

**SKRIPSI**

**ANALISIS PEMILIHAN FAKTOR DAYA TERHADAP KECEPATAN  
PUTAR PADA GENERATOR TURBIN AIR**



OLEH :

**MULIADI**  
**105821103117**

**ABDUL LATIF**  
**105821102117**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

**2024**

**HALAMAN JUDUL**

**ANALISIS PEMILIHAN FAKTOR DAYA TERHADAP  
KECEPATAN PUTAR PADA GENERATOR TURBIN AIR**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknik



**MULIADI**  
**105821103117**

**ABDUL LATIF**  
**105821102117**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

**2024**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**  
**FAKULTAS TEKNIK**



GEDUNG MENARA IQRA LT. 3  
Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar



**Kampus  
Merdeka**  
INDONESIA JAYA

Website : <https://teknik.unismuh.ac.id>, Email : [teknik@unismuh.co.id](mailto:teknik@unismuh.co.id)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

**HALAMAN PENGESAHAN**

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **ANALISIS PEMILIHAN FAKTOR DAYA TERHADAP KECEPATAN PUTAR PADA GENERATOR TURBIN AIR**

Nama : 1. Muliadi  
2. Abdul Latif  
Stambuk : 1. 105821103117  
2. 105821102117

Makassar, 29 Februari 2024

Telah Diperiksa dan Disetujui Oleh  
Dosen Pembimbing;

Pembimbing I

**Rizal Ahdiyati Duyo, S.T., M.T**

Pembimbing II

**Dr.Ir.Hj.Hafsah Nirwana, M.T**

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Elektro



**Dr. Adriani, S.T., M.T., IPM**

NBM: 1044 202

# UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

## FAKULTAS TEKNIK IGEDUNG MENARA IQRA LT. 3



Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221



Kampus  
Merdeka  
INDONESIA JAYA

Website : <https://teknik.unismuh.ac.id>, Email : [teknik@unismuh.co.id](mailto:teknik@unismuh.co.id)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

### PENGESAHAN

Skripsi atas nama **Muliadi** dengan nomor induk Mahasiswa **105821103117**, dan **Abdul Latif** dengan nomor induk mahasiswa **105821102117** dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0003/SK-Y/20201/091004/2024 sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Sabtu tanggal 29 Februari 2024.

Makassar, 19 Syaban 1445 H  
29 Februari 2024 M

Panitia ujian :

#### 1. Pengawas Umum

- Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar  
Prof. Dr. H. AMBO ASSE, M.Ag
- Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Prof. Dr. Eng. MUHAMMAD ISRAN RAMLI, ST., MT

#### 2. Penguji

- Ketua : Dr. Umar Katu, ST., MT
- Sekretaris : Anugrah ST., M.M

#### 3. Anggota : 1. Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M. Sc

2. Dr. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M. Eng
3. Dr. Ir. Adriani, S.T., M.T., IPM

Mengetahui :

Pembimbing I

Rizal Ahdiyati Duyo, S.T., M.T

Pembimbing II

Dr. Ir. Hj. Hafsah Nirwana, M.T



Dekan Fakultas Teknik

Dr. Ir. Hj. Sunawaty, S.T., MT., IPM

NBM : 795 108

# ANALISIS PEMILIHAN FAKTOR DAYA TERHADAP KECEPATAN PUTAR PADA GENERATOR TURBIN AIR

Muliadi<sup>1</sup>, Abdul Latif<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah  
Makassar

Email: [muliadisuper@gmail.com](mailto:muliadisuper@gmail.com)<sup>1</sup>, [latiffasteban@gmail.com](mailto:latiffasteban@gmail.com)<sup>2</sup>.

## ABSTRAK

Abstrak: Muliadi dan Abdul Latif (2023) Analisis Pemilihan Faktor Daya Terhadap Kecepatan Putar Pada Generator Turbin Air dibimbing oleh DR. Ir Hafsa Nirwana, S.T., M.T. dan Rizal A Duyo, S.T. M.T. Adapun tujuan dari pada penelitian ini adalah Menganalisis terhadap. pemilihan faktor daya pada kecepatan putar pada generator turbin air Menganalisa kapasitas daya listrik yang akan dibangkitkan berdasarkan sumber daya air dan kapasitas yang tersedia. Memilih generator dan jenis turbin yang sesuai. Metode yang dipergunakan pada penelitiann ini adalah mengadakan penelitian dan pengambilan data di Kecamatan Parangloe Kabupaten Gowa Propinsi Sulawesi Selatan. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini adalah. Faktor daya yang dipilih untuk dipergunakan antara 0,85-0,90 dan untuk faktor daya beban yang baik adalah 0,95. bagi generator turbin air yang sedikit jumlah kutubnya peninggian factor daya dilihat dari segi ekonomisnya lebih baik, sehingga kecepatan putar dari generator turbin air adalah merupakan kecepatan nominal dari turbin air. Sedangkan kecepatan maksimum dari generator juga merupakan kecepatan maksimum dari turbin air. Dengan penyediaan air sebagai sumber utama pembangkit daya listrik yang sifatnya berupa bendungan kemudian ditampung pada sebuah waduk, maka PLTA Bili-Bili ini akan bekerja optimal pada daya listrik maksimal 20 MW. Kecepatan masing-masing turbin adalah: Turbin I = 600 Rpm. Turbin II - 375 Rpm Makin besar debit air dan tinggi jatuh efektif yang didapatkan, maka daya yang dapat dibangkitkan untuk tiap-tiap unit turbin dan generator adalah: Turbin I = 5,6 MW. Turbin II = 13,2MW. Generator I = 5,046 MW. Generator II = 11,887 MW Kapasitas Generator yang digunakan adalah: Generator I = 5600 KVA. Generator II = 14000 KVA

**Kata kunci; Faktor Daya, Generator dan Turbin**

## **ANALYSIS OF POWER FACTOR SELECTION TO ROTATING SPEED IN WATER TURBINE GENERATORS**

**Muliadi<sup>1</sup>, Abdul Latif<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>*Electrical Engineering Study Program, Faculty of Engineering, University of Muhammadiyah  
Makassar*

Email: [muliadisuper@gmail.com](mailto:muliadisuper@gmail.com)<sup>1</sup>, [latiffastabar@gmail.com](mailto:latiffastabar@gmail.com)<sup>2</sup>.

### **ABSTRACT**

*Abstract : Muliadi and Abdul Latif (2023) Analysis of Power Factor Selection on Rotational Speed in Water Turbine Generators supervised by DR. Ir Hafsa Nirwana, S.T., M.T., and Rizal A Duyo, S.T., M.T. The aim of this research is to analyze. selecting the power factor for the rotational speed of the water turbine generator. Analyzing the capacity of electrical power to be generated based on water resources and available capacity. Select the appropriate generator and turbine type. The method used in this research was conducting research and collecting data in Parangloe District, Gowa Regency, South Sulawesi Province. The results obtained in this research are. The power factor chosen to use is between 0.85-0.90 and a good load power factor is 0.95. For water turbine generators that have a small number of poles, increasing the power factor from an economic perspective is better, so that the rotational speed of the water turbine generator is the nominal speed of the water turbine. Meanwhile, the maximum speed of the generator is also the maximum speed of the water turbine. By providing water as the main source of generating electrical power in the form of a dam and then storing it in a reservoir, the Bili-Bili hydroelectric power plant will work optimally at a maximum electrical power of 20 MW. -each turbine is: Turbine I = 600 Rpm. Turbine II - 375 Rpm The greater the water discharge and effective fall height obtained, the power that can be generated for each turbine and generator unit is: Turbine I = 5.6 MW. Turbine II = 13.2MW. Generator I = 5.046 MW. Generator II = 11,887 MW Generator capacity used is: Generator I = 5600 KVA. Generator II = 14000 KVA*

**Keywords; Power Factor, Generator and Turbine**

## KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena Rahmat dan HidayahNya sehingga penulis dapat menyusun skripsi ini, dan dapat kami selesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah persyaratan akademik yang harus ditempuh dalam rangka penyelesaian program studi pada Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun judul tugas akhir adalah : “Analisis Pemilihan Faktor Daya Terhadap Kecepatan Putar Pada Generator Turbin Air”

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan-kekurangan, hal ini disebabkan penulis sebagai manusia biasa tidak lepas dari kesalahan dan kekurangan baik itu ditinjau dari segi teknis penulis maupun dari perhitungan-perhitungan. Oleh karena itu penulis menerima dengan ikhlas dan senang hati segala koreksi serta perbaikan guna penyempurnaan tulisan ini agar kelak dapat bermanfaat.

