Diameter Pipa Pesat

Ho < 50 m	maka	$D = 0,794 \times Qp^{0,404}$
50 m < Ho < 100m	maka	$D = 0,785 \times Qp^{0,400}$
100 m < Ho < 200m	maka	$D = 0,733 \times Qp^{0,470}$
Ho > 200 m	maka	$D = 0,733 \times Qp^{0,396}$

Sumber: Anonim, 1996:48

Dimana:

H = tinggi jatuh efektif (m)

= tinggi tekanan statis + tinggi tekan akibat pukulan air (m).

Qp = debit pembangkit puncak (m<sup>3</sup>/dtk).

D = diameter pipa pesat(m).

Sedangkan untuk menentukan tebal pipa pesat digunakan persamaan Barlom's

Formulae (Varshney, 1977: 412):

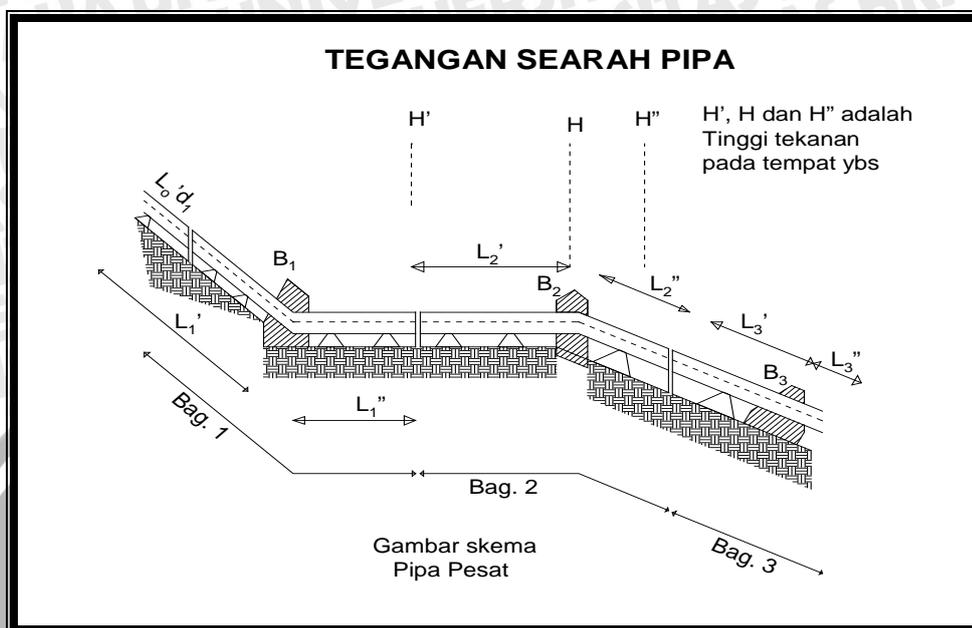
$$H = \frac{0,002 + (q \times t)}{d + (0,002 \times t)} \quad 2.26$$

Dimana:

H = tinggi tekan maksimum (m).

q = tegangan baja yang digunakan (ton/m).

$d$  = diameter pipa pesat (m).  
 $t$  = tebal pipa pesat (m).



Gambar: 1.3. Pemasangan Pipa Pesat.

Sumber: O.F,Patty,1995,66

## 2.11 Turbin Air.

Turbin air adalah turbin dengan air sebagai fluida kerja. Air yang mengalir dari tempat yang lebih tinggi menuju tempat yang lebih rendah, hal ini air memiliki energi potensial. Dalam proses aliran didalam pipa, energi potensial tersebut berangsur-angsur berubah menjadi energi mekanis, dimana air memutar roda turbin. Roda turbin di hubungkan dengan generator yang mengubah energi mekanis (*gerak*) menjadi energi listrik (Arismunandar, 1988: 64).

### 2.11.1 Penentuan Tipe Turbin.

Dalam studi ini penentuan tipe turbin didasarkan pada kecepatan khusus  $N_s$  dan tinggi jatuh. Penentuan tipe turbin berdasarkan kecepatan khusus, tinggi tekan, tenaga dan diameter roda dapat dilihat pada tabel 1.4 secara khusus klasifikasi turbin berdasarkan tinggi jatuh dan kecepatan jenis.

Tabel 1.4 Penentuan Tipe Turbin.

Tipe Turbin	Maksimum Ketinggian	Maksimum Tenaga	Maksimum Diameter Roda	Kecepatan Khusus
	(m)	(PH)	(m)	(rpm)
Pelton	300-2000	330.000	5,5	4-7
Francis	30-500	960.000	10	60-400
Kaplan	2-70	300.000	10	300-1100

Sumber: Dandekar, 1991: 400.

Tabel 1.5 Klasifikasi Turbin Berdasarkan Tinggi Jatuh.

Klasifikasi	Tinggi Jatuh (m)	Tipe
Tinggi tekan rendah	2-15	Propeler/Kaplan
Tinggi tekan sedang	16-70	Kaplan/Francis
Tinggi tekan tinggi	71-500	Francis/Pleton
Tinggi tekan sangat tinggi	>500	Pleton

Sumber: Dandekar, 1991: 394

Adapun tipe penggunaan head yang berlaku pada beberapa macam turbin diantaranya:

- Kaplan             $2 < H < 40$  (H = head dalam meter).
- Francis          $10 < H < 350$ .
- Pelton            $50 < 1300$ .
- Turgo             $50 < H < 250$ .

Tabel 1.6 Klasifikasi Turbin Berdasarkan Kecepatan Jenis

Rotor	Kecepatan Jenis (rpm)		
	Lambat	Sedang	Cepat
Pleton	4-15	16-30	31-70
Francis	60-150	151-250	251-400
Kaplan	300-450	451-700	701-1100

Sumber: Dandekar, 1991: 400

Selain penentuan tipe turbin, juga dapat dibedakan berdasarkan perubahan momentum fluida kerjanya sebagai berikut (Arismunandar, 1991:50);

a. Turbin Impuls.

Merupakan turbin yang dibuat sedemikian sehingga rotor (*runner*) bekerja karena aliran air, disini beda tinggi diubah menjadi kecepatan karena perbedaan tinggi. yang khas dari jenis ini adalah turbin pleton.



Gambar: 1.4. Bentuk Turbin Pleton dan Pemasangannya

Sumber: PDF Internet Turbin: 2009

b. Turbin Reaksi.

Merupakan turbin yang dibuat sedemikian sehingga Rotor (*runner*) bekerja karena aliran air dengan tinggi terjun tekanan. yang termasuk dalam jenis ini adalah turbin francis, turbin aliran diagonal (*diagonal flow*) dan turbin baling-baling (*propeller turbin*).



Gambar 1.5 Bentuk Turbin Francis Aliran Diagonal

Sumber: Hidrolink.com, Hydrohrom.

### 2.11.2 Karakteristik Turbin.

Karakteristik turbin dalam kajian ini dapat di jelaskan sebagai berikut:

#### 1. Kecepatan spesifik (*kecepatan khusus*).

Kecepatan spesifik (*specific speed*) adalah kecepatan turbin model (turbin dengan bentuk sama tetapi skalanya berlainan), yang bekerja pada tinggi satu satuan jatuh dan dengan debit satu-satuan debit dan menghasilkan daya (*output*) satu satuan daya. Rumus yang digunakan untuk menentukan  $N_s$  (*kecepatan spesifik*) adalah sebagai berikut (Dandekar, 1991: 397):

$$N_s = \frac{1750}{\sqrt{H}}$$

$$N = \frac{n_s \times H^{3/4}}{P^{1/2}} \quad 2.27$$

$$N = \frac{60f}{P}$$

Dimana:

$N_s$  = kecepatan spesifik.

$n$  = kecepatan putar turbin.

$H$  = tinggi jatuh efektif (m).

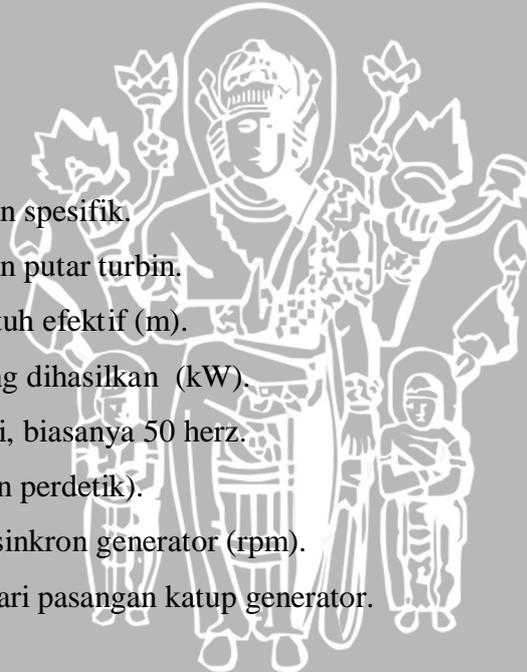
$P$  = daya yang dihasilkan (kW).

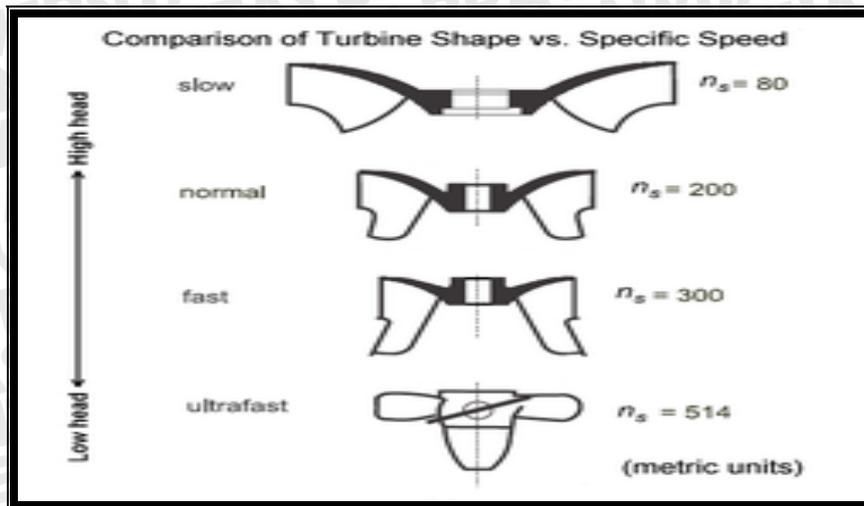
$f$  = frekuensi, biasanya 50 herz.

= 50 ppd (putaran perdetik).

$N$  = putaran sinkron generator (rpm).

$p$  = nomor dari pasangan katup generator.





Gambar 1.6 Bentuk Kecepatan Spesifik dan Nilai Satuan Daya

Sumber: Dandekar 1991: 397

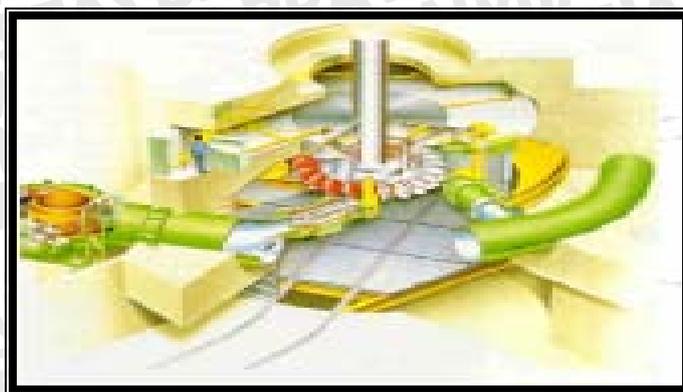
2. Efisiensi.

Setiap jenis turbin dan setiap kecepatan jenis masing-masing mempunyai angka efisiensi yang berbeda-beda. Agar dapat menjamin kerja turbin disekitar daerah efisiensi maksimumnya serta untuk mencegah terjadinya kavitasi. Maka biasanya tinggi jatuh yang diperbolehkan harus di batasi, misalnya deviasi beberapa persen dari tinggi air jatuh yang di rencanakan sesuai dengan jenis turbin yang digunakan (Arismunandar, 1988: 71).