Skripsi ini dapat terwujud berkat adanya bantuan, arahan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segalan ketulusan dan kerendahan hati, kami mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Ibu DR. Ir. Hj. Nurnawaty, S.T., M.T. sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
2. Ibu Adriani, ST, MT., sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

3. Ibu. DR. Ir. Hafsah Nirwana, S.T.,M.T, Selaku Pembimbing I dan Bapak Rizal A Duyo, ST, MT, selaku Pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktunya dalam membimbing kami.
4. Bapak dan ibu dosen serta staf pegawai pada fakultas teknik atas segala waktunya telah mendidik dan melayani penulis selama mengikuti proses belajar mengajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.
5. Ayahanda dan Ibunda yang tercinta, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala limpahan kasih sayang, doa dan pengorbanan terutam dalam bentuk materi dalam menyelesaikan kuliah.
6. Saudara-saudaraku serta rekan-rekan mahasiswa fakultas teknik terkhusus angkatan 2017 yang dengan keakraban dan persaudaraan banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga semua pihak tersebut di atas mendapat pahala yang berlipat ganda di sisi Allah SWT dan skripsi yang sederhana ini dapat bermanfaat bagi penulis, rekan-rekan, masyarakat serta bangsa dan Negara. Amin.

Makassar, 29 Februari 2024

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	
HALAMAN PENGESAHAN.....	
ABSTRAK .....	iv
KATAPENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	3
C. Tujuan Penulisan .....	3
D. Batasan Masalah.....	3
E. Manfaat Penelitian .....	4
F. Sistematika dan Metode Penulisan .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Sumber Daya Air.....	6
B. Waduk dan Bendungan Air .....	7
1. Waduk .....	7
2. Jenis-Jenis Bendungan .....	8
3. Bagian Pelengkap Bendungan .....	9

C. Jalanan Air.....	10
1. Bangunan Ambil Air (Intake) .....	10
2. Tangki pendatar.....	11
3. Saluran Pipa Pesat (Penstock).....	11
4. Saluran Bawah .....	12
D. Jenis-Jenis PLTA .....	13
E. Kapasitas Proyek .....	15
1. Perhitungan Tinggi Jatuh Efektif .....	15
F. Perhitungan Daya Dan Energi .....	17
G. Pemilihan Turbin Air .....	19
1. Spesifikasi dan Jenis Turbin Air .....	19
2. Konstruksi Turbin Air .....	21
3. Kecepatan Turbin.....	23
4. Penentuan Elevasi Turbin .....	25
5. Gejala Kavitasi.....	26
H. Generator.....	29
1. Umum.....	29
2. Konstruksi Generator .....	32
3. Klasifikasi Generator .....	34
4. Efek Roda Gila Dan Berat Generator .....	36
5. Kerja Paralel Generator.....	36
6. Sistem Penguatan Generator .....	37
7. Eksitasi Tegangan Generator .....	38

I. Bangunan Sentral.....	39
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
A. Waktu Dan Tempat .....	41
1. Waktu .....	41
2. Tempat .....	41
B. Metode Penelitian .....	41
C. Gambar Blok Diagram .....	44
<b>BAB IV ANALISA DAN PERHITUNGAN</b>	
A. Data Teknis PLTA Bili-Bili.....	46
B. Data Teknis Waduk.....	48
C. Perhitungan Tinggi Jatuh Efektif.....	49
D. Perhitungan Daya Dan Energi.....	53
E. Analisa Penggunaan Turbin .....	53
1. Pemilihan Jenis Turbin.....	53
2. Perhitungan Kecepatan Putar.....	55
F. Analisa Penggunaan Generator .....	56
1. Type Generator .....	57
2. Perhitungan Jumlah Kutub Generator.....	57
3. Pemilihan Faktor daya .....	58
4. Kapasitas Generator .....	59

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan .....	60
B. Saran-Saran .....	61
DAFTAR PUSTAKA .....	62



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Faktor gesek. ....	16
Tabel 2.2 Efisiensi dari jenis-jenis turbin. ....	18
Tabel 2.3 Penggolongan Turbin berdasarkan arah aliran.....	21
Tabel 2.4 Tegangan standar generator berdasarkan kapasitas daya.....	32
Tabel 2.5 Hasil analisa kapasitas daya listrik yang dapat dibangkitkan. ....	60



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Dua macam ukuran pipa dalam keadaan seri .....	15
Gambar 2.2 Diagram Moody. ....	16
Gambar 2.3 Tinggi tekan pada turbin. ....	20
Gambar 2.4 Konstruksi Turbin Pelton .....	21
Gambar 2.5 Konstruksi Turbin Aliran Diagonal.....	22
Gambar 2.6 Konstruksi Turbin Kaplan.....	23
Gambar 2.7 Karakteristik hubungan antara $a$ dan $n_s$	
a. Turbin Francis .....	28
b. Turbin Kaplan .....	28
Gambar 2.8 a. Karakteristik hubungan antara tinggi diatas permukaan laut dan tekanan atmosfer. ....	28
b. Hubungan antara suhu air dan tekanan uap.....	28
Gambar 2.9 Rotor kutub sepatu .....	33
Gambar 2.10 Rotor kutub slinder.....	34
Gambar 2.11 Klasifikasi generator menurut posisi bantalannya .....	35

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Bendungan serba guna Bili-bili dibangun atas dasar beberapa pertimbangan teknis, yang dalam kenyataannya akan memberikan suatu dampak yang sangat besar terhadap pengendalian banjir. Kerugian setiap tahun yang dialami kota Makassar adalah akibat dan banjir.

Untuk mengatasi hal tersebut telah diadakan studi awal, yang mana perlu adanya bangunan-bangunan dam sebagai pengendali banjir dan penyediaan air minum disamping itu juga direncanakan akan dibangun Pembangkit Listrik Tenaga Air.

Adapun fungsi dari pembangunan bendungan Bili-bili, yaitu :

1. Untuk meningkatkan kesejahteraan penduduk kota Makassar serta untuk keperluan air irigasi di Kabupaten Gowa dan sekitarnya.
2. Penyediaan air minum dan air untuk industri sampai kebutuhan untuk kota Makassar sebesar 3.300 liter/detik.
3. Untuk objek pariwisata dan perikanan darat.

Disamping ketiga fungsi tersebut di atas pada bendungan Bili-bili ini sedang dibangun suatu Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) yang mana hal tersebut akan menjadi obyek dari penulisan tugas akhir ini.

Lokasi bendungan serba guna Bili-bili, terletak  $\pm$  30 km di sebelah timur kota Makassar tepatnya di Kecamatan Parangloe Kabupaten Gowa Propinsi Sulawesi Selatan.

Area bendungan mencakup daerah tangkapannya seluas 384,40 km<sup>2</sup> dengan elevasi air seluas 103,00 km. Sebagai pembangunan bendungan ini adalah relokasi jalan Malino sepanjang 16,20 km.

Dari tahap pembangunan waduk dibagi dalam IV paket, dimana merupakan perencanaan fisik yang pembangunannya dimulai pada tahun anggaran 1992/1993.

Keempat paket tahap pembangunan tersebut adalah

Paket I : Relokasi Jalan Malino.

Paket II : Pekerjaan terowongan/bangunan pengelak.

Paket III : Pekerjaan bendungan dan

Paket IV : Pekerjaan bendungan fasilitas.

Dalam hal mengenai pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), sebelumnya masih dalam penanganan pihak OECF dari Jepang bersama-sama dengan Pihak Departemen Pekerjaan Umum, tetapi sekarang sudah dilimpahkan ke pihak PLN, dalam hal ini Proyek Induk Pembangkit Hidro dan transmisi Sulawesi Selatan.

Dengan dibangunnya Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) pada proyek bendungan serba guna Bili-bili, maka dalam penulisan tugas akhir ini penulis akan menganalisa mengenai kapasitas daya yang dibangkitkan oleh pembangkit listrik tersebut, dimana yang kami tinjau adalah kapasitas air yang tersedia untuk pembangkitan tenaga listrik.

Adapun nantinya produksi tenaga listrik ini sebagian akan dikonsumsi sendiri dan sebagian akan disuplai ke masyarakat melalui sistem jaringan interkoneksi baik yang sudah ada maupun yang akan direncanakan.

## **B. Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah pada penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana penyediaan air sebagai sumber utama pembangkit daya listrik yang sifatnya berupa bendungan kemudian ditampung pada sebuah waduk, sehingga PLTA bekerja optimal pada daya listrik maksimal.
2. Bagaimana mengfungsikan secara maksimal seperti PLTA lainnya, karena debit yang didapat tergantung dari departemen pekerjaan umum (PU), tidak dapat diatur oleh PLTA sendiri.
3. Bagaimana memaksimalkan kapasitas daya listrik yang dapat dibangkitkan berdasarkan debit air yang tersedia setelah mengalami rugi-rugi dari pipa penyalurannya hingga ke power house

## **C. Tujuan Penulisan**

Melihat latar belakang yang telah diuraikan di depan, maka tujuan penulisan ini ialah:

1. Menganalisis terhadap pemilihan faktor daya pada kecepatan putar pada generator turbin air
2. Menganalisa kapasitas daya listrik yang akan dibangkitkan berdasarkan sumber daya air dan kapasitas yang tersedia.
3. Memilih generator dan jenis turbin yang sesuai.

## **D. Batasan Masalah**

Dalam penulisan tugas akhir ini kami membatasi masalah yang dibahas, yaitu :

1. Menyangkut kapasitas daya listrik yang dapat dibangkitkan berdasarkan debit air yang tersedia setelah mengalami rugi-rugi dari pipa penyalurannya hingga ke power house
2. Pemilihan jenis turbin air serta generator yang sesuai untuk pembangkitan.