3. Kecepatan Lari (*run away speed*).

Kecepatan lari (*run away speed*). Suatu turbin adalah kecepatan putar turbin tanpa beban dengan debit tertentu. Kecepatan maksimum yang mungkin terjadi dinamakan kecepatan lari maksimum. Apabila tinggi jatuh air berubah-ubah maka di pakai kecepatan lari yang terbesar, sesuai dengan tinggi jatuh yang terbesar. Pada umumnya kecepatan lari untuk masing-masing jenis turbin adalah sebagai berikut, (Arismunandar, 1988:68).

Turbin Pelton, Kecepatan putarnya adalah 1,85 kali kecepatan putar normal.



Gambar 1.7 Bentuk Pemasangan Turbin Pleton dan Nilai Kecepatannya

Sumber: *Hidrolink.com, Hydrohrom.*

Turbin Francis.

Kecepatan putarnya adalah 1,8-2,3 kali kecepatan normal.

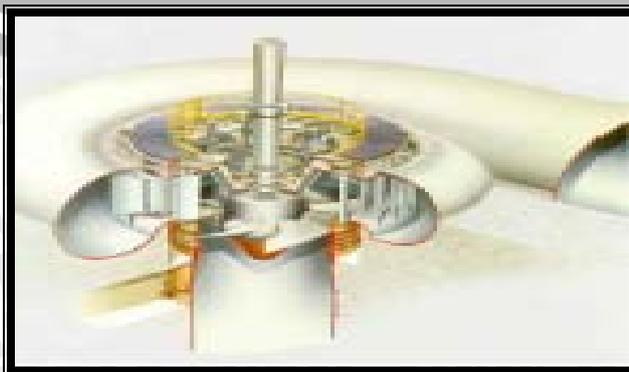


Gambar 1.8 Bentuk Turbin Francis dan Kecepatan Putarnya

Sumber: *Hidrolink.com, Hydrohrom.*

Turbin Kaplan.

Kecepatan putarnya adalah 2,2-3,2 kali kecepatan putar normal.



Gambar 1.9 Bentuk Turbin Kaplan dan Kecepatan Putarnya

Sumber: Hidrolink.com, Hydrohrom.

Arismunandar, 1988:72 mengemukakan bahwa kecepatan lari dipengaruhi juga oleh koefisien besarnya kavitasi ( $\sigma$ ).

### 2.11.2 Dimensi Turbin.

Dimensi rotor (*runner*) turbin Francis ditentukan berdasarkan rumus-rumus sebagai berikut (Arismunandar, 1991:73).

$$D_1 = 84,6 \times K_1 \times \frac{H^{1/2}}{n}$$

$$B = \frac{Q}{p \times D_1 \times C_{ml} \times (2 \times g \times H)^{1/2}} \quad 2-28$$

$$D_2 = \frac{0,288 \times Q}{(C_2 \times \sqrt{H})^{1/2}}$$

Di mana:

$D_1$  = garis tengah rotor di inlet (m).

$K_1$  = koefisien.

$H$  = tinggi jatuh efektif (m).

$n$  = kecepatan putar (m).

$B$  = tinggi pemasukan air di rotor (m).

$Q$  = debit ( $m^3/dtk$ ).

$C_{ml}$  = koefisien.

$g$  = percepatan gravitasi bumi ( $m/dtk$ ).

$D_2$  = garis tengah rotor di outlet (m).

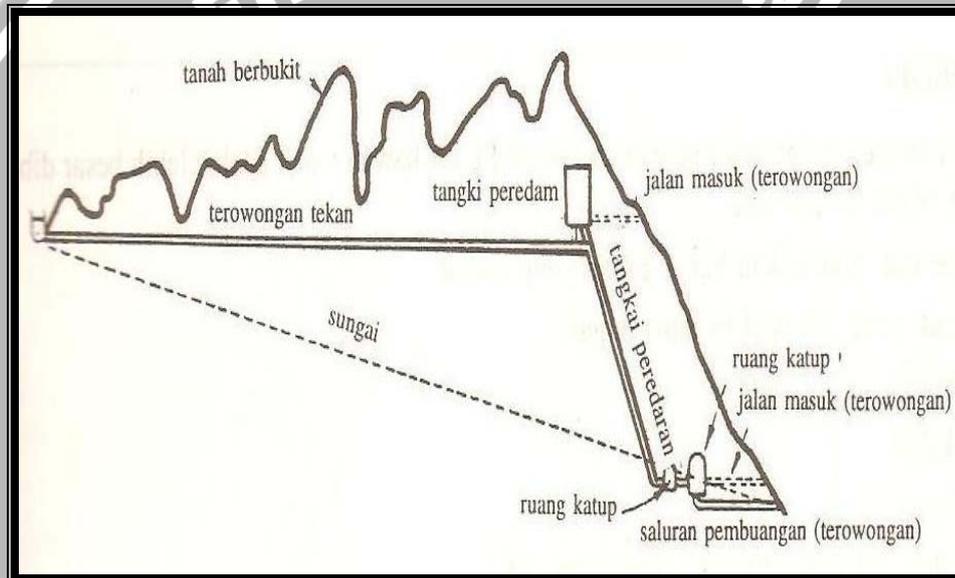
$C_2$  = koefisien.

### 2.12 Kavitasi

Jika kavitasi timbul pada turbin yang sedang berjalan, maka akan terjadi gejala-gejala yang berbahaya terhadap turbin, diantaranya menurunnya efisiensi, timbulnya getaran, terdengar suara berisik dan lain-lain. Dalam turbin air, kavitasi terutama terjadi pada bagian sudu rotor yang menghisap air, pada ujung sebelah bawah dan atas dari roda putar, pada pipa hisap, pada bagian belakang sudu rotor, dan sebagainya untuk menghindari bertambahnya kavitasi maka perlu (Arismunandar, 1988: 70).

1. memilih sudut rotor yang tepat bentuknya, membuat secara teliti dan penyudahan (*finishing*) permukaannya harus baik.
2. memasang rotor pada posisi yang rendah terhadap permukaan air sebelah bawah (*tail race water*)
3. memilih kecepatan jenis yang kecil.
4. memberi udara dalam jumlah yang tepat pada bagian atas dari pipa lepas.
5. melapisi sudu rotor dengan bahan yang tahan terhadap kavitasi, seperti baja tahan karat.

Faktor kavitasi dari Thoma adalah yang umum dipakai, dan merupakan angka indeks bertambahnya kavitasi (Hasen,1993:21;10).



Gambar 1.10 Letak Gedung Sentral dan Peralatan Elektromekanik Lainnya

Sumber: OF. Paty 1995, 60.

$$\sigma = \frac{H_a - H_v - H_s}{H}$$

2-29

Dimana:

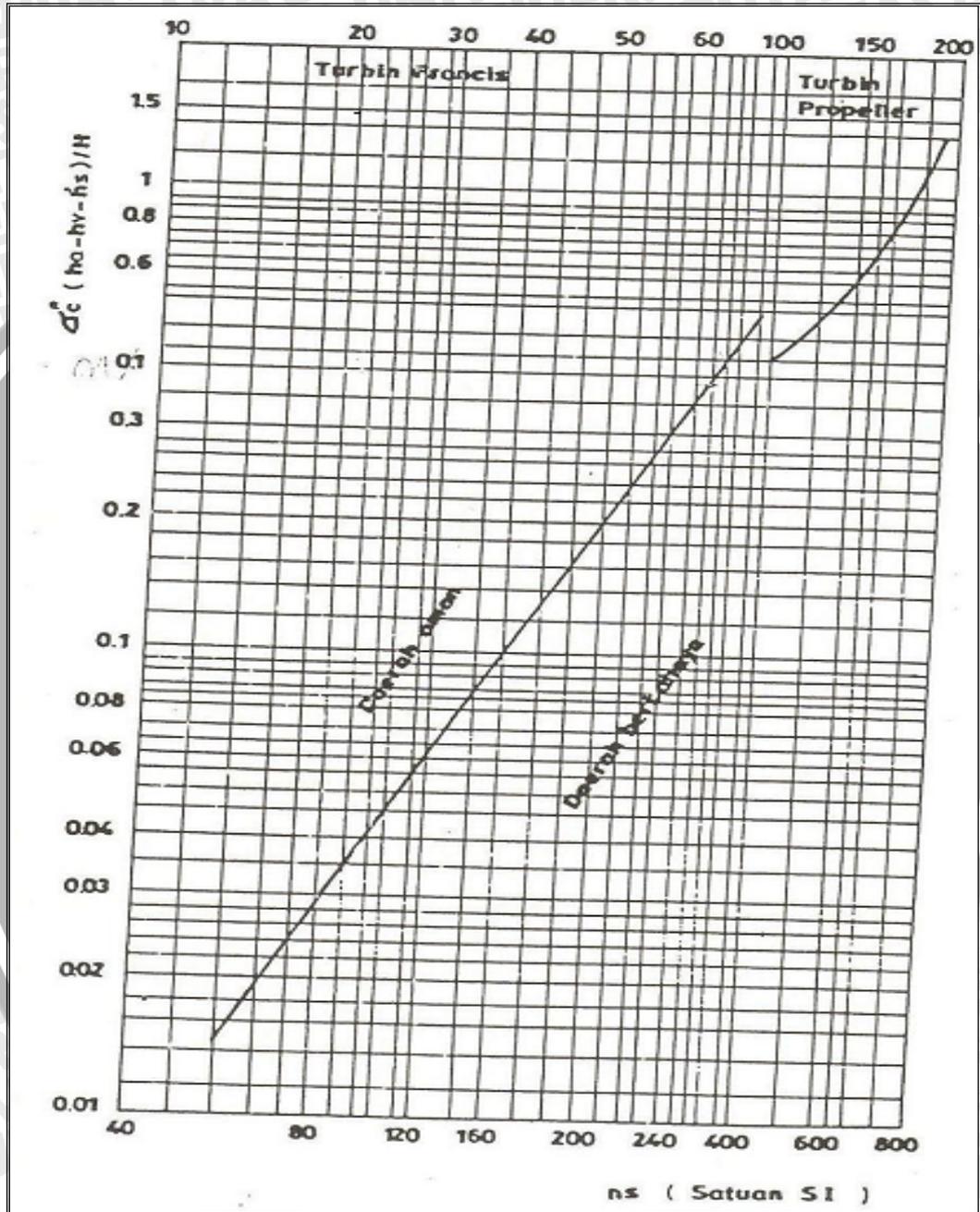
H = tinggi jatuh air efektif (m)

H<sub>v</sub> = tekanan uap air di bawah sudut rotor (m)

H<sub>s</sub> = tinggi hisap (m)

H<sub>a</sub> = tekanan atmosfer (m)

Nilai maksimum dari  $\sigma$  dimana kavitasasi dapat terjadi disebut  $\delta_c$  hubungan antara nilai  $N_s$  dan  $\delta_c$  untuk beberapa jenis kondisi aman dari bahaya terhadap kavitasasi, disajikan pada garafik 1.3

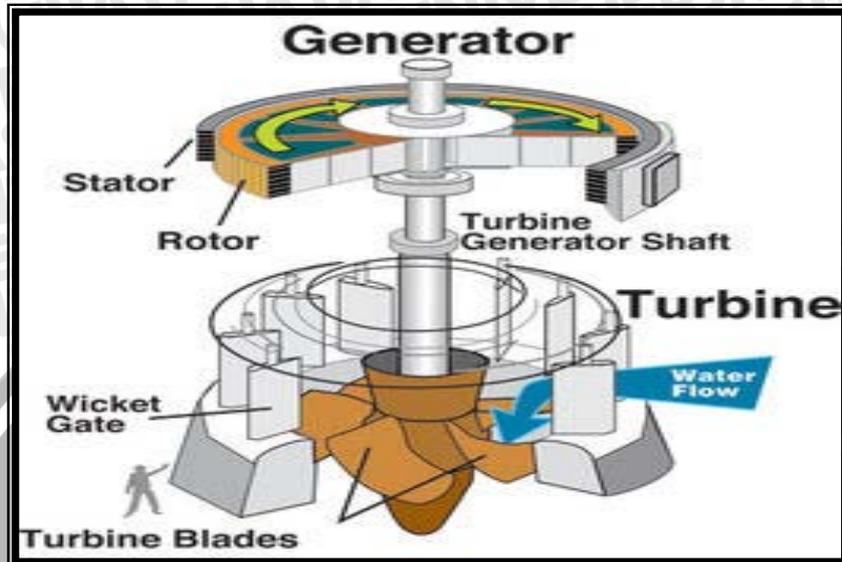


Grafik: 1.3. Hubungan Antara  $\delta$  dan  $N_s$

Sumber: Arismunandar, 1988:71

## 2.13 Generator

Generator merupakan suatu alat yang dapat merubah energi gerak (*mekanis*) menjadi energi listrik. Suatu generator dapat di uraikan lebih lanjut mengenai: klasifikasi generator, daya generator, efek roda gila, dan berat generator.