#### **E. Manfaat Penelitian**

1. Untuk memaksimalkan fungsi penyediaan air sebagai sumber utama pembangkit daya listrik yang sifatnya berupa bendungan kemudian ditampung pada sebuah waduk
2. Bagaimana pemanfaatan Penyediaan Pembangkit Listrik Tenaga Air air minum dan air untuk industri sampai kebutuhan untuk kota Makassar sebesar 3.300 liter/detik.
3. Untuk mengefektifkan air yang sampai ke turbin setelah mengalami rugi-rugi sepanjang pipa penyaluran, dipengaruhi oleh penentuan nilai koefisien gesek ( $e$ ) dari pipa, sehingga akan mempengaruhi pula daya listrik yang dapat dibangkitkan.

#### **F. Sistematika dan Metode Penulisan**

Sistematika penulisan yang kami lakukan dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

Pada BAB I: Pendahuluan yang menjelaskan secara umum tentang latar belakang penulisan, tujuan penulisan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

Pada Bab II : Membahas tentang tinjauan umum pembangkit Listrik Tenaga Air, yang di dalamnya membicarakan tentang fasilitas teknik sipil, pemilihan turbin air yang cocok berdasarkan jumlah debit air yang akan memutar turbin tersebut dan pemilihan generator. Sekaligus merupakan landasan teori yang akan dipergunakan dalam perhitungan kapasitas daya yang dapat dibangkitkan,

Pada Bab III : Membahas tentang waktu, tempat, alur dan metode penelitian

Pada Bab IV : Merupakan inti dari penulisan tugas akhir ini, yaitu data hasil penelitian dan analisa kapasitas daya listrik yang akan dibangkitkan berdasarkan kapasitas air yang tersedia pada proyek bendungan serba guna Bili-bili.

Pada Bab V : Adalah bab penutup dari tugas akhir ini yang terdiri atas kesimpulan dan saran.

Metode penulisan yang kami lakukan adalah mengolah data dengan mempergunakan persamaan-persamaan pada landasan teori, karakteristik, tabel referensi serta melakukan studi literatur terhadap buku-buku referensi yang digunakan.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Sumber Daya Air**

Potensi tenaga air dan pemanfaatannya sebagai pembangkit tenaga listrik pada umumnya berbeda dengan penggunaan tenaga yang berasal dari bahan bakar fosil. Hal ini disebabkan beberapa faktor yang menjadi pertimbangan sebagai berikut:

1. Sumber tenaga air secara teratur dibangkitkan kembali karena pemanasan lautan oleh penyinaran matahari, sehingga merupakan suatu sumber yang secara siklis diperbaharui.
2. Penggunaan sumber daya air pada umumnya merupakan pemanfaatan multiguna, karena biasanya dikaitkan dengan irigasi, pengendalian banjir, perikanan, penyediaan air bersih dan objek pariwisata.
3. Biaya pengoperasiannya rendah dan tidak terpengaruh dengan fluktuasi harga bahan bakar maupun transportasi untuk keperluan pengangkutan bahan bakar.

Pada dasarnya ada tiga faktor utama dalam penentuan pemakaian suatu potensi sumber tenaga air sebagai pembangkit listrik, yaitu :

1. Jumlah air yang tersedia, yang merupakan fungsi dari jatuh hujan.
2. Tinggi terjun yang dapat dimanfaatkan, dalam hal ini tergantung dari topografi daerah tersebut.
3. Jarak lokasi yang dapat dimanfaatkan terhadap adanya pusat-pusat beban atau jaringan transmisi.

## **B. Waduk dan Bendungan Air**

### **1. Waduk**

Waduk berfungsi untuk menghimpun air yang berlebihan dimusim hujan untuk dipergunakan pada waktu musim kemarau. Atau dengan kata lain waduk yang dipergunakan untuk suatu tujuan yang serba guna khususnya untuk suatu PLTA berfungsi untuk membantu memenuhi kebutuhan di waktu-waktu yang akan datang untuk suatu beban puncak.

Untuk pembangunan proyek serba guna ada dua kemungkinan yang dapat dilakukan untuk menampung air dalam sebuah waduk, yaitu pada kemungkinan pertama disediakan penampungan untuk masing-masing fungsi dari pemakaian air dan kemungkinan kedua adalah semua tampungan waduk dipergunakan bersama-sama.

Pada kemungkinan yang pertama kebutuhan tampungan untuk semua fungsi memerlukan suatu penampungan total yang cukup besar dan menghasilkan kapasitas yang maksimum, sedangkan untuk kemungkinan yang kedua akan menghasilkan penghematan yang maksimum dan hasil yang sesuai dengan skala prioritas yang dibutuhkan.

Aspek yang paling penting dalam perancangan waduk penyimpanan adalah suatu analisis tentang hubungan antara produksi dan kapasitas. Produksi adalah jumlah air yang dapat disediakan oleh waduk dalam suatu interval waktu tertentu. Interval waktu tersebut dapat berbeda-beda, mulai dari satu hari untuk waduk distribusi yang kecil hingga setahun atau lebih untuk waduk penyimpanan yang

besar. Produksi tergantung pada aliran masuk dan akan berubah-ubah dari tahun ke tahun.

Namun sesuai dengan fungsi waduk yang diharapkan dalam suatu perencanaan serba guna khususnya Pembangkit Listrik Tenaga Air adalah diharapkan waduk ini dapat memberikan penyediaan pemakaian sepanjang tahun.

## **2. Jenis-Jenis Bendungan**

Bendungan dapat digolongkan menurut strukturnya, bahan-bahan konstruksinya, tujuan kegunaannya, prinsip perencanaannya, tingginya dan lain-lain.

Penggolongan bendungan menurut bahan konstruksi dan prinsip perencanaan adalah:

- Bendungan beton, terdiri dari bendungan gravitasi, bendungan busur, dan bendungan-bendungan rongga.
- Bendungan urugan terdiri dari bendungan urugan batu dan bendungan tanah.
- Bendungan kerangka baja.
- Bendungan kayu.

Penggolongan bendungan sesuai dengan penggunaannya, misalnya bendungan pemasukan, bendungan penyimpanan, bendungan pengatur dan bendungan penyimpanan dipompa. Secara umum dapat disebutkan bahwa ada dua Jenis bendungan yaitu bendungan yang berfungsi untuk suatu penggunaan tertentu dan ada pula yang berfungsi serba guna yang lebih sering disebut bendungan serba guna.

Untuk bendungan serba guna penggunaan air adalah merupakan satu kesatuan dari semua penggunaannya.

### **3. Bagian Pelengkap Bendungan**

Bagian bendungan yang berfungsi sebagai pelengkap diantaranya adalah :

- saluran curam banjir atau saluran pelimpah, pipa kuras, pintu dan katup pengontrol.
- Saluran pelimpah dibangun dalam bendungan yang berfungsi untuk mengalirkan air yang berlebih pada waktu terjadi banjir.

Air tanah, pasir, batu dan sedimen-sedimen lainnya yang terbawa oleh aliran air yang masuk ke dalam bendungan akan terkumpul dalam tempat penampungan, sehingga bendungan tidak meluap, maka dibuat pipa kuras untuk mencegah terjadinya peluapan sedimen. Tempat kuras biasanya dilengkapi dengan pintu. Ada berbagai macam pintu yang merupakan pelengkap suatu bendungan, yaitu antara lain pintu air geser tegak, pintu air limpah silindrik, pintu air stoney, pintu tainter, pintu air guling, pintu air gerigi.

Pintu air geser tegak sering dipakai apabila bentangan dan tekanan air relatif kecil. Badan pintu air naik dan turun sepanjang alur pintu.

Pintu air geser tegak pelimpah silindrik banyak digunakan pada bendungan untuk menyalurkan air pasang. Pintu jenis ini sangat cocok untuk sungai yang lebar atau bila terdapat tekanan air yang besar.

Pintu air gerigi adalah jenis pintu air yang mempunyai gerigi sebagai ganti roda. Jenis ini digunakan untuk tekanan air besar dengan daya angkat yang besar, dan terutama dipakai untuk pintu masuk pada air dalam.

Katup yang digunakan sebagai pelengkap suatu bendungan dipasang pada saluran pembuang pada bendungan tersebut. Macam-macam katup yang dikenal adalah katup jarum katup pancaran rongga, katup Howell, dan lain sebagainya. Katup-katup ini dapat mengatur debit saluran pembuangan air dan yang sering dipergunakan adalah jenis katup pancaran rongga dan katup Howell.