Gambar: 1.11 Turbin dan Generator

Sumber: PDF Internet: 2009

### 2.13.1 Klasifikasi Generator

Menurut Arismunandar (1991:77), klasifikasi generator berdasarkan arah porosnya meliputi:

- a. Generator dengan poros datar (*horizontal*).

Golongan poros datar ini sesuai untuk mesin-mesin berdaya kecil atau mesin-mesin berputaran tinggi.

- b. Generator dengan poros tegak (*vertikal*).

Golongan poros tegak ini sesuai untuk mesin-mesin berputaran rendah.

Penggunaan poros tegak sangat baik bagi generator turbin air, karena golongan poros tegak memerlukan luas ruangan yang lebih kecil di bandingkan dengan golongan poros datar.

### 2.13.2 Daya Generator

Daya generator arus bolak-balik di ukur dalam kilo Volt–Ampere (kVa) untuk suatu kenaikan suhu tertentu, dimana kenaikan suhu tersebut masih aman terhadap bahan-bahan isolasi. Daya semu (kVA) dari suatu generator berbeda

dari daya nyatanya. Faktor daya tidak mungkin lebih besar dari satu, nilainya tergantung pada hubungan antara induktansi dan tahanan beban, suatu beban dengan induktansi yang sangat kecil adalah misalnya beban penerangan, akan mempunyai faktor mendekati satu. Beban jaringan listrik yang umum mempunyai daya yang berkisar antara 0,80 sampai 0,90. tetapi bila bebanya meliputi banyak motor induksi maka faktor bebanya sebesar 0,50 (Linsley,1991:17).

$$Dayanyata(kW) = Dayasemu(kVA) \times Faktordaya \quad 2-30$$

### 2.13.3 Efek Roda Gila

Generator perlu di rencanakan sesuai dengan efek roda gila ( $GD^2$ ) untuk turbin air, nilai  $GD^2$  dari generator yang di rencanakan secara ekonomis disebut  $GD^2$  normal dari generator. Sekalipun  $GD^2$  normal tergantung dari perhitungan perencanaan, bahan dan metode, ada kecenderungan untuk menggunakan rumus berikut: (Arismunandar, 1991:80).

$$GD^2_{normal} = \frac{132 \times (kVA)^{4/3}}{n^{2.15}} \quad 2-31$$

Di mana:

$GD^2_{normal}$  = efek roda gila ( $t/m^3$ )

kVa = daya semu

n = kecepatan putar generator (rpm)

### 2.13.4 Berat Generator Turbin Air

Berat dari generator turbin air berbeda-beda, tergantung pada perhitungan perencanaan, bahan,  $GD^2$ , kecepatan lari turbin air, perbandingan hubungan singkat dan faktor daya. Namun persamaa dibawah dapat memberikan gambaran harga kasar dari berat generator sebagai fungsi dari kecepatan putar dan daya keluar. (Arismunandar,1991: 81).

$$W = 10 \times \left[ \frac{kVA}{n} \right]^{5/7} \quad 2-32$$

Dimana :

W = berat generator (ton).

kVA = daya semu.

n = kecepatan putar (rpm).

## 2.14 Perhitungan Daya dan Energi

Keuntungan suatu proyek pembangkit listrik tenaga mikrohidro di tentukan dari besar daya yang dibangkitkan dan jumlah energi yang di dapatkan tiap tahun.

Jika tinggi jatuh efektif maksimum adalah  $H_{\text{eff}}$  (m), debit maksimum turbin adalah  $Q$  ( $\text{m}^3/\text{dtk}$ ), efisiensi dari turbin dan generator masing-masing adalah

$\eta_t$  dan  $\eta_g$  maka daya atau tenaga yang di bangkitkan oleh suatu pembangkit

listrik tenaga mikrohidro dapat dihitung dengan rumus

(Arismunandar,1991: 19).

$$\text{Daya Teoritis} = 9,8 \times Q \times H_{\text{eff}} (w) \quad 2-33$$

$$\text{Daya Turbin} = 9,8 \times \eta_t \times Q \times H_{\text{eff}} (w) \quad 2-34$$

$$\text{Daya Generator} = 9,8 \times \eta_g \times \eta_t \times Q \times H_{\text{eff}} (w) \quad 2-35$$

Dimana:

P = daya yang dihasilkan (kWh)

$\eta_t$  = efisiensi turbin (ppm)

$\rho$  = massa jenis air =  $1000 \text{ kg/m}^3$

$\eta_g$  = efisiensi generator (rpm)

Q = debit pembangkit ( $\text{m}^3/\text{dtk}$ )

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

### 2.14.1 Macam Daya Yang Dihasilkan.

Adapun daya yang dihasilkan oleh suatu pembangkit listrik tenaga mikrohidro adalah sebagai berikut:

1. Daya puncak.

Daya puncak adalah daya listrik maksimum yang dibangkitkan oleh suatu PLTMH untuk beban puncak, juga disebut sebagai kapasitas terpasang suatu PLTMH. Daya ini hanya beroperasi pada jam-jam tertentu perhari.

2. Daya beban dasar.

Daya beban dasar adalah daya listrik yang dibangkitkan pada saat suatu PLTMH tidak memikul beban puncak, yaitu pada waktu PLTMH dioperasikan memikul beban dasar.

### 2.15. Perhitungan Energi Listrik.

Apabila perhitungan pola operasi telah selesai, maka besarnya jumlah energi tahunan yang dihasilkan oleh PLTMH dapat dihitung dengan persamaan.

$$E = \sum P \times \eta g \times Ni \quad 2-36$$

Dimana:

E = energi listrik (kWh)

$\sum p$  = jumlah daya yang di bangkitkan (kWh)

$\eta g$  = efisiensi generator

$Ni$  = jumlah hari dalam setahun = 365

Sedangkan untuk mendapatkan energi andalan yang dapat dibangkitkan dalam setiap operasi, maka energi total yang didapat tersebut harus dikalikan dengan peluang kejadian debit.

### 2.16. Analisa Biaya Perencanaan

Untuk menghitung analisa ekonomi dari suatu proyek dilakukan analisa biaya dan memisahkan komponen-komponen biaya pada proyek tersebut Pada analisa kelayakan ekonomi biaya-biaya tersebut di kelompokkan menjadi beberapa komponen sehingga memudahkan analisis perhitungan Biaya-biaya dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu (Kodoatie 1995: 71)

#### a. Biaya Langsung (*Direct Cost*)

Yang merupakan Komponen biaya pada pusat listrik tenaga mikrohidro adalah biaya finansial proyek. Biaya finansial adalah seluruh biaya yang dibutuhkan dan harus disediakan untuk pelaksanaan pekerjaan. Biaya konstruksi PLTMH dinyatakan dalam rumus empiris yang diperkirakan dengan harga satuan biaya konstruksi sebagai fungsi cost yang diperhitungkan (Pitojo: 1992:70) adalah :

- a. Penstock (pipa Pesat)
- b. Power house (rumah pembangkit)
- c. Power equipment (instalasi pembangkit)

Rumus-rumus yang digunakan untuk biaya langsung tersebut adalah:

1. Pipa pesat

$$\text{CPS} = 800 \times \text{DP}^{1.66} \times \text{LPT} \times \text{N} \quad (2.37)$$

Dengan:

CPS : penstock cost (m)

DP : diameter penstock (m)

LPT : panjang penstock (m)

2. Rumah pembangkit

$$\text{CHP} = \text{CHP1} + \text{CHP2} \quad (2.38)$$

$$\text{CHP1} = 3,9 \times 10^3 \times (\text{P}/\text{H}_{\text{ef}}^{2/3} \times \text{N}^{1/2})^{0,85}$$

Dengan:

CHP : power house cost

P : instaled capacity (kWh)

H<sub>eff</sub> : tinggi jatuh efektif (m)

Q<sub>p</sub> : debit pembangkit maksimum (m<sup>3</sup>/det)

N : jumlah unit pembangkit

3. Instalasi pembangkit

$$\text{CPE} = 5,9 \times 10^3 \times (\text{P}/\text{H}_{\text{ef}}^{1/2})^{0,90} \quad (2.39)$$

Dengan:

CPE : power equipment cost

### c. Biaya Tidak Langsung (*Indirect Cost*)

Biaya ini terdiri dari tiga komponen, yaitu;

~.Biaya tidak terduga (*contingencies*)

yang besarnya 10% dari biaya langsung. Dan terdiri dari biaya akibat kenaikan, inflasi, dan pengeluaran yang lain

~.Biaya teknik (*enggineringcost*)

yang besarnya 8% dari biaya langsung. Terdiri dari biaya untuk

Perencanaan desain mulai dari studi awal (*preleminary study*), pra studi kelayakan, studi kelayakan, biaya perencanaan dan biaya pengawasan selama pelaksanaan konstruksi.

~.Bunga (*interest*)

Dari periode waktu ide sampai pelaksanaan fisik, bunga berpengaruh terhadap biaya langsung, biaya kemungkinan dan biaya teknik sehingga faktor bunga (*interest*) harus diperhitungkan.



### BAB III METODE KAJIAN

#### 3.1 Letak Administratif Sungai Tiworo

Kabupaten Muna merupakan daerah kepulauan yang terletak di jazirah Sulawesi Tenggara yang meliputi bagian utara Pulau Buton dan Pulau Muna, serta pulau-pulau kecil yang tersebar disekitarnya yaitu pulau Tobe, pulau Koholifano, dan gugusan Kepulauan Tiworo. Luas wilayah kabupaten Muna adalah sekitar 10.512 km<sup>2</sup> yang terdiri dari 4.887 km<sup>2</sup> adalah daratan dan selebihnya merupakan wilayah laut seluas 5.625 km<sup>2</sup>. Secara Geografis Kabupaten Muna terletak di bagian selatan katulistiwa pada garis lintang 4<sup>0</sup>06'–5<sup>0</sup>15' LS dan 122<sup>0</sup>08'–123<sup>0</sup>15' BT.

Sedangkan letak wilayah penelitian meliputi Kec. Tikep, dan sebagian Kec. Lawa. (batas sungai Soga). Serta meliputi tiga anak sungai yaitu, Sungai Tiworo, sungai Soga, sungai Wadahu. Jadi luas penelitian studi adalah 22.152.4ha. Secara administrasi daerah penelitian dibatasi oleh: (Laporan akhir (RT/RW)) Kab. Muna tahun 2003-2013: III-1)

1. Sebelah Utara : Selat Tiworo dan Kabupaten Kendari,
2. Sebelah Timur : Kecamatan Lawa,
3. Sebelah Selatan: Kecamatan Kabawo,
4. Sebelah Barat : Selat Spelman,

#### 3.2 Karakteristik Sungai Tiworo

Sungai Tiworo memiliki ciri khas tersendiri. Sungai ini bersumber di kaki bukit terletak di Kec. Lawa. dari pengalirannya memiliki topografi yang berbeda-beda di sekitar sumber, topografinya berlereng kemudian jatuh ke daratan yang landai menuju muara, dari hasil pengukuran, rata-rata sungai ini memiliki lebar 4-8 meter serta kedalaman 2-9 meter. Kondisi ini yang membedakan sungai Tiworo dengan sungai di sekitarnya.

Kondisi morfologi sungai tiworo yang berkelok-kelok, jika diukur memakan waktu cukup lama. Hasil pengukuran tahun 1994 Panjang sungai tiworo 76 km dan bermuara ke laut di sebelah barat karena sungai tiworo terbentang dari timur

ke barat pulau Muna pada beberapa titik, alur sungai tiworo ada yang sampai membentuk tikungan  $\geq 90^\circ$ .

Kondisi pada bagian hulu sungai tiworo telah di dirikan Bendung dengan nama Bendung Kambara dengan luas pengaliran 2038ha. Bentuk dari Sungai Tiworo adalah memanjang, dengan pola menyerupai bulu burung, sedangkan panjang sungai utama 76 km dan luas DAS 44.175,5ha. Elevasi terendah terletak di desa Lasama, kecamatan Tiworo Tengah. ketinggian 0.98m dimana daerah ini juga merupakan muara dari sungai Tiworo. Sedangkan dibagian hulu, elevasinya berada pada ketinggian 45m DPL.

Kondisi geologi sungai Tiworo yang berada di kecamatan Tikep dan kecamatan Lawa, formasi batuan pembentuk sungai tiworo dari hulu ke hilir dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Hulu dekat mata air: Terdiri dari batu pasir tufan berwarna coklat muda, lempung tufan, konglomerat, setempat ditemukan lensa-lensa batu pasir gamping yang keras.
- b. Daerah Pertengahan: Terdiri dari batu lempung mengandung lapisan batu gamping napalan abu-abu tua, batu gamping. Setempat juga ditemukan sisipan batu pasir glokonit hijau.
- c. Hilir dekat muara: Terdiri dari batu lempung dengan sisipan batu pasir tufan, konglomerat; Setempat ditemukan lapisan-lapisan batu pasir gampingan dan batu gamping.

Sedangkan sebagian besar alur sungai Tiworo yaitu mulai bagian tengah hingga ke hilir (*muara*) berada pada formasi-faormasi aluvium seperti; lempung, lanau, pasir, kerikil, terutama endapan holosen.

### 3.3 Iklim dan Hidrologi

Data curah hujan yang di gunakan dalam studi kelayakan ini adalah data primer yang diperoleh dari stasiun marobea Kab.Muna, yang dikelola dinas pengairan propinsi dan kabupaten.

Hasil perhitungan curah hujan dan hari hujan rata-rata bulanan selama periode pengamatan 1983-2006 menunjukkan bahwa curah hujan tertinggi terjadi pada

bulan maret dengan rata-rata 165,6mm/bulan, sedangkan yang terendah terjadi pada bulan agustus yakni 45,2mm/bulan hari hujan bulanan rata-rata tertinggi terjadi pada bulan april, yakni 16hari/bulan dan hari hujan terendah terjadi pada bulan september yakni 6 hari/bulan.

### 3.4 Geologi dan Topografi

Geologi daerah penelitian didominasi oleh batuan sediment dan material endapan permukaan (*alluvium*). Bahan aluvium berupa kerikil, pasir, lempung, gambut, rawa. Batuan sedimen dan batuan cadas merupakan bagian penyusun daerah hulu selain batuan tersebut juga terdapat pasir lempung, batu gamping dan napal terletak disekitar hulu sampai dekat bendung.

Daerah penelitian bertopografi bukit dengan kemiringan lereng 8 - 10%, sedangkan daerah hilir memiliki kemiringan lereng antara 0,9-8% kondisi ini umumnya menempati daerah yakni seluas 21.793,0ha (993,38%) dari luas daerah penelitian dan 359,0ha (1,62%) merupakan daerah berbukit dengan kemiringan lereng 8-20 %.

### 3.5 Tanah

Menurut Hemon *etal*, (1999), Jenis tanah pada DAS Tiworo terdiri dari tanah entisol, inceptisol dan ifisol. pada daerah ketinggian dengan lereng 15% umumnya berbentuk tanah inceptisol dan Sebagian kecil tanah entisol.

Sedangkan di sekitar daerah pesisir pantai umumnya berbentuk tanah entisol dan sebagian kecil tanah inceptisol dan di daerah pertengahan dengan kemiringan lereng kurang dari 15% umumnya berbentuk tanah alfisol dan sebagian kecil berbentuk jenis tanah entisol dan inceptisol

Kedalaman solum tanah pada sungai tiworo dibagi dalam empat kelompok yaitu sangat dangkal, lebih kecil dari 25 cm dangkal (25-50) cm, sedang 50-90 cm dan dalam lebih dari (90) cm. Kedalaman tanah umumnya berkolerasi erat dengan kemiringan lereng sehingga nampak bahwa kedalaman solum tanah pada sub DAS Tiworo umumnya sedang.

### 3.6 Data Debit

Data debit sungai Tiworo sepanjang tahun tidak akan habis hal ini disebabkan bersumber dari mata air dikaki bukit barangka, selama ini pemanfaatan debit sungai Tiworo adalah sebagai sumber irigasi yang pelaksanaanya sejak tahun 1992. Data debit sungai Tiworo diperoleh dari stasiun AWLR Kambara yang letaknya dihilir sungai. setiap minggu data pencatatan mesin AWLR diperiksa dan dikirim ke Dinas pengairan kabupaten. data debit pengambilan, seperti pada tabel 1.7.

Nomor Pengukuran	Tanggal/Bulan/Tahun	Jam (mm/dtk)	Muka Air H (m)	Debit Air (Q(m <sup>3</sup> /Detk))
1	23-Agsts -85	10.00	0,45	0,607
2	20-Dec-85	10.00	1,11	4.508
3	24-Jan-86	10.00	1,13	4.590
4	20-Agsts-86	10.00	1,29	5.679
5	10-Oktbr-86	10.00	1,15	4.150
6	23-juni-88	10.00	1,69	8.249
7	20-juni-89	10.00	1,30	5.054
8	2-Febr-90	10.00	1,42	7.577
9	17-Mai-90	10.00	1,52	9.853
10	16-juni-90	10.00	1,43	8.828
11	15-Juli-90	10.00	1,50	8.131
12	10-Agsts-90	10.00	1,38	6.983
13	7-sept-90	10.00	1,35	6.688
14	30-Oktbr-90	10.00	0,90	5.223
15	20-Nov-90	10.00	0,81	3.225
16	9-Dec-90	10.00	0,81	5.538
17	14-Febr-91	10.00	1,02	7.904

18	16-Maret-91	10.00	0,95	7.478
19	16-Mei-91	10.00	1,30	6.622
20	30-Juli-91	10.00	0,83	4.806
21	21-Oktbr-91	10.00	0,72	3.067
22	10-Nov-91	10.00	1,89	10.891
23	6-Dec-91	10.00	0,90	4.875
24	22-Jan-93	10.00	1,38	6.756
25	27-Juni-93	10.00	1,35	7.005
26	10-Agust-93	10.00	0,97	5.914
27	14-oktbr-93	10.00	0,83	4.783
28	5-Dec-93	10.00	1,40	7.643
29	29-juni-94	10.00	1,93	12.050
30	27-Agsts-94	10.00	1,00	5.219
31	23-Septm-94	10.00	0,88	5.188
32	4-Nov-94	10.00	0,87	5.221
33	9-Dec-94	10.00	0,91	5.908
34	18-Janri-95	10.00	0,89	5.246
35	19-Febr-95	10.00	1,48	6.517
36	5-maret-95	10.00	1,60	6.618
37	21-juni-95	10.00	1,62	9.809
38	9-Agsts-95	10.00	1,61	6.807
39	11-Septmbr-95	10.00	1,54	6.790
40	11-oktbr-95	10.00	0,94	3.581
41	28-Novmber-95	10.00	1,30	5.291
42	2-Juli-96	10.0	1,05	5.484
43	6-Decmbr-96	10.00	1,15	4.973

44	7-Jan-97	10.00	0,68	3.191
45	11-juni-97	10.00	0,62	2.842
46	28-Jan-98	10.00	1,35	8.770
47	9-juli-98	10.00	1,00	5.219
48	12-agsts-98	10.00	0,87	6.114
49	20-Decmbr-98	10.00	1,37	4.938
50	18-Febr-99	10.00	0,85	2.461
51	21-Mei-03	10.00	0,50	6.981
52	20-juli-2005	10.00	1,15	6.523

Tabel 1.7: Data Debit Hasil Pengukuran Pada AWLR Tiworo.

Sumber: Dinas Pengairan Propinsi, 2008

### 3.7 Jenis Penggunaan Lahan dan Vegetasi

Jenis penggunaan lahan dan vegetasi yang terdapat pada lokasi penelitian secara umum terdiri dari:

1. Hutan kompleks atau hutan belantara terdiri dari vegetasi: kayu, beringin, kayu besi, kayu sengon, kayu jati, dan enau.
2. Hutan jati, terdiri dari vegetasi: kayu jati, kapuk, dan enau.
3. Ladang/tegalan terdiri dari vegetasi: jambu mente, kelapa, mangga, nagka, coklat, kopi, jagung, kacang tanah, nenas.
4. Belukar semak terdiri dari vegetasi: pecut kuda, putri malu, kacang asu
5. Ladang rumput terdiri dari vegetasi; rumput teki dan kapuk.
6. Alang-alang terdiri dari vegetasi: alang-alang, kunyit, hutan jenis eucalyptus.
7. Mangrove terdiri dari vegetasi: alang-alang, kunyit hutan, rumput tembaga, daun katang-katang serta teki laut.
8. Rawa terdiri dari: padi sawah, kangkung dan enceng gondok.

### 3.8 Penduduk dan Budaya

Jumlah penduduk di daerah penelitian berdasarkan badan pusat statistik tahun (2005) kecamatan Tikep mencapai 8.156 jiwa, terdiri dari 4.091 jiwa laki laki dan 4,065 jiwa perempuan dengan tingkat kepadatan penduduk 86,94 jiwa/ km<sup>2</sup> Kehidupan penduduk dilokasi penelitian pada umumnya bekerja sebagai petani dan nelayan (76,00%). Kemudian sektor jasa (*pegawai negeri dan swasta*) adalah 12,63% serta industri rumah tangga sekitar 11,345%

### 3.9 Listrik dan Air Minum

Kebutuhan masyarakat Kec.Tikep akan tenaga listrik, sebagian besar diperoleh dari perusahaan listrik negara (PLN). Sementara sebagian air minum diperoleh dari sumur tanah.

Tabel.1.8.Jumlah Pelanggan, Daya Terpasang, Listrik Terjual, 2007-2008

Tahun	Jumlah Pelanggan	Daya Terpasang	Listrik Terjual	Nilai Penjualan
1	2	3	4	5
2006	1.500	-	990,770	888,443
2007	1.500	1.735	12.849	956.486

Sumber: BPS Kab. Muna 2008

### 3.9 Rencana Pemecahan Masalah

Dalam studi ini dititik beratkan pada Bendung Kambara dimana dengan tinggi bendung adalah 10 meter yang direncanakan untuk mengairi sawah seluas 2038ha. Dengan pengambilan air utamanya pada intake sebelah kiri, elevasi muka air normal +55.505m. Jaringan utamanya terdiri dari saluran induk sepanjang 13 km, saluran sekunder sepanjang 4 km serta beberapa saluran tersier sepanjang 8 km. Sedangkan bangunan sadap sebanyak 14 bangunan disaluran primer. 3 bangunan disaluran sekunder, terdapat bangunan pelengkap diantaranya bangunan siphon 2 buah, 1 talang, 4 bangunan gorong-gorong pembuang 3 bangunan gorong-gorong jalan, serta 16 bangunan terjun yang terletak disepanjang saluran primer dan sekunder. Kajian studi yang akan

dilakukan pada perencanaan PLTMH Bendung Kambara, data teknisnya akan mengikuti data teknis dari Bandung Kambara.