### **C. Jalanan Air**

#### **1. Bangunan Ambil Air (Intake)**

Bangunan ambil air adalah fasilitas yang dipakai untuk mengambil air langsung dari sungai atau dari tempat penyimpanan ke dalam saluran air. Perbedaan antara PLTA jenis aliran sungai langsung dengan PLTA jenis waduk adalah untuk PLTA jenis aliran sungai, langsung menerima aliran air sungai dan harus dibangun berdekatan dengan bendungan ambil air, dengan memilih dasar sungai yang stabil dan tempat yang aman terhadap banjir. Pintu masuk harus dibuat di bawah permukaan ambil air yang terendah, sementara PLTA jenis waduk mendapatkan air dari waduk atau kolam sehingga bangunan ambil airnya harus merupakan fasilitas yang memungkinkan masuknya air dari waduk dengan tinggi permukaan berapa pun juga.

Pada dasarnya saluran air yang berhubungan dengan bangunan ambil air merupakan terowongan tekan dan bangunan pelengkapannya. Seperti, pintu ambil air, saringan dan lain-lain, biasanya menerima tekanan air yang kuat sehingga diperlukan desain konstruksi dan bahan yang khusus untuk itu.

## **2. Tangki Pendatar**

Tangki pendatar atau tangki pelepas tekanan mendadak ditempatkan pada terminal terowongan tekan pada pusat listrik jenis bendungan bersaluran, dan bertugas-mengatur jumlah air untuk menyerap pukulan air, apabila debit air pada turbin tiba-tiba berubah. Pusat listrik jenis bendungan biasanya tidak dilengkapi dengan tangki pendatar karena waduk yang dipergunakan bertugas sebagai pelepas tekanan.

## **3. Saluran Pipa Pesat (Penstock)**

Pipa pesat adalah pipa tekan yang dipakai untuk mengalirkan air dari tangki atas atau langsung dari bangunan ambil air ke turbin air. Saluran pipa tekan adalah dasar atau terowongan yang dipakai untuk menempatkan pipa pesat, dimana blok angker dan pelana yang berfungsi sebagai penahan pipa pesat tersebut.

Untuk pusat listrik jenis bendungan, kadang-kadang pipa pesat ini dipasang dalam tanggul, hal ini sesuai apabila pipa pesat dihubungkan dengan pusat listrik bawah tanah.

Dewasa ini untuk pipa pesat biasanya digunakan pipa baja. Dengan terbungkusnya pipa baja dengan pembungkus beton, merupakan satu kesatuan dalam upaya menahan tekanan air dan dari segi pertimbangan ekonomisnya menguntungkan

Fasilitas pipa pesat lainnya adalah katup pintu masuk dari turbin air yang dipasang pada ujung pipa pesat, katup udara dan pipa udara untuk menghindarkan keadaan hampa udara di dalam pipa atau untuk mengalirkan udara yang tinggal di bagian yang lengkung, lubang kerja untuk melakukan pemeriksaan dan perbaikan

pada pipa pesat serta katup buangan air untuk mengeringkan bocoran air dan lain-lain sebagainya.

Hubungan antara luas penampang pipa (A) dengan debit air (Q) dan kecepatan mengikuti persamaan:

$$V = \frac{Q}{A} \text{ (m/det)}$$

dimana:

$$A = \pi r^2 \\ = \frac{D^2}{4}$$

sehingga:

$$V = \frac{Q \cdot 4}{\pi \cdot D^2} \dots \dots \dots a,$$

Dimana : Q = debit air rencana (m /del).

D = diameter pipa (m)

#### 4. Saluran Bawah (Tail Race)

Saluran bawah adalah sebuah saluran yang dilalui oleh air yang keluar dari turbin air, terus ke sungai atau ke laut.

Setelah memanfaatkan energi kinetik air yang melalui turbin air, maka aliran ini yang akan keluar melalui saluran bawah. Saluran ini biasanya terdiri dari waduk awal yang dihubungkan dengan pipa lepas, saluran bawah dan pintu keluar. Waduk awal hendaknya dibuat dengan lebar saluran yang cukup besar, sehingga tidak terjadi perubahan permukaan air yang menyolok bila ada perubahan debit air yang mendadak. Waduk ini juga berfungsi menyalurkan air ke saluran bawah, setelah aliran air diatur terlebih dahulu sebelum dialirkan ke saluran ini. Pintu pipa

lepas umumnya dibuat di tempat pintu keluar pipa lepas atau di bagian pintu masuk waduk awal, untuk pemeriksaan dan perbaikan turbin, pipa lepas dan sebagainya.

Ada beberapa jenis saluran bawah, misalnya saluran terbuka, saluran tertutup, terowongan dan sebagainya. Saluran-saluran ini dibuat agak besar dari saluran atas, mengingat adanya kemungkinan perubahan mendadak dari debit air.

#### **D. Jenis - Jenis PLTA**

Pembangkit listrik tenaga air dengan memanfaatkan potensi sumber tenaga air dapat dibedakan atas dua golongan, yaitu :

##### **1. Penggolongan berdasarkan tinggi terjun.**

- Pusat listrik jenis terusan air, adalah pusat listrik yang mempunyai tempat ambil air di hulu sungai dan mengalirkan air ke hilir melalui terusan air dengan kemiringan yang agak kecil. Tenaga listrik dibangkitkan dengan cara memanfaatkan tinggi terjun dengan kemiringan sungai tersebut.
- Pusat listrik jenis bendungan adalah jenis pusat listrik dengan bendungan yang melintang sungai, guna menaikkan permukaan air di bagian hulu bendungan. Hal ini berguna untuk membangkitkan tenaga listrik dengan memanfaatkan tinggi terjun yang diperoleh antara sebelah hulu dan hilir sungai.
- Pusat listrik gabungan antara jenis bendungan dan terusan air. Jenis ini membangkitkan tenaga listrik dengan menggunakan tinggi terjun yang didapat dari bendungan dan terusan.

## 2. Penggolongan berdasarkan aliran air.

- Pusat listrik jenis aliran sungai langsung, yang kerap kali dipakai pada pusat listrik dengan memanfaatkan aliran sungai itu sendiri secara alamiah.
- Pusat listrik jenis kolam pengatur, mengatur aliran sungai setiap hari atau setiap minggu dengan menggunakan kolam pengatur yang dibangun melintang sungai dan membangkitkan tenaga listrik sesuai dengan perubahan beban.

Selain itu, ada pula jenis lain dengan kolam pengatur yang dibangun di hilir pusat listrik puncak dengan waduk berkapasitas besar atau kolam yang mengatur perubahan aliran air yang konstan. Pusat listrik semacam ini disebut jenis kolam kompensasi.

- Pusat listrik jenis waduk mempunyai sebuah bendungan besar yang dibangun melintang sungai. Dengan demikian terjadi sebuah danau buatan, kadang-kadang sebuah danau asli dipakai sebagai waduk. Air yang dihimpun dalam musim hujan dikeluarkan pada musim kemarau. Jadi pusat listrik jenis ini sangat berguna untuk pemakaian sepanjang tahun.
- Pusat listrik jenis dipompa adalah jenis PLTA yang memanfaatkan tenaga listrik yang kelebihan pada musim hujan atau pada saat pemakaian tenaga listrik berkurang pada tengah malam. Pada waktu air dipompa kembali oleh pompa ke atas disimpan dalam waduk. Jadi, pusat listrik jenis ini memanfaatkan kembali air yang didapat untuk membangkitkan tenaga listrik pada beban puncak pada siang hari untuk Eropa (untuk Indonesia sekitar pukul 19.00).

## E. Kapasitas Proyek

### 1. Perhitungan Tinggi Jatuh Efektif

Tinggi jatuh efektif adalah selisih antara tinggi jatuh total dari permukaan air pada pengambilan sampai permukaan air saluran bawah dengan kehilangan tinggi pada saluran air.

Dengan persamaan

$$H_{\text{efektif}} = H_T - H_L \dots\dots\dots(2)$$

Dimana

$H_T$  = Tinggi jatuh total (m),

yaitu tinggi jatuh dari permukaan air normal hingga saluran air bawah.

$H_L$  = Kehilangan tinggi jatuh (m)

yaitu, rugi-rugi tinggi air yang bekerja efektif pada turbin yang sedang berjalan.



Gambar 2.1 Pipa dalam keadaan sen

Untuk menghitung  $H_L$ , digunakan rumus sebagai berikut:

$$H_L = 0,5 \frac{v_1^2}{2g} + \frac{4f_1 L_1 v_1^2}{2g D_1} + K \frac{v_2^2}{2g} + \frac{4f_2 L_2 v_2^2}{2g D_2} + \frac{v_2^2}{2g} \dots\dots\dots(3)$$

(a)            (b)            (c)            (d)            (e)

dimana:

a = jalan masuk                      c = penyusutan

b = gesekan pada pipa 1    d = gesekan pada pipa 2

e = jalan keluar

Parameter yang digunakan adalah :

- Kekasaran mutlak untuk pipa baja dikeling e = 3 mm.
- Konstanta (K) = 0,5

Untuk menghitung kecepatan (V), digunakan rumus sebagai berikut:

$$v = \frac{4.Q}{\pi.D}$$

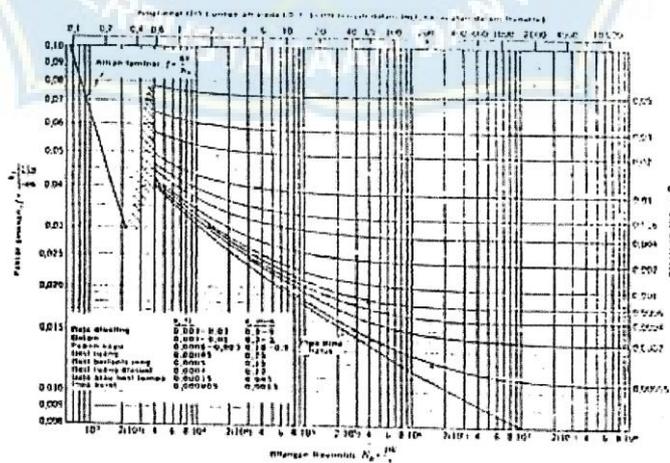
Faktor gesekan merupakan suatu fungsi dari kekasaran nisbi pipa (e/D).

Beberapa nilai numerik dari faktor gesekan dapat ditampilkan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Faktor gesek

e/D	0,00001	0,0001	0,001	0,01	0,05
F	0,00806	0,0120	0,0196	0,0379	0,0716

Untuk faktor gesekan / dan nilai kekasaran mutlak e diperlihatkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Diagram moody untuk memperkirakan nilai f pipa

## F. Perhitungan Daya dan Energi

Dengan meninjau tenaga potensial suatu massa yang beratnya kg pada suatu ketinggian relatif H (meter) terhadap pusat percepatan gravitasi maka persamaannya :

$$W = EP - m \cdot g \cdot H \dots \dots \dots (4)$$

di mana:

EP = Energi potensial.

$$\text{Untuk : } m = \frac{VS}{g}$$

Maka :

$$EP = V S H \text{ (kg-m)} \dots \dots \dots (5)$$

di mana :

W = Energi potensial air (kg-m)

V = Volume air (m<sup>3</sup>)

S = Berat jenis air(kg/m<sup>3</sup>)

H = Tinggi terjun(m)

Misalkan V (m<sup>3</sup>) diganti dengan debit air Q (m<sup>3</sup>/det), maka diperoleh persamaan :

$$P = SQH \text{ (kg-m/det)} \dots \dots \dots (6)$$

di mana :

$$1 \text{ kg-m/det} = 1/75 \text{ (Hp)}$$

$$1 \text{ Hp} = 736 \text{ W}$$

$$S = 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

maka diperoleh persamaan :

$$P = \frac{1000 \cdot 0.736 \cdot Q \cdot H}{75} \text{ (KW)}$$

dan daya teoritisnya adalah :

$$P = 9,8 \cdot Q \cdot H \text{ (kW) ..... (7)}$$

Daya turbin :

$$P = 9,8 \cdot Q \cdot \eta_T \cdot H \text{ (kW) ..... (8)}$$

Daya generator :

$$P = 9,8 \cdot Q \cdot \eta_T \cdot \eta_G \cdot H \text{ (kW) ..... (9)}$$

Dalam hal ini daya generator merupakan daya keluaran PLTA.

Kapasitas Generator dapat diperoleh dari persamaan sebagai berikut :

$$Kv_{\text{gen}} = \frac{P}{\cos\phi} \text{ ..... (10)}$$

Adapun efisiensi dari masing-masing turbin dapat diberikan sebagai berikut:

Tabel 2.2 Efisiensi dari jenis-jenis turbin

Turbin	Efisiensi
Turbin Pelton	80-87
Turbin Francis	80-90
Turbin aliran diagonal	80-90
Turbin baling-baling (kaplan)	80-85

## **G. Pemilihan Turbin Air**

### **1. Spesifikasi dan Jenis Turbin Air**

Ada dua jenis turbin air yang dikenal, yaitu :

- a. Turbin Impuls.
- b. Turbin reaksi.

Prinsip kerja turbin impuls adalah rotor bekerja karena aliran air. Beda tinggi yang ada di ubah menjadi kecepatan karena perbedaan tinggi. Adapun yang menjadi khas dari jenis ini adalah turbin Pelton, dengan pasangan ember-ember pada keliling luar rotor yang bekerja karena pancaran air dari mulutnya.

Turbin reaksi bekerja karena aliran air dengan tinggi terjun karena tekanan. yang termasuk dari turbin jenis ini adalah turbin Francis, turbin aliran diagonal dan turbin baling-baling.

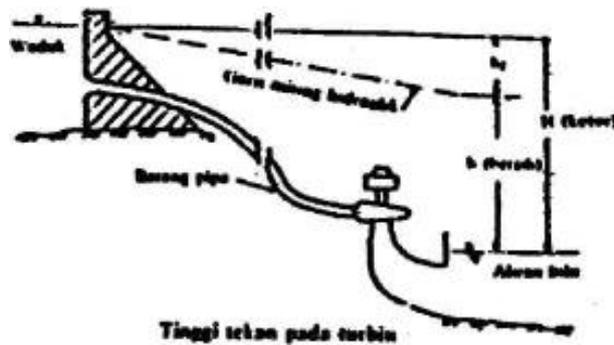
Turbin Francis adalah turbin dimana air mengalir ke rotor dengan arah radial dan keluar dengan arah aksial, perubahan arah terjadi sambil melewati rotor.

Turbin aliran diagonal adalah turbin dimana air melewati rotor dengan arah diagonal, menuju ke pompa.

Turbin baling-baling adalah turbin dimana air melewati rotor dengan arah aksial.

Perbedaan kemiringan (elevasi) dari muka air antara hulu dan hilir dari turbin adalah tinggi tekan, di bawah tinggi tekan tersebut turbin berfungsi.

Dalam hal ini, tidak ada muka air bebas. Perbedaan antara jumlah seluruh tenaga pada kedua sisi turbin memberikan suatu ketinggian.



Gambar 2.3. Tinggi tekan pada turbin

Dalam menjelaskan pemilihan turbin perlu dilakukan penggolongan tinggi tekan berdasarkan suatu wilayah yang ada hubungannya dengan tinggi air.

Penggolongan tinggi tekan tersebut:

- Tinggi tekan rendah 2 - 15 m
- Tinggi tekan sedang 16 - 70 m
- Tinggi tekan tinggi 71 - 500 m

Dengan melihat penggolongan tersebut diatas, dapat dikatakan bahwa untuk tinggi tekan rendah hanya turbin baling-baling (atau turbin turbulas yang sifat hidrauliknya sama dengan turbin Kaplan) yang dipergunakan.

Untuk tinggi tekan menengah selain turbin Kaplan dapat dipergunakan juga jenis turbin Francis. Untuk tinggi tekan yang tinggi dipergunakan turbin Francis atau turbin Pelton.

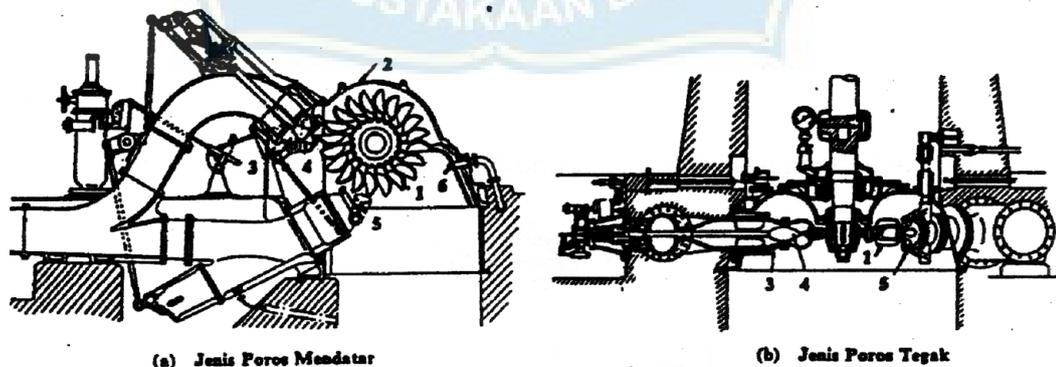
Untuk tinggi tekan sangat tinggi, dipergunakan turbin Pelton dengan berbagai macam penyesuaian. Dalam hal pemilihan turbin berdasarkan arah alirannya, berikut ini diberikan suatu tabel yang menggolongkan jenis turbin berdasarkan arah alirannya.

Tabel 2.3 Penggolongan turbin berdasarkan arah aliran

Jenis turbin	Arah aliran
Francis	Radial atau gabungan
Pelton	Tangensial
Baling-baling/Kaplan	Aksial
Deriaz	Diagonal

## 2. Konstruksi Turbin Air

Konstruksi turbin Pelton adalah cocok untuk dipakai pada tinggi terjun yang tinggi. Rotornya dilengkapi dengan ember yang dipasang di sekeliling piringannya. Ember-ember tersebut menerima semprotan air dari mulut-mulut pancaran yang kemudian mengembalikan pancaran air ini setelah membaginya ke arah kiri dan kanan dengan bantuan sebuah punggung yang terdapat ditengah ember. Ember ini mengalihkan tenaga impuls yang didapatnya dari piringan. Sebuah jarum, dipasang di pusat mulut pancaran untuk mengatur jumlah aliran air, yaitu dengan menggerakkannya maju dan mundur dan untuk mengisi lubang ke luar dari mulut pancaran ini, digerakkan oleh pengatur kecepatan sesuai dengan perubahan beban. Hal ini dapat terlihat pada gambar 2.4.(a).