### 3.10 Data Pendukung Kajian

Data-data pendukung penyelesaian kajian studi ini adalah:

1. Peta daerah aliran sungai Tiworo dan peta lokasi pengukuran

Peta daerah aliran sungai Tiworo dan peta lokasi pengukuran yang digunakan dalam kajian ini diperoleh dari proyek pengukuran dan detail desain sungai Tiworo Kab.Muna.

2. Data curah hujan

Data curah hujan yang digunakan yaitu selama 20 tahun mulai tahun 1983-2006 diperoleh dari subdinas pengairan Propinsi Sulawesi Tenggara, menggunakan 3 stasiun hujan yang berdekatan dengan DAS Tiworo, yaitu stasiun Kolasa, Marobea, Guali.

3. Data pengukuran penampang sungai

Data potongan memanjang dan melintang sungai sepanjang 76 km dengan patok pengukuran berdasarkan titik- titik bangunan irigasi. Dari PU. Pengairan Propinsi

4. Data teknis bendung

Data teknis bendung digunakan untuk menghitung elevasi muka air dan besarnya kehilangan tinggi total yang akan terjadi pada pipa pesat (*penstok*). dan terowongan tekan.

5. Data elevasi muka air

Data elevasi muka air merupakan parameter yang harus tersedia dalam menentukan tinggi jatuh efektif

6. Data harga

Data harga ini digunakan untuk menghitung biaya pembangunan PLTMH, adapun data harga tersebut meliputi:

- Harga unit pembangkit,
- Harga pipa pesat
- Harga gedung sentral

### 3.11 Langkah-langkah Pengerjaan Skripsi

Adapun langkah-langkah dalam penyusunan studi ini secara garis besar adalah :

1. Melakukan kajian letak geografis, iklim, topografi, curah hujan, debit sungai, dan geologi.
2. Menganalisis data teknis bendung untuk intake pengambilan dan penempatan pipa pesat *penstock*.
3. Menentukan nilai koefisien pengaliran.
4. Menghitung debit inflow yang terjadi
5. Menentukan tinggi jatuh efektif
6. Menentukan turbin yang akan dipakai
7. Menentukan jenis generator yang akan dipakai
8. Menghitung daya yang akan diperoleh.
9. Menganalisa rancangan anggaran biaya keseluruhan

### 3.12 Pengolahan Data

- a. Menghitung diameter pipa pesat,
- b. Menghitung kehilangan tinggi pada terowongan tekan,
- c. Menghitung besarnya tekanan air akibat pukulan air,
- d. Menentukan tinggi jatuh efektif,
- e. Menentukan jenis turbin,
- f. Menghitung besarnya daya yang dihasilkan,
  - g. Menghitung besar biaya pembangunan PLTMH

## BAB IV

### PERENCANAAN PLTM

#### 4.1 Umum.

Dalam suatu perencanaan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTM) hal yang paling utama dibutuhkan adalah Debit dan besarnya Tinggi Jatuh Efektif, faktor lain yang dibutuhkan adalah jenis turbin yang dipakai dan tinggi muka air keluaran. Pembangkitan Tenaga Listrik Mikrohidro adalah suatu bentuk perubahan dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin dan generator. Berdasarkan uraian di atas PLTA Mikrohidro Bendung Kambara telah memenuhi beberapa kriteria yang dapat mendukung untuk sebuah kajian studi kelayakan, dengan melihat rumusan masalah pada bab sebelumnya studi kelayakan ini diuraikan hal-hal yang mendasar di dalamnya.

#### 4.2 Debit Pembangkit PLTMH.

Penentuan debit pembangkit pada perencanaan PLTM Bendung Kambara adalah dari outflow irigasi ditambah dengan debit air yang berada dikolam tampungan Bendung Kambara yang selama ini beroperasi terus menerus dimana diharapkan untuk membangkitkan tenaga tanpa mengalami penurunan.

q. Total saluran primer sebesar = 8.558 l/dtk

q. Total yang melewati as bendung sebesar = 14.037 l/dtk

q. Total curah hujan tahunan = 6.600 l/dtk

$Q_{\text{total}} = 8.558 + 14.037 + 6.666 = 28.607 \text{ m}^3/\text{dtk}$

Debit andalan untuk pembangkitan Listrik Tenaga Mikrohidro Bendung Kambara menghadapi kendala, jika musim hujan dengan intensitas tinggi akan mengakibatkan luapan yang deras, maka rata-rata debit keseluruhan selama pengukuran adalah sama dengan debit yang diatas sebesar 28.607 m<sup>3</sup>/dtk.

#### 4.3 Distribusi Frekuensi.

Kebutuhan air untuk perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro ditentukan setiap 15 hari di dasarkan dengan menggunakan penelitian data curah hujan dari stasiun curah hujan Kambara jumlah kelas dapat disimpulkan

pembagian debit pada intake sekunder Bendung Kambara diperiodikan dalam dua skala debit pertama untuk irigasi dan kedua, untuk PLTMH maka dapat dihitung distribusi frekuensinya persamaan 2.1 dengan perhitnugan sebagai berikut: (Anto Dayan, 1972:75).

$$K = 1 + 3.3322 * \log 2$$

$$K = 1 + 3.3322 * \text{Log } 2$$

$$K = 2$$

Sedangkan untuk besarnya interfal tiap kelas data dalam pembagian debit dapat dihitung dengan persamaan 2.2 perhitnugan sebagai berikut: (Anto Dayan, 1972:76).

$$I = \frac{Q_{maks} - Q_{min}}{K}$$

$$I = \frac{28.607 - 8.770}{2}$$

$$I = 12.41 \text{ m/dtk}$$

#### 4.4 Saluran Pembawa.

Setelah didapatkan debit rencana awal, selanjutnya dihitung dimensi saluran pembawa. Perhitungan saluran pembawa pada PLTMH adalah digunakan saluran irigasi induk kiri 1 data saluran disajikan table 4.1

Tabel 4.1 Nilai Debit dan Saluran Pembawa

NO	SALURAN	A (ha)	Q (m3/dtk)	K (m/dtk)	m	n	b (m)	h (m)	v (m <sup>3</sup> /dtk)	I (m)	w
1	Indk. K. R 1	2038	3,770	60	1,5	2,50	3,00	1,20	0,65	0,000162	0,60
2	Indk. K. R 2	1961	3,628	60	1,5	2,46	2,90	1,19	0,65	0,000165	0,61
3	Indk. K. R 3	1875	3,469	60	1,5	2,46	2,85	1,16	0,65	0,000172	0,59
4	Indk. K. R 4	1822	3,371	60	1,5	2,39	2,75	1,15	0,65	0,000176	0,60
5	Indk. K. R 5	1653	3,058	60	1,5	2,34	2,60	1,11	0,65	0,000180	0,59
6	Indk. K. R 6	1634	3,023	60	1,5	2,30	2,55	1,11	0,65	0,000181	0,59
7	Indk. K. R 7	1398	2,586	60	1,5	2,16	2,30	1,06	0,65	0,000187	0,59

	7											
	Indk. K. R											
8	8	1271	2,351	60	1,5	2,03	2,10	1,04	0,63	0,000191	0,61	
	Indk. K. R											
9	9	1102	2,039	60	1,5	1,95	1,90	0,97	0,62	0,000210	0,63	
	Indk. K. R											
10	10	1074	1,987	60	1,5	1,95	1,85	0,95	0,62	0,000230	0,60	
	Indk. K. R											
11	11	458	0,847	60	1,0	1,32	1,05	0,79	0,64	0,000275	0,61	
	Indk. K. R											
12	12	231	0,427	60	1,0	1,14	0,70	0,62	0,58	0,000330	0,53	
	Indk. K. R											
13	13	197	0,364	60	1,0	1,13	0,65	0,58	0,52	0,000345	0,52	
	Indk. K. R											
14	14	140	0,259	60	1,0	1,00	0,52	0,50	0,51	0,000440	0,50	

Sumber: PT Bantar Dawa Konsult, Desain Saluran dan Bangunan Daerah Irigasi Kambara.

Setelah debit melewati saluran pembawa debit bangkitan akan diteruskan kebak penyaring. Bak penyaring berfungsi untuk menyaring pasir dan kerikil yang membahayakan apabila masuk ke dalam pipa. Dimensi untuk bak penyaring di antaranya meliputi lebar bak, tinggi air pada bak, dan panjang bak. Kecepatan kritis yang diijinkan yang melewati adalah:

$$V_c = a \sqrt{d}$$

Dengan:

a : 36 (untuk diameter butiran lebih besar dari 1mm)

d : diameter butir

Sehingga kecepatan kritis yang diijinkan adalah :

$$V_c = 36 \sqrt{0,2}$$

$$= 16,099 \text{ cm/dt}$$

$$= 0,161 \text{ m/dt}$$

Waktu yang dibutuhkan butir untuk sampai pada dasar bak adalah (tinggi air dalam bak direncanakan 3 m):

$$t = V \frac{h}{w}$$

$$= 0.65 \frac{3}{0,03}$$

$$= 65 \text{ detik}$$

Panjang bak yang direncanakan adalah:

$$L = V \cdot t$$

$$= 0.65 \times 16.1$$

$$= 4.225 \text{ m}$$

Dengan debit sebesar  $28.607 \text{ m}^3/\text{dt}$  dengan tinggi air yang direncanakan dalam bak sebesar 3 m maka lebar bak adalah:

$$Q = B \cdot h \cdot V$$

$$28.607 = B \cdot 3 \cdot 0.65$$

$$B = 0.068 \text{ m}$$

#### 4.5 Kolam Penampung Harian.

Volume kolam penampungan harian pada perencanaan ini telah dihitung dari memanfaatkan debit irigasi. Persamaan 2.5 sebagai berikut: (Arismunandar, 1988:22).

$$\begin{aligned} V_{KPH} &= (Q_{Puncak} - Q_{INFLOW}) \times t \times 3600 \\ &= 28.607 - 3.770 \times (24) \times (3600) \\ &= 2.145 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

#### 4.6 Perhitungan Kehilangan Tinggi.

Dalam studi ini diprioritaskan kehilangan tinggi pada terowongan tekan. Kemudian dibahas mengenai besar kehilangan tinggi jatuh total. Kehilangan tinggi dapat dihitung dengan persamaan 2.6 sebagai berikut (Linsley, 1985:307).

$$hl = f \times \frac{v^2}{2g}$$

$$hl = 60 \times \frac{0.65^2}{2 \times 9.81}$$

$$hl = 1,3 \text{ m.}$$

##### 4.6.1 Kehilangan Tinggi Pada Terowongan Tekan.

Terowongan tekan adalah saluran yang berawal dari pintu pengambilan debit sampai dengan pipa pesat. Pada perencanaan PLTM Bendung Kambara gorong-

gorong yang sudah ada direncanakan sebagai terowongan tekan kemudian dihubungkan pada pipa pesat, data terowongan tekan didapat sebagai berikut:

Tipe = PLTM Tekanan aliran air sungai di kaki Bendung.

Diameter terowongan tekan = 3 m.

Panjang terowongan tekan = 3 m.

Panjang pipa pesat = 7 m.

Kemiringan =  $45^{\circ}$

Dalam studi akan dihitung besarnya kehilangan tinggi tekan yang di sebabkan oleh saringan, pintu pengambilan, katup, penyempitan, dan kekasaran pipa. Perhitungan kehilangan tinggi tekan pada terowongan tekan adalah, sebagai berikut:

#### 1. Kehilangan tinggi akibat saringan.

Dalam perhitungan ini akan digunakan rumus 2.7 dengan data-data sebagai berikut: (Sosrodarsono, 1989:244).

$\beta$  = 1.75 (untuk penampang berkepala bulat).

$\alpha$  =  $89^{\circ}$

$t$  = 1 inchi = 2.54 cm

$b$  = 2 inchi = 5.08 cm

$Q$  = 28.607m/dtk (debit normal sungai).

$v$  =  $0.65 \text{ m}^3/\text{dtk}$

$$h_s = \beta \times \sin \alpha \times \left[ \left( \frac{t}{b} \right)^{\frac{3}{4}} \times \frac{v^2}{2 \times g} \right]$$

$$h_s = 1.75 \times \sin 89 \times \left( \frac{2.54}{5.08} \right)^{\frac{3}{4}} \times \left( \frac{0.65^2}{2 \times 9.81} \right)$$

$$h_s = 0.0223 \text{ m}$$

#### 2. Kehilangan tinggi tekan akibat pemasukan.

Dalam perhitungan ini kehilangan akibat pemasukan pada saringan akan dihitung dengan menggunakan persamaan 2.8 perhitungan sebagai berikut: (Dake, 1985:77).

Kondisi pemasukan dengan  $C = 0.99$

$$h_p = \left[ \left( \frac{1}{C^2} - 1 \right) \times \frac{v^2}{2 \times g} \right]$$

$$h_p = \left( \frac{1}{0.99^2} - 1 \right) \times \frac{0.65^2}{19.62}$$

$$h_p = 0.000437m$$

### 3. Kehilangan tinggi akibat belokan.

Dalam perhitungan ini kehilangan akibat belokan dibagi atas dua bagian yaitu belokan lengkung dan belokan patah dan diambil belokan lengkung dengan diameter dalam pipa ( $D$ ) = 3, sudut belokan  $89^\circ$ , jari-jari ( $R$ ) = 1.5 menggunakan persamaan 2.9 sebagai berikut: (Sularso, 1983:24).

$$h_b = 0.031 + 1.847 \times \left( \frac{D}{2R} \right)^{0.5} \times \left( \frac{g}{90} \right)^{0.5} \times \frac{v^2}{2 \times g}$$

$$h_b = 0.131 + 1.847 \times \left( \frac{3}{2 \times 1.5} \right)^{0.5} \times \left( \frac{89}{90} \right)^{0.5} \times \frac{0.65^2}{2 \times 9.81}$$

$$h_b = 0.0423m.$$

### 4. Kehilangan tinggi akibat gesekan.

Perhitungan kehilangan tinggi akibat gesekan digunakan persamaan 2.10-2.13 perhitungan sebagai berikut; (Gulliver, 1991:542).

$$L = 7 \text{ m.}$$

$$v = 0.65 \text{ m/dtk.}$$

$$\mu = 1.01 \times 10^2 \text{ m}^2/\text{dtk}$$

$$R = (2 \times 0.3729) / (1.5 \times 10^{-6})$$

$$= 7384.1584 = 7.3 \times 10^5$$

$$R > 4000 \text{ (aliran turbulen).}$$

$$k \text{ dari beton} = 0.12 \text{ cm}$$

$$Ks/D = (0.0012/3)$$

$$= 0.0006 \text{ m}$$

dari grafik Moody di dapatkan nilai  $\lambda = 0.0095$   
 menggunakan persamaan 2-13 di dapatkan nilai hg:

$$hg = \lambda \times \frac{l}{D} \times \frac{v^2}{2 \times g}$$

$$hg = 0.0095 \times \frac{7}{3} \times \frac{0.65^2}{2 \times 9.81}$$

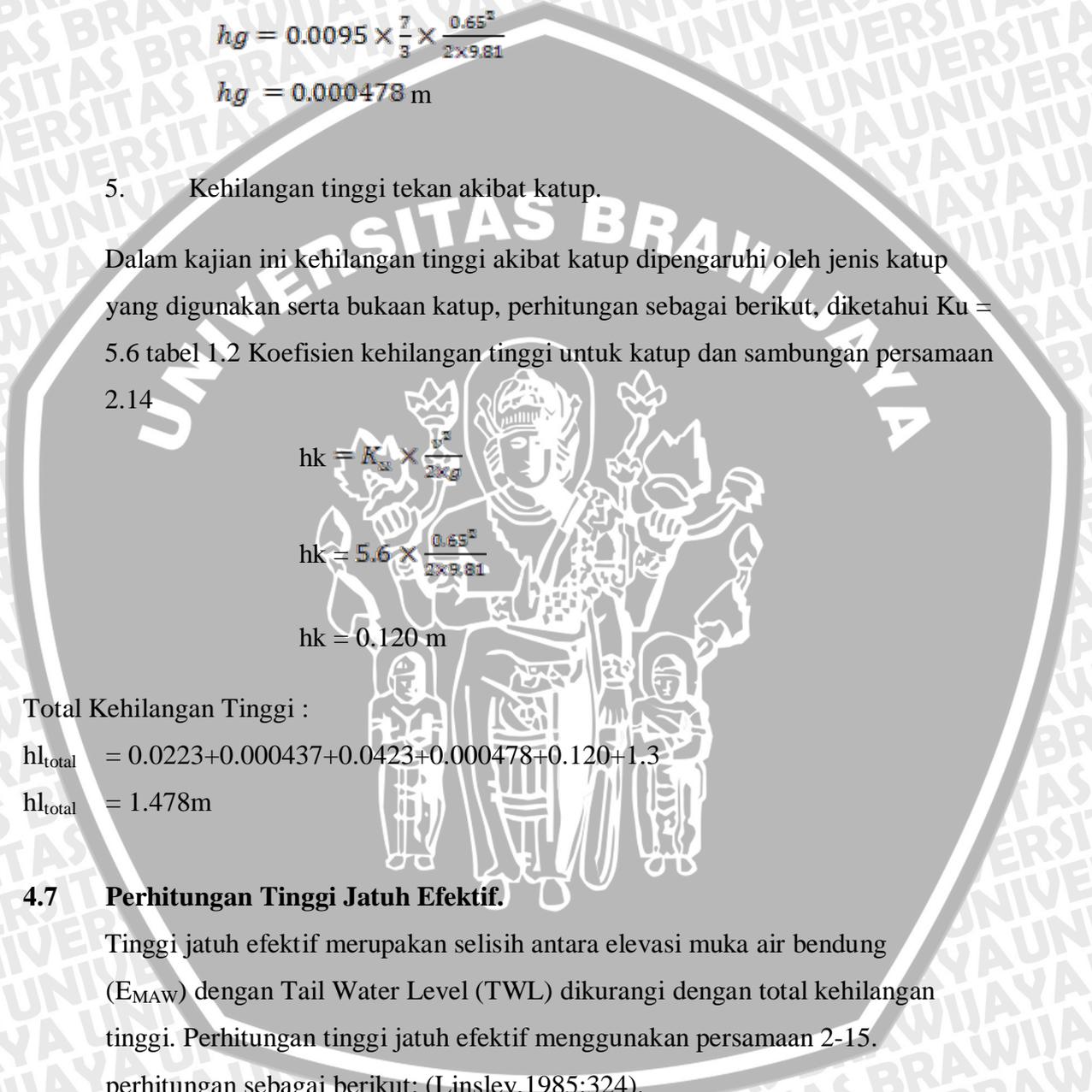
$$hg = 0.000478 \text{ m}$$

5. Kehilangan tinggi tekan akibat katup.

Dalam kajian ini kehilangan tinggi akibat katup dipengaruhi oleh jenis katup yang digunakan serta bukaan katup, perhitungan sebagai berikut, diketahui  $K_u = 5.6$  tabel 1.2 Koefisien kehilangan tinggi untuk katup dan sambungan persamaan 2.14

$$hk = K_u \times \frac{v^2}{2 \times g}$$

$$hk = 5.6 \times \frac{0.65^2}{2 \times 9.81}$$

$$hk = 0.120 \text{ m}$$


Total Kehilangan Tinggi :

$$hl_{total} = 0.0223 + 0.000437 + 0.0423 + 0.000478 + 0.120 + 1.3$$

$$hl_{total} = 1.478 \text{ m}$$

**4.7 Perhitungan Tinggi Jatuh Efektif.**

Tinggi jatuh efektif merupakan selisih antara elevasi muka air bendung ( $E_{MAW}$ ) dengan Tail Water Level (TWL) dikurangi dengan total kehilangan tinggi. Perhitungan tinggi jatuh efektif menggunakan persamaan 2-15. perhitungan sebagai berikut; (Linsley,1985:324).

Diketahui Q	= 28.607 m/dtk.
Elevasi muka air Bendung	= + 54.91
Elevasi TWL	= +44.91.

$$hl = 1.478$$

$$H_{\text{eff}} = E_{\text{MAW}} - \text{TWL} - hl$$

$$\text{Tinggi Jatuh efektif} = (54.91 - 44.91 - 1.478)$$

$$H_{\text{eff}} = 9.91 \text{ m.}$$

#### 4.8 Pukulan Air.

Analisa pukulan air adalah untuk mengetahui apakah diameter pipa yang telah dihitung sebelumnya mampu menahan perubahan tekanan, sesuai dengan syarat perubahan sebagai berikut (Patty, 1995:62).

<50% pada  $H_o = 0$  s.d. 50 m.

<25% pada  $H_o = 50$  s.d 150 m.

< 15% pada  $H_o = > 250$ .m

Pada analisa pukulan air (*water hammer*) akan menggunakan teori yang dikembangkan oleh L. Allevi dan Joukowskey, seperti pada pembahasan sebelumnya. Perhitungan kenaikan tekanan akibat adanya pukulan air dalam studi ini akan menggunakan persamaan 2.16 s./d. 2.19. Perhitungan sebagai berikut: (Davis,1952:642).

$$C = \frac{1}{\sqrt{\frac{W}{g} \times \left( \frac{1}{K} + \frac{d}{5 \times E} \right)}}$$

$$C = \frac{1}{\sqrt{\frac{1000}{9.81} \times \left( \frac{1}{2.2 \times 10^8} + \frac{2}{0.5 \times (2.1 \times 10^{10})} \right)}}$$

$$C = 4.503 \text{m/dtk}$$

##### 4.8.1 Penutupan Katup Secara Cepat

Sedangkan untuk penentuan tinggi tekan maksimum yang terjadi karena penutupan katup secara tiba-tiba dapat dihitung dengan persamaan 2.20:

$$\Delta h = \frac{C \times v}{g}$$

$$\Delta h = \frac{4.503 \times 0.65}{9.81} = 2.99 \text{ m}$$

Dari hasil peningkatan tinggi tekan ( $\Delta h$ ) maka untuk  $H_o$  antara 0m-50m diketahui  $\Delta h < 50\%$   $H_o$ . Sehingga tidak di perlukan surgetank (*tanki pendatar*).

#### 4.9 Pipa Pesat.

Perhitungan diameter pipa pesat menggunakan persamaan dari Balom's Formulae, untuk perhitunganya digunakan data-data sebagai berikut:

$$H_{eff} = 9.91m.$$

$Q$  = tekanan baja yang digunakan.

$$= 1300 \text{ kg/cm}^2.$$

$$= 13000 \text{ ton/m}^2 \text{ (digunakan baja SS 41).}$$

$$D = 2.5m.$$

Perhitungan tebal pipa pesat menggunakan persamaan 2-26, perhitungan adalah sebagai berikut: (Varshney, 1977:412).

$$H = \frac{0.002 + q \times (t)}{d + (0.002 \times t)}$$

$$10 = \frac{0.002 + 13000t}{2.5 + (0.002 \times t)}$$

$$t = 0.00230m = 2.3cm.$$

Untuk keamanan terhadap erosi maka ditambahkan tebal pipa 50 % sehingga tebal pipa menjadi 5 cm

#### 4.10 Turbin Air.

Turbin air adalah turbin yang bekerja dengan air sebagai fluida yang bekerja (Arismunandar.1988:64), karena air mengalir dari tempat yang lebih tinggi menuju ketempat yang lebih rendah, sehingga menimbulkan energi potensial.

Dalam proses aliran dalam pipa, energi potensial tersebut berangsur-angsur berubah menjadi energi kinetik di dalam turbin, energi kinetik air tersebut berubah menjadi energi mekanis, dimana air memutar roda turbin. Roda turbin dihubungkan dengan generator yang merubah energi mekanik (*gerak*) menjadi energi listrik (Arismunandar, 1984:64).