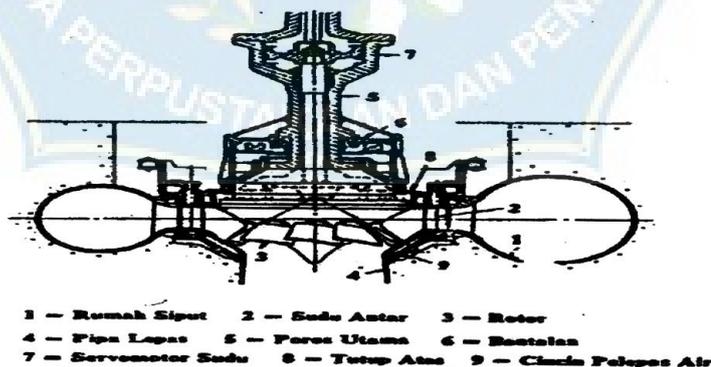
Gambar 2.4 Konstruksi turbin Pelton

Deflektor adalah alat untuk membelokkan pancaran air yang dipasang antara mulut pancaran dan rotor. Kenaikan kecepatan turbin air dan kenaikan tekanan pada pipa pesat dikendalikan oleh sebuah katup kecil.

Turbin Francis dipakai untuk keperluan yang tinggi terjunnya menengah. Rumah siput dibuat dari plat baja, baja cor atau besi cor, sesuai dengan tinggi terjun dan kapasitasnya. Tekanan selebihnya ditahan oleh sudu kukuh yang diatur di sekeliling luar rotor dan mengatur daya keluar turbin dengan mengubah-ubah bukaannya sesuai dengan perubahan beban, melalui suatu mekanisme pengatur. Bentuk rotornya berbeda-beda disesuaikan dengan cepat jenisnya.

Turbin jenis aliran diagonal mempunyai sudu rotor yang dapat digerakkan (di putar menurut sumbu masing-masing) seperti turbin baling-baling. Turbin aliran diagonal dilengkapi dengan pengatur bilah sudu secara otomatis dan disebut juga turbin Deriaz. Turbin jenis aliran diagonal ini cocok dipakai untuk tinggi terjun yang tinggi.

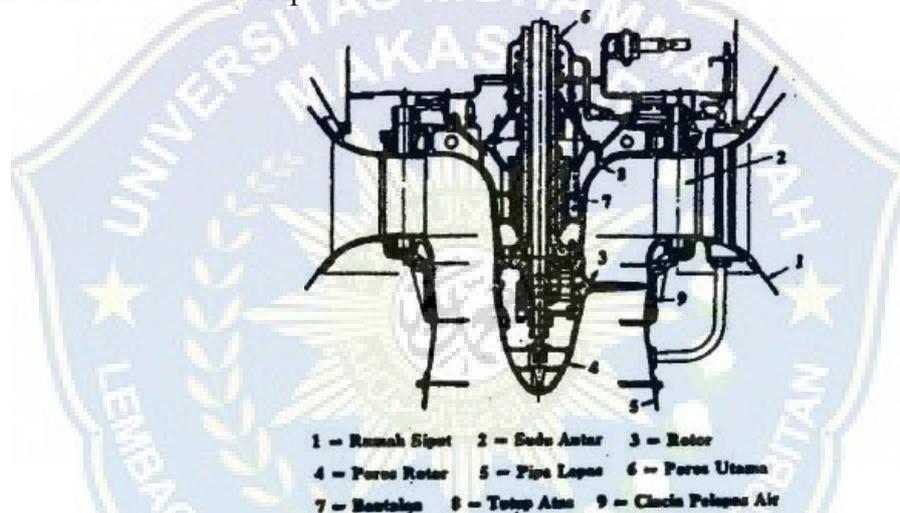
Gambar berikut memperlihatkan konstruksi dari turbin aliran diagonal.



Gambar 2.5 Konstruksi Turbin Aliran Diagonal

Turbin jenis baling-baling digolongkan menjadi dua menurut konstruksi bilah rotornya, yaitu turbin baling-baling dengan bilah rotor tetap dan turbin Kaplan dengan bilah sudu yang dapat digerakkan secara otomatis dan hidrolik. Sudu rotor pada turbin Kaplan mempunyai konstruksi yang dapat digerakkan (menurut sumbunya) dan dapat merubah arah sudu antaranya.

Bilah rotor dibuka dan ditutup oleh tekanan minyak melalui katup pengontrol rotor dari alat pengatur kecepatan. Gambar berikut memperlihatkan konstruksi dari turbin Kaplan.



Gambar 2.6 Konstruksi Turbin Kaplan

Hubungan antara pembukaan sudu antar dan sudu bilah biasanya dipertahankan oleh alat penghubung dari pengatur kecepatan, agar turbin dapat bekerja dengan daya guna yang tinggi.

### 3. Kecepatan turbin

Kecepatan jenis atau cepat jenis adalah kecepatan turbin (model turbin dengan bentuk sama tapi skalanya berbeda), yang bekerja pada tinggi 1 satuan tinggi jatuh dengan debit 1 satuan debit dan menghasilkan daya 1 satuan daya.

Kecepatan jenis turbin tersebut dapat diketahui dengan persamaan :

Untuk turbin Francis :

$$ns = \frac{20000}{H+20} + 30 \dots\dots\dots (11)$$

Turbin aliran diagonal :

$$ns = \frac{20000}{H+20} + 40 \dots\dots\dots (12)$$

Turbin Baling-baling atau kaplan :

$$ns = \frac{20000}{H+20} + 50 \dots\dots\dots (13)$$

Turbin Felton :

$$12 = ns = 23$$

Bila generator akan dioperasikan. maka turbin air berputar sesuai dengan kecepatan yang diinginkan yang diatur dengan pengatur kecepatan, sedemikian sampai tercapai putaran nominal dari turbin dan generator yang diinginkan. Dengan mengetahui kecepatan jenis turbin tersebut, maka dapat dihitung kecepatan putar n, berdasarkan rumus :

$$n = ns \frac{H^{\frac{5}{4}}}{P^{\frac{1}{2}}} = ns \frac{H^{1,25}}{P^{0,5}} \dots\dots\dots(14)$$

di mana :

n = Kecepatan nominal turbin (rpm)

ns = Kecepatan jenis turbin

H = Tinggi terjun efektif (m)

P = Daya output (kW)

#### 4. Penentuan Elevasi Turbin

Untuk turbin Pelton titik pusatnya ditentukan 1-2 meter diatas muka air banjir di saluran bawah. Karena turbin ini umumnya dipakai untuk tinggi terjun yang besar, maka kerugian tinggi secara keseluruhan kecil dan tidak berarti.

Untuk turbin Francis dan turbin Kaplan mula-mula nilai  $n$  dihitung, dan koefisien kavitasi kritis ( $\sigma_s$ ), ditentukan dari gambar 2.7. Kemudian diperkirakan suatu kelonggaran tertentu (1,3 - 1,4 kali  $\sigma_s$ ) dan faktor kavitasi ( $\sigma_p$ ) waktu operasi diberikan.

Tinggi isap dapat diketahui dengan persamaan ;

$$H_s = H\sigma - H_v - \sigma_p H \dots\dots\dots (15)$$

dimana. :

$H_a$ = Tekanan atmosfer W

$H_v$ = Tekanan uap jenuh.

$H$ . = Tinggi terjun efektif (m)

Elevasi titik pusat turbin air didapat dengan menambahkan  $H_s$  pada muka air saluran bawah terendah yang telah ditentukan.

Dalam menentukan elevasi turbin perlu diperhatikan dari faktor-faktor keandalan yang tinggi dari turbin air itu sendiri.

Turbin Francis dalam pengembangannya sangat maju dan berhasil memasuki daerah tinggi terjun yang besar (daerah turbin Pelton) karena mempunyai konstruksi yang sederhana dan keandalan yang tinggi. Disamping itu turbin Francis mempunyai cepat jenis yang tinggi dan dapat mencapai kecepatan yang cukup besar karena harga generator pada umumnya menjadi rendah.

Untuk turbin Pelton, bila tinggi muka air banjir besar mencapai saluran bawah, tidak menguntungkan karena tidak dapat memanfaatkan tinggi terjun yang terdapat di bawah elevasi turbin.

Pemilihan jenis Kaplan untuk daerah tinggi terjun yang rendah, bila tinggi terjun dan beban sering sekali berubah, maka turbin Kaplan yang baik. Untuk turbin Kaplan, cepat jenisnya tinggi dan harga generatornya menjadi rendah. Namun tinggi isapnya perlu diturunkan, hingga pipa lepasnya menjadi lebih besar dan biaya pekerjaan sipil bertambah.

## **5. Gejala Kavitasasi**

Kavitasasi adalah suatu gejala fisik yang dialami oleh cairan, kapan saja tekanan umum mendekati tekanan uap, misalnya pada kondisi hampa udara. Pada saat tekanan turun menjadi tekanan uap, air mulai menguap pada saat yang sama, gas-gas yang larut secara normal juga mulai menjadi bebas seiring dengan tekanan yang menjadi rendah. Jadi pada air yang mengalir, gelembung-gelembung kecil terbentuk yang berisi uap dan gas. Gelembung-gelembung ini dapat disebut sebagai kavitasasi di dalam aliran.

Apabila gelembung-gelembung udara terbawa ke dalam daerah yang bertekanan lebih tinggi, maka gelembung-gelembung udara tadi akan pecah dan sekitar cairan tersebut mengalir udara yang dengan cepat mengisi rongga-rongga yang terjadi karena pecahnya gelembung-gelembung udara. Kekuatan dorong yang terjadi karena kegiatan tersebut pada umumnya bertekanan sangat tinggi yang menyebabkan permukaan yang padat dimana kejadian tersebut berlangsung. Jika kavitasasi timbul pada turbin yang sedang berjalan, maka akan terjadi gejala yang

berbahaya terhadap turbin, di antaranya menurunkan efisiensi, timbulnya getaran, terdengarnya berisik, dan lain-lain. Dalam turbin air, kavitasi terutama terjadi pada roda putar, pipa isap dan pada bagian belakang sudu rotor. Untuk menghindarkan bertambahnya kavitasi perlu:

- a. Memilih sudu rotor yang tepat bentuknya, membuatnya secara teliti dan penyudahan permukaannya harus baik.
- b. Memasang rotor pada posisi yang rendah terhadap permukaan air sebelah bawah.
- c. Memilih kecepatan jenis yang kecil.
- d. Memberi udara dalam jumlah yang tepat pada bagian atas dari pipa lepas.
- e. Melapisi sudu rotor dengan bahan yang tahan terhadap kavitasi, seperti baja tahan karat 13 Cr dan 18-8 Vi-Cr.

Faktor kavitasi dari Thoma adalah yang umum dipakai dan merupakan angka indeks bertambahnya kavitasi:

$$\sigma = \frac{H\sigma - H_v - H_s}{H} \dots\dots\dots (16)$$

di mana:

H = Tinggi jatuh air efektif (m)

H<sub>v</sub> = Tekanan uap air di sebelah bawah sudu rotor atau pada bagian atas pipa lepas (m).

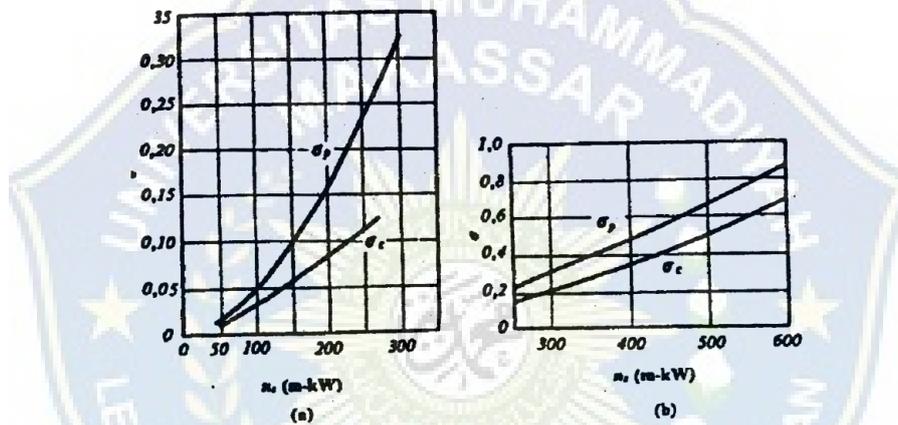
H<sub>s</sub> = Tinggi isap (m)

H<sub>σ</sub> = Tekanan atmosfer (m)

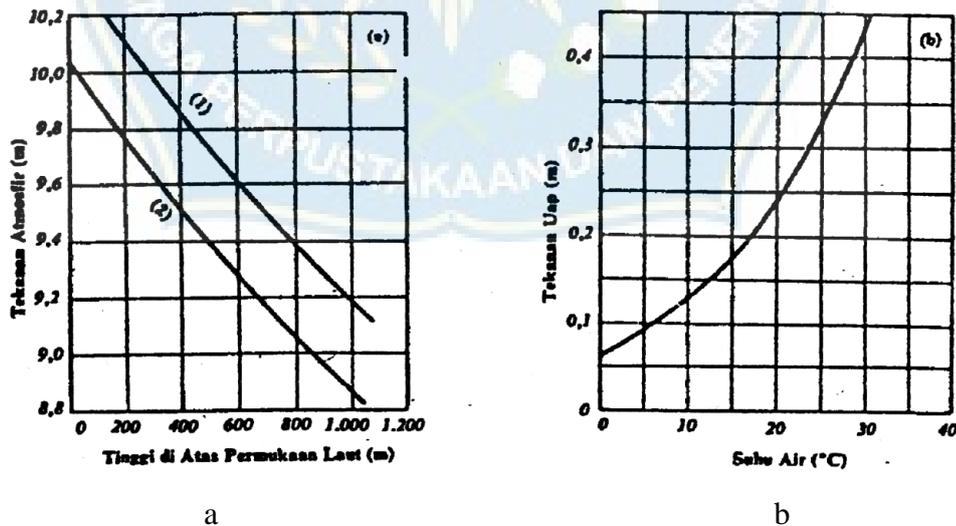
Faktor kavitasi dimana kavitasi bertambah sangat besar dan efisiensi turbin tiba-tiba menjadi sangat menurun disebut faktor kavitasi kritis (σ<sub>c</sub>). Faktor kavitasi

ini akan berubah bila kecepatan jenis turbin berubah. Faktor kavitas instalasi ( $\sigma$ ) pada waktu turbin berjalan dalam keadaan normal hendaknya mempunyai kelonggaran yang cukup terhadap ac. Hubungan antara kecepatan jenis dan  $\sigma$  dapat dilihat pada gambar 2.7.

Hubungan antara tinggi turbin dari permukaan air laut dan tekanan atmosfer dapat dilihat pada gambar 2.8 (a). Hubungan tekanan uap air kenyal dan temperatur air dapat dilihat pada gambar 2.8. (b).



Gambar 2.7 hubungan antara  $\sigma$  dan  $n$ , untuk (a) turbin Francis (b) Turbin Kaplan



a  
Hubungan antara tinggi diatas  
Permukaan atmosfer

b  
hubungan antara suhu air dan  
tekanan uap

Gambar 2.8

## **H. Generator Sinkron**

### **1. Umum**

Mesin sinkron sebagai suatu generator AC yang digerakkan oleh sebuah turbin adalah suatu alat yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Sebaliknya sebagai motor, mesin merubah energi listrik menjadi energi mekanis.

Bagian utama suatu mesin sinkron adalah susunan ferromagnetik. Bagian yang diam adalah suatu selinder yang kosong yang disebut stator atau jangkar yang mempunyai parit-parit (slots) memanjang yang di dalamnya terdapat lilitan kumparan stator. Lilitan ini membawa arus yang diberikan pada suatu sumber listrik atau oleh suatu generator. Rotor adalah bagian dari mesin yang dipasang pada suatu poros yang berputar di dalam stator. Lilitan pada rotor adalah lilitan medan dan di catu dengan arus DC. GGL yang sangat tinggi yang dihasilkan oleh arus dalam lilitan medan bercampur dengan GGL yang dihasilkan oleh arus dalam lilitan stator. Fluks resultance pada celah udara antara stator dan rotor dibangkitkan dalam kumparan lilitan stator dan menyebabkan terjadinya momen putar antara stator dan rotor.

Arus DC dicatu pada lilitan medan oleh sebuah dinamo medan (exiter = penguat) yang berupa generator yang terpasang pada poros atau sebuah sumber DC tersendiri yang dihubungkan pada lilitan medan melalui gelang-gelang seret. Generator AC yang besar biasanya mempunyai sebuah sumber AC dengan perata arus solid state.

Dilihat dari segi penggerak mulanya, generator dapat dibagi menurut kelompok-kelompok berikut :

Generator Industri (industrial generator), yang biasanya digerakkan oleh sebuah mesin diesel. Generator ini pada umumnya mempunyai putaran sampai 1500 rpm per menit dan daya sampai 5 atau 10 MW.

Generator Hidro digerakkan oleh turbin air. Karena massa air yang besar, maka putaran biasanya tidak terlalu tinggi dan terletak antara 90 dan 1000 putaran per menit. Daya generator dapat mencapai 750 MW atau lebih. Turbin-turbin reaksi jenis Kaplan atau Francis biasanya mempunyai putaran yang lebih rendah dan daya yang lebih tinggi, sedangkan roda Pelton pada umumnya dapat memiliki putaran yang lebih tinggi tapi daya yang lebih rendah.

Generator Turbo, digerakkan oleh turbin uap dengan kecepatan tinggi, biasanya 3000 putaran per menit. Daya generator dapat pula mencapai nilai yang tinggi, hingga 10.000 MW atau lebih.