##### 4.10.1 Penentuan Tipe Turbin.

Turbin air sebagai fluida kerja, mempunyai beberapa klasifikasi berdasarkan pengubah momentum kerja, berdasarkan tinggi jatuh efektif dan berdasarkan kecepatan jenis dari turbin tersebut, maka klasifikasi turbin yang digunakan dapat ditambahkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan momentum kerjanya, dibagi menjadi turbin impuls dan turbin reaksi.
2. Berdasarkan tinggi jatuh efektifnya, klasifikasi turbin berdasarkan tinggi jatuh efektif, dalam penentuan tipe turbin disajikan dalam tabel 1.4. dari tabel tersebut diketahui bahwa dengan tinggi jatuh efektif 8.5m yang merupakan tinggi jatuh tingkat menengah, maka dapat dipilih turbin kaplan.

#### 4.10.2 Karakteristik Turbin.

Karakteristik turbin dalam studi ini dapat di klasifikasikan menjadi tiga klasifikasi yaitu: kecepatan spesifik, efisiensi, dan kecepatan lari secara rinci diuraikan berikut ini:

a. Kecepatan spesifik (*kecepatan jenis*).

Kecepatan jenis, adalah kecepatan turbin model (turbinnya sama tetapi skalanya berlainan), yang bekerja pada tinggi satu satuan tinggi jatuh dan dengan debit satu satuan debit kemudian menghasilkan daya output (*satu satuan daya*) dalam bentuk persamaan 2.27 kecepatan spesifik dinyatakan sebagai berikut: (Dandekar, 1991:397).

$$\begin{aligned}
 H &= 9.91\text{m,} \\
 n &= 555 \text{ rpm.} \\
 p &= 8 \text{ daun.} \\
 n_s &= \frac{1750}{\sqrt{9.91}} = 555 \text{ rpm.} \\
 N &= \frac{60 \times 50}{s} = 375 \text{ putaran/dtk.} \\
 P \text{ maks} &= \frac{375}{555} = 0.67 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

Dari data tinggi jatuh efektif maksimum dan kecepatan spesifik seperti pada tabel 1.3 dan tabel 1.5 maka kualifikasi turbin termasuk dalam tipe turbin kaplan dengan kecepatan jenis  $N_s = 330-560$ , dan termasuk turbin dengan kecepatan putar sedang.

b. Efisiensi turbin.

Setiap jenis turbin dan setiap kecepatan jenis masing masing mempunyai angka efisiensi yang berbeda-beda. Menurut (Arismunandar 1988:71). Agar dapat

menjamin kerja turbin disekitar daerah efisiensi maksimumnya serta untuk mencegah terjadinya kavitasi, maka biasanya tinggi air jatuh yang di perbolehkan harus di batasi. Untuk turbin francis dengan kecepatan jenis ( $N_s = 553$  rpm), dari tabel didapat besar harga efisiensi turbin pada daya maksimum 89,14% dan efisiensi maksimum sebesar 91,14% serta efisiensi tambahan 2,06% untuk menentukan besar efisiensi turbin yang bekerja dengan debit yang bervariasi.

#### c. Kecepatan liar

Kecepatan liar (*run away speed*) suatu turbin adalah kecepatan putar turbin tanpa beban debit tertentu. Pada turbin yang memiliki rotor (*runner blade*) dan baling-baling antar (*guide vane*) yang berbeda-beda dan ada hubungannya satu dengan yang lain, apabila tinggi jatuh air berbeda-beda, maka dipakai kecepatan lari sebesar 120-180 kali kecepatan normal (untuk turbin Kaplan). (Arismunandar.1988: 68).

#### 4.10.3 Dimensi Turbin.

Dimensi rotor turbin Kaplan ditentukan berdasarkan persamaan dimensi turbin, yaitu pada persamaan 2-28, dengan perhitungan dimensi adalah sebagai berikut: (Arismunandar, 1991:73).

$$H_{\text{eff}} = 9.91 \text{ m.}$$

$$Q = 28.607 \text{ m}^3/\text{dtk.}$$

$$n = 555 \text{ rpm.}$$

$$N = 375 \text{ rpm.}$$

Dari gambar untuk  $N_s = 555$  rpm didapat harga:

$$K_1 = \text{koefisien } 0.80$$

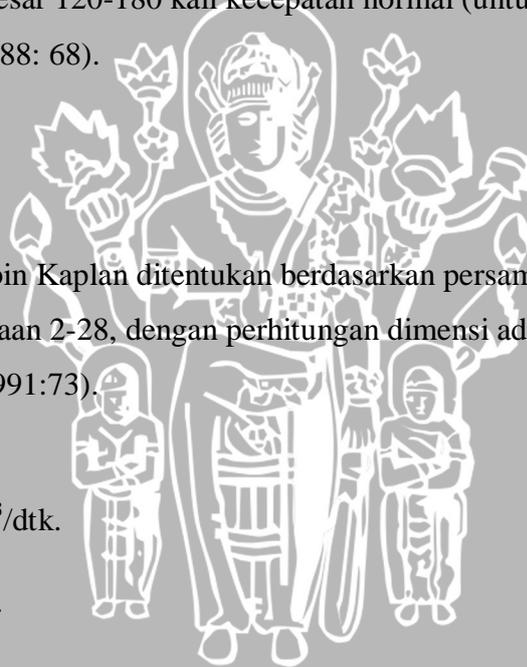
$$D_1 = 84.6 \times K_1 \times \frac{H^{\frac{1}{2}}}{n}$$

$$D_1 = 84.6 * 0.80 * (9.91^{1/2} / 555)$$

$$D_1 = 0.3556 \text{ m}$$

$$C_{m1} = 0.90$$

$$B = Q / p * D_1 * C_{m1} * (2 * g * H)^{1/2}$$



$$B = (28.60/1000) * 0.90 * (2 * 9.81 * 9.91)^{1/2}$$

$$B = 2.072 \text{ m}$$

$$C_2 = \text{koefisien } 0.90$$

$$D_2 = 0.228 * Q / (C_2 * \sqrt{H})^{1/2}$$

$$D_2 = 0.228 * 28.607 / (0.90 * \sqrt{9.91})^{1/2}$$

$$D_2 = 5.361 \text{ m}$$

#### 4.11 Kavitasi.

Jika kavitasi muncul pada turbin yang sedang berjalan, maka akan terjadi gejala-gejala yang berbahaya pada turbin, diantaranya menurunnya efisiensi, timbulnya getaran terdengar suara berisik dan lain-lain. Dalam turbin air, kavitasi terjadi pada bagian sudu rotor yang mengisap air pada ujung sebelah bawah dan atas dari roda putar pada pipa hisap bagian belakang sudu rotor, dan sebagainya untuk menghindari bertambahnya kavitasi maka perlu (Arismunandar, 1988:70).

1. Memilih sudu rotor yang tepat bentuknya, membuat secara teliti dan penyudahan permukaannya harus baik.
2. Memasukan rotor yang rendah terhadap permukaan air sebelah bawah (*tail water*).
3. Memilih kecepatan jenis yang kecil.
4. Memberi udara dalam jumlah yang tepat pada bagian atas dari pipa lepas.
5. Melapisi sudu rotor dengan bahan yang tahan terhadap kavitasi, seperti baja tahan karat.

Untuk mengontrol kavitasi digunakan suatu faktor kavitasi Thomas (Arismunandar 1991:70). Faktor kavitasi dimana kavitasi akan semakin bertambah sangat besar dan efisiensi turbin tiba-tiba menjadi sangat kecil disebut faktor kavitasi kritis ( $F_c$ ) faktor kavitasi ini berubah bila kecepatan jenis turbin bertambah hubungan antara nilai  $N_s$  dan  $\delta_c$  untuk beberapa jenis pada kondisi aman dan bahaya terhadap kavitasi. Daerah aman kavitasi untuk turbin Kaplan dengan  $N_s = 553$  rpm di dapat nilai  $\delta_c$  bergerak dari 0.015 sampai 0.1320. Pada studi ini direncanakan tinggi hisap ( $h_s$ ) adalah setinggi 0,91m, yang berarti runner berada pada ketinggian 0,91m di atas TWL, yaitu + 44.91

Perhitungan faktor kavitasi kritis adalah sebagai berikut persamaan 2.29. (Hasen, 1993:21,10).

Untuk elevasi TWL = + 44,00m

Suhu air = di asumsi 20<sup>0</sup>c

Hv = 0.23 m

Hs = 0.91

$$\sigma = (H_a - H_v - H_s) / H$$

$$\sigma = (20 - 0.23 - 0.91) / 9.91$$

$$\sigma = 1.9$$

Untuk setiap elevasi muka air ( $E_{MAW}$ ) turbin aman terhadap kavitasi hal ini berarti juga aman terhadap setiap debit yang keluar dari Bendung.

#### 4.12 Bangunan Pelengkap Pada Turbin.

Selain bangunan utama di atas, juga terdapat bangunan pelengkap yang berfungsi melindungi turbin dan generator dari gangguan dan kebisingan yang tidak diharapkan Dalam studi ini yang termasuk bangunan pelengkap pada turbin meliputi

##### 1. Rumah siput

Fungsi utama dari rumah siput adalah, untuk menahan bagian paling besar dari beban tekanan Hidrolik yang diterima oleh turbin tekanan lebihnya di tahan oleh sudu kukuh (*stay vane*) atau cincin kukuh (*stairing*) rumah siput dibuat dari plat baja, baja cor atau besi cor sesuai dengan tinggi terjun dan kapasitasnya (Arismunandar, 1991:54).

##### 2. Pipa lepas

Pipa lepas adalah pipa yang menghubungkan rotor (*runner*) dengan saluran bawah dimana potongan melintangnya membesar dibagian bawahnya Pipa lepas pada turbin reaksi dipakai untuk (Arismunandar.1991:56) Memanfaatkan tinggi terjun antara rotor dengan muka air bawah (*tail water*) secara efisien

mendapatkan kendali (*recover*) dan memanfaatkan energi kinetik air yang keluar. Secara umum dilihat dari penggunaannya pipa lepas dapat di bedakan menjadi dua golongan yaitu (Arismunandar, 1991: 56).

a. Jenis kerucut

Pipa lepas jenis kerucut terbuat dari baja dan kebanyakan dipakai untuk turbin jenis poros datar dengan kapasitas kecil hal ini untuk memudahkan mengatur debit rata-rata yang masuk dan mudah di kendalikan jika terjadi lendutan yang tajam.

b. Jenis siku

Pada pipa jenis siku, lapisan plat baja dipasang hingga pada ujung bagian yang bengkok dan terbenam pada beton cor, dan sisanya yaitu dari bagian yang bengkok hingga tempat keluar (*outlet*) biasanya di buat dari beton tanpa lapisan baja dalam studi perencanaan ini di gunakan pipa lepas yang berjenis siku (*elbowtype*) dengan pertimbangan tinggi hisap yang kecil dari pemasangan turbin berporos tegak.

3. Saluran bawah

Saluran bawah adalah saluran pembuangan terletak pada bagian belakang turbin digunakan untuk air yang keluar dari turbin kemudian diteruskan ke sungai saluran bawah banyak jenisnya misalnya saluran terbuka, saluran tertutup, dan sebagainya. (Arismunandar, 1991:45).

#### 4.13 Generator.

Generator adalah merupakan suatu alat yang dapat merubah energi gerak (*mekanis*) menjadi energi listrik. Pada studi ini akan dibahas mengenai klasifikasi generator, daya generator, efek roda gila, dan berat generator.

##### 4.13.1 Klasifikasi Generator.

Menurut Arismunandar, (1991:77), klasifikasi generator berdasarkan putaran pada porosnya meliputi

a. Generator dengan poros datar (*horizontal*).

Golongan poros datar ini sesuai untuk mesin-mesin berdaya kecil atau mesin-mesin berputaran tinggi serta memerlukan luas yang lebih besar.

b. Generator dengan poros tegak (*vertikal*).

Golongan poros tegak ini sesuai untuk mesin-mesin berputaran rendah.

Pemakaian golongan poros tegak sangat sesuai dengan generator turbin air karena memerlukan luas yang lebih kecil di bandingkan dengan golongan poros datar dalam studi ini direncanakan generator poros tegak.

#### 4.13.2 Daya Generator

Daya generator arus bolak-balik diukur dalam kilovolt ampere (kVA) untuk kenaikan suhu tertentu, dimana kenaikan suhu tersebut masih aman terhadap bahan-bahan isolasi. Daya semu (kVA) dari semua generator berbeda dengan daya nyatanya. Faktor daya tidak mungkin lebih besar dari satu nilainya tergantung dari nilai induktansi yang kecil misalnya beban penerangan, akan mempunyai faktor daya yang mendekati satu. Beban jaringan biasanya mempunyai faktor daya yang berkisar antara 0,8 dan 0,9 tetapi bila bebannya banyak motor induksi maka faktor dayanya dapat serendah 0,5 Persamaan 2.30 (Linsley,1991:170).

$$\text{Daya Nyata (kW)} = \text{Daya Semu (kVA)} \times \text{Faktor Daya.}$$

Dari kondisi daerah yang akan dilayani dan kondisi layanan pada umumnya lebih banyak untuk penerangan maka dalam studi ini digunakan faktor daya sebesar 0,85.

#### 4.13.2 Efek Roda Gila.

Generator perlu direncanakan dengan mengamati efek roda gila (*fleweell*).

Turbin air dengan Nilai  $GD^2$  dari generator yang direncanakan secara ekonomi tersebut. Sekalipun  $GD^2$  normal tergantung dari perhitungan perencanaan, bahan, dan metode perencanaan. perhitungan efek roda gila menggunakan persamaan 2.31

Perhitungan  $GD^2$  normal dari generator dengan efisiensi 0,85 adalah sebagai berikut: (Arismunandar,1991:80).

$$\text{Daya generator} = 9,81 * 0,90 * 0.80 * 28.607 * 9.91.$$

$$\begin{aligned}
 &= 2.002.3844 \text{ kWh.} \\
 \text{Faktor daya} &= 0,85 \text{ (asumsi)} \\
 \text{Daya teoritis} &= 9.81 * 28.607 * 9.91 \\
 &= 2.781.0895 \text{ kWh.} \\
 \text{Kecepatan putar} &= 555 \text{ rpm} \\
 \text{GD}^2 &= (132 * 2.781.0895^{4/3}) / (555^{2,15}). \\
 &= 0.000006495 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

#### 4.13.3 Berat Generator

Berat dari generator turbin air berbeda beda, tergantung pada perhitungan perencanaan, bahan,  $\text{GD}^2$ , kecepatan liar turbin air, perbandingan hubungan singkat dan faktor daya. dengan menggunakan persamaan 2.32 dapat dihitung berat generator, yang di gunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut:

$$\text{Daya semu} = 2.7810 \text{ kWh.}$$

$$\text{Kecepatan putar} = 555 \text{ rpm.}$$

Sesuai spesifikasi pekerjaan dan dari hasil ketentuan perhitungan, maka berat generator turbin air yang direncanakan adalah (Arismunandar, 1991: 81).

$$\begin{aligned}
 W &= 10 * (2.781/555)^{(5/7)} \\
 &= 1894.548 \text{ kg} \approx 1.89 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

#### 4.14 Perhitungan Daya.

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro adalah suatu bentuk perubahan tenaga air dengan ketinggian tertentu menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin dan generator nilai efisiensi turbin yang digunakan pada setiap debit bangkitan yang dikeluarkan, untuk mendapatkan besar daya listrik yang dihasilkan menggunakan persamaan, 2.33-2.35 perhitungan sebagai berikut: (Arismunandar, 1991:19).

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi jatuh efektif} &= 9,91 \text{ m.} \\
 \text{Debit pembangkit} &= 28.607 \text{ m/dtk.} \\
 \text{Debit keluaran} &= 10.439/28.607 = 0.364 = 36\%. \\
 \text{Efisiensi turbin} &= 0.80\%.
 \end{aligned}$$

Efisiensi generator = 80%-90%, dalam kajian ini digunakan 90%.

$$\begin{aligned} \text{Daya Teoritis} &= 9.81 \times n_g \times Q \times H_{eff} \\ &= 9.81 \times 0.9 \times 28.607 \times 9.91 \\ &= 2502.98 \text{ kwh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Daya Turbin} &= 9.81 \times n_t \times Q \times H_{eff} \\ &= 9.81 \times 0.8 \times 28.607 \times 9.91 \\ &= 2224.8716 \text{ kwh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Daya Generator} &= 9.81 \times n_g \times n_t \times Q \times H_{eff} \\ &= 9.81 \times 0.90 \times 0.80 \times 28.607 \times 9.91 \\ &= 2000.36 \text{ kwh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma P &= 2502.98 + 2224.872 + 2000.36 \\ &= 6728.212 \text{ kwh} \end{aligned}$$

#### 4.15 Energi Listrik.

Untuk nilai energi listrik tahunan PLTM Bendung Kambara direncanakan beroperasi penuh dalam satu hari operasi PLTM didasarkan atas kemampuan bendung untuk mensuplai debit pembangkit sehingga diperoleh dayaangkitan maksimum, Perhitungan energi tahunan menggunakan persamaan 2-36, perhitungan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Jumlah hari} &= 365 \text{ hari} \\ t &= 24 \text{ jam} \\ \Sigma P &= 6728.212 \text{ kWh} \\ E &= \Sigma P \times n_g \times n_t \times nt \\ &= 6728.212 \times 0.80 \times 0.90 \times 365 \\ &= 2.2 \times 10^6 \text{ MWh} \end{aligned}$$

Dalam perhitungan energi listrik tahunan yang dihasilkan oleh PLTM, maka di dalam studi akan di masukan besar penurunan kapasitas tampungan efektif yang di pengaruhi oleh sedimentasi hal tersebut berpengaruh pada besar energi listrik yang dihasilkan tiap tahun adapun besar penurunan tampungan efektif

berdasarkan studi perencanaan ini tampungan efektif dianggap konstan setiap tahun sebesar, 28.607 m/dtk untuk perhitungan di masukan dalam benefit pada analisa ekonomi.

#### 4.16 Analisa Biaya Perencanaan

Dalam studi kajian ini di bahas hanya pada biaya pembangunan meliputi biaya langsung dan biaya tidak langsung Adapun masing-masing elemen biaya dapat di jabarkan sebagai berikut:

1. Biaya langsung.
  - a. Biaya pipa pesat.
  - b. Biaya rumah pembangkit.
  - c. Biaya instalasi pembangkit.
2. Biaya tidak langsung.
  - a. *Administrasi*, 2% dari biaya langsung.
  - b. *Engineering*, 8% dari biaya langsung.
  - c. *Contingencies*, 5% dari biaya langsung.
  - d. Biaya operasi dan pemeliharaan.

##### a. Biaya Langsung

1. Pipa Pesat

Data yang diperlukan dalam perhitungan ini menggunakan persamaan

2.37 adalah sebagai berikut;

$$\begin{aligned}
 D \text{ (diameter pipa)} &= 3\text{m} \\
 L \text{ (panjang pipa)} &= 7\text{m} \\
 N \text{ (tebal pipa)} &= 0.9\text{cm} \\
 \text{CPS} &= (800 \cdot D_p) \cdot (LPT \cdot N)
 \end{aligned}$$

$$\text{CPS} = (800 * 3^{*1.66}) * 7 * 0.9$$

$$= \text{Rp. } 3.122.136.312,$$

## 2. Rumah Pembangkit.

Dalam perhitungan ini digunakan persamaan 2.38 adalah sebagai berikut

$$C_{HP1} = 3,9 \times 10^2 \times \frac{370,742^{0,71}}{9,917}$$

$$C_{HP2} = 6.0 \times 10^3 \times \left[ Q_p \times H_{eff}^{2/3} \times N^{1/2} \right]^{0.85}$$

$$C_{HP} = \text{Rp } 3.795.543.547,$$

## 3. Instalasi Pembangkit.

Perhitungan biaya instalasi pembangkit menggunakan persamaan adalah 2.39 sebagai berikut:

$$CPE = 5.9 * 10^3 * (1665.184/49.0200^{1/2})^{0.9}$$

$$= \text{R p. } 7.713.005.486,$$

Total biaya langsung adalah Rp. 14.240.837.901

### b. Biaya Tidak Langsung

1. Administrasi diambil sebesar 1,5% dari biaya konstruksi, dengan besar adalah sebagai berikut:

$$\text{Biaya administrasi} = 1.5\% * \text{Rp. } 14.240.837.$$

$$= \text{Rp. } 21.361.255,$$

2. Engineering, adalah biaya teknik yang dimulai dari studi awal hingga detail desain di ambil 8% dari biaya konstruksi,

$$\text{Biaya engineering} = 8\% * \text{Rp. } 14.240.837.$$

$$= \text{Rp. } 1.139.266.974,$$

3. Contingencies, adalah merupakan biaya yang sifatnya tidak terduga diambil 5% dari biaya konstruksi,

$$\text{Biaya contingencies} = 5\% * \text{Rp. } 14.240.837.$$

= Rp. 674.615.498,

Total biaya tidak langsung adalah:

= Rp. 15.446.404.921,

Tabell.9. Elemen Biaya

No	Jenis Pekerjaan	Biaya
1	Biaya langsung	
	Pipa pesat	Rp. 3.085.456.402,
	Rumah pembangkit	Rp. 3.795.543.230,
	Instalasi pembangkit	Rp. 7.713.005.395,
	<b>Total Jumlah</b>	<b>Rp</b>
2	Biaya tidak langsung	
	Administrasi	RP. 213.612.557,
	Engineering	RP. 1.139.266.974,
	Contingencies	RP. 674.615.201,
	<b>Total Jumlah</b>	<b>Rp</b>
	<b>Total Biaya Pembangunan</b>	<b>Rp</b>

Sumber: Hasil Perhitungan.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan.

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan yang telah dilakukan dengan memperhatikan batasan masalah, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dalam studi ini digunakan debit outflow irigasi ditambah dengan debit yang mengalir di atas Bendung yang telah ditinggikan dimana debit irigasi sebesar  $3.770 \text{ m}^3/\text{dtk}$ , sedangkan debit sungai yang mengalir diatas as bendung sebesar  $14.307 \text{ m}^3/\text{dtk}$ . Jumlah debit andalan yang dipersiapkan sebesar  $28.607 \text{ m}^3/\text{dtk}$  sebagai debit pembangkit untuk PLTMH Bendung Kambara dan beroperasi pada kondisi debit minimum  $3.770 \text{ m}^3/\text{dtk}$ .
2. Sedangkan kehilangan energi total yang terjadi pada pipa pesat 1.3 m
3. Dari hasil perhitungan di dapat tinggi jatuh efektif pada kondisi debit maksimum adalah sebesar 9.91 sehingga jenis turbin yang digunakan adalah turbin Kaplan
4. Dari hasil perhitungan di dapat daya teoritis sebesar  $=2502.98 \text{ kWh}$ , Daya turbin sebesar  $=2224.871 \text{ kWh}$ , Daya generator sebesar  $=2000.36 \text{ kWh}$ , Total daya yang di hasilkan sebesar  $=6728.212 \text{ kWh}$ , Energi tahunan di peroleh sebesar  $=2.2 \cdot 10^6 \text{ mWh}$
5. Biaya yang dibutuhkan untuk pembangunan PLTAM sebesar Rp=

#### 5.2 Saran

Dalam penyusunan studi ini penyusun menyadari masih banyak kekurangan sehingga perlu adanya tambahan-tambahan dari studi-studi selanjutnya antara lain;

- a. Ruang lingkup studi diperluas dengan membahas AMDAL
- b. AnalisaekonomiBCRdanIRR,supayadiketahuimanfaatsecarakeseluruhan.
- c. Diperlukan kerjasama pemerintah dengan elemen sumberdaya lainnya seperti, kerjasama dengan Universitas yang dapat menangani permasalahan pengembangan sumber daya air secara menyeluruh.

- d. Pengelolaan kekayaan alam di bumi pertiwi adalah hak setiap warga Negara dengan syarat; kaidah dan peraturan hukum yang ditentukan harus dipatuhi secara legowo serta cinta republik ini.