Momen putar elektromagnetis yang dibangkitkan di dalam generator ketika generator memberi daya adalah berlawanan dengan momen putar dari penggerak mula. Selisih antara kedua momen putar ini adalah yang disebabkan oleh rugi di dalam teras-besi dan karena gesekan.

Prinsip dasar terjadinya gaya gerak listrik dinyatakan dengan hukum Faraday berikut ini :

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} = \frac{dT}{dt} \dots \dots \dots (17)$$

di mana:

$T = N \cdot \phi$  merupakan flux linkage (flux yang dirangkum. Web -lilitan)

$\phi$  = Menyatakan harga flux yang berubah ubah terhadap waktu.

Pada umumnya gandingan flux suatu kumparan sama dengan integral permukaan dari komponen normal rapat flux magnetic yang diinteraksikan ke sembarang permukaan yang direntang oleh kumparan itu.

Bagi suatu rangkaian magnetik yang mempunyai hubungan linier antara B (kerapatan flux dalam web/m<sup>2</sup>) dan H (kuat medan dalam. A/m), karena bahannya permeabilitas konstan atau karena celah udara yang dominan, maka dapat didefinisikan hubungan T - i dengan induksi L sebagai:

$$L = \frac{T}{i} \dots\dots\dots (18)$$

di mana:

T = Nφ adalah flux yang dirangkul (web - lilitan).

φ = Digunakan untuk menyatakan nilai sesaat dari flux yang berubah- ubah terhadap waktu.

dengan memasukkan persamaan 17 ke persamaan 18, diperoleh :

$$e = \frac{d}{dt} (Li) \dots\dots\dots (19)$$

untuk rangkaian magnetik dengan kumparan tunggal.

Karena dalam peralatan konversi energi elektromekanik induktansi sering berubah-ubah terhadap waktu, karena itu persamaan 18 harus ditulis :

$$e = L \frac{di}{dt} \dots\dots\dots(20)$$

Dalam keadaan kumparan banyak, untuk menentukan tegangan ujung kumparan harus digunakan flux total yang dirangkum dalam persamaan 20.

Untuk menentukan tegangan standar sebuah generator ini sangat diperhatikan karena akan mempengaruhi kemampuan isolasi yang digunakan.

Tegangan lebih tinggi akan mengakibatkan bertambah tebalnya isolasi dan harga generator menjadi mahal, akan tetapi tegangan yang terlalu rendah dibandingkan dengan kapasitasnya akan menyebabkan berkurangnya jumlah lilitan pada gulungan stator, sehingga membatasi keleluasaan perencanaan.

Untuk pemilihan tegangan standar generator berdasarkan kapasitas dayanya dapat diberikan secara kasar pada tabel berikut:

Tabel 2.4 Tegangan standar generator berdasarkan kapasitas daya

<b>Tegangan standar (KV)</b>	<b>Kapasitas Daya (MVA))</b>
3,3	<3
6,6	5-10
11	10-50
13,2	50-100
15,4 atau 16,5	>100

Pemilihan faktor daya pada umumnya dipilih antara 0,85-0,90. Akan tetapi pada keadaan faktor daya beban yang baik, dipilih faktor daya lebih dari 0,95. Bagi generator turbin air yang sedikit jumlah kutubnya, peninggian faktor daya dilihat dari segi ekonomisnya lebih baik.

Kecepatan putar dari generator turbin air adalah merupakan kecepatan nominal dari turbin air. Sedangkan kecepatan maksimum dari turbin air juga merupakan kecepatan maksimum dari generator.

## 2. Konstruksi Generator

Dalam generator DC, lilitan jangkar dipasang pada bagian mesin yang berputar agar memungkinkan pengubahan tegangan bolak-balik yang dibangkitkan dalam lilitan menjadi tegangan searah pada terminal melalui penggunaan komutator

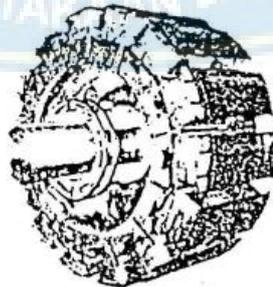
yang berputar. kutub medan diletakkan pada bagian mesin yang diam. Dalam semua generator arus bolak-balik bertegangan rendah yang kecil, medan diletakkan pada bagian yang berputar atau rotor, dan lilitan jangkar pada bagian yang diam atau stator dari mesin.

Lilitan jangkar atau stator bisa salah satu dari sekian banyak tipe. Tipe yang banyak digunakan adalah lilitan rangkaian terbuka yang terbentuk dari kumparan yang terisolasi terpisah mirip dengan lilitan sengkeli generator dc.

Sebenarnya, lilitan yang demikian tersusun dari tiga lilitan terpisah (pada generator tiga fasa), yang masing-masing terpisah satu dengan yang lain 120 derajat. Ketiga lilitan bisa hubungan Y ataupun delta.

Ada dua jenis yang berbeda dari struktur medan generator sinkron ; tipe kutub-sepatu (salient) dan silinder.

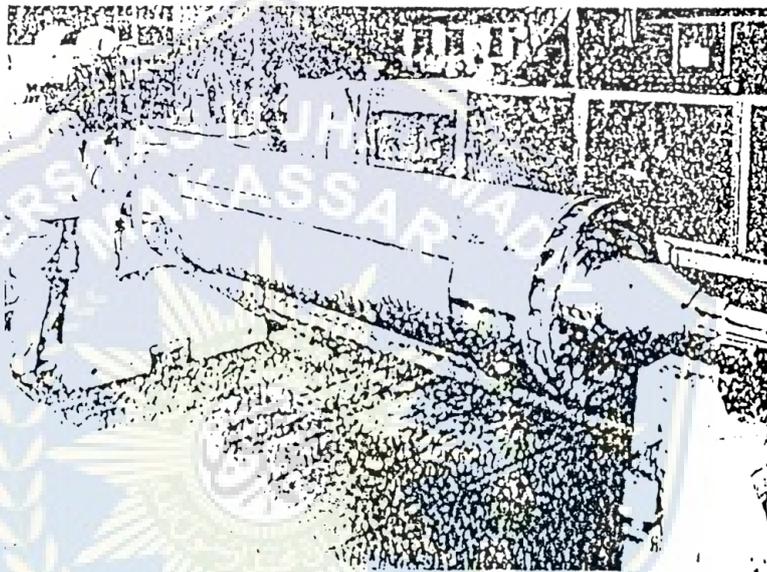
Generator kepesatan rendah seperti yang digerakkan oleh mesin disel atau turbin air yang mempunyai rotor dengan kutub medan yang menonjol atau kutub medan sepatu seperti rotor yang ditunjuk dalam gambar 2.9. Kepingan kutub yang dilaminasi dengan kumparan medannya dipasang pada bingkai dari besi, yang terpasok pada poros.



Gambar 2.9 Rotor Kutub sepatu

Generator kepesatan tinggi atau tipe turbo mempunyai rotor silinder seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2.10. Rotor yang ditunjukkan akan dibelitan

untuk dua kutub dan dirandang bekerja pada 3600 putaran per menit (rpm). Konstruksi silinder penting dalam mesin kepesatan tinggi karena tinggi tipe kutub sepatu sukar dibuat untuk menahan tekanan pada kepesatan tinggi, Lebih lanjut, rotor kutub sepatu mempunyai rugi angin yang tinggi pada kepesatan tinggi. Generator arus bolak balik dengan konstruksi rotor slinder digerakkan oleh turbin uap atau gas.



Gambar 2.10 Rotor kutub silinder

### 3. Klasifikasi Generator

Berdasarkan arah porosnya, generator turbin air dibagi dalam ;

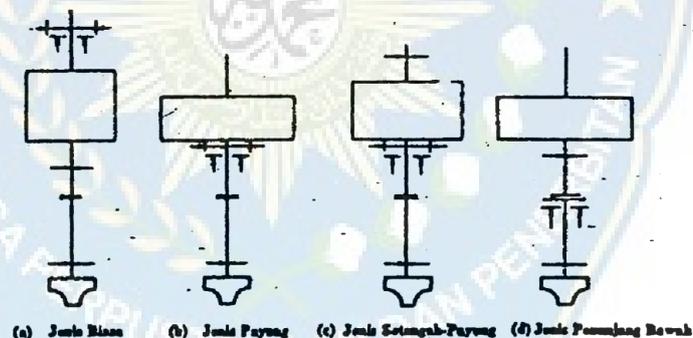
- Golongan poros datar (horizontal).
- Golongan poros tegak (vertikal).

Golongan poros datar sesuai untuk mesin-mesin berdaya kecil atau mesin-mesin berputaran tinggi, sedangkan golongan poros tegak sesuai untuk mesin-mesin berdaya besar atau mesin-mesin berputaran rendah. Penggunaan golongan poros tegak sangat baik untuk generator turbin air, antara lain karena golongan

poros tegak memerlukan luas ruangan yang kecil dibandingkan dengan golongan poros datar.

Ditinjau dari letak bantalannya, golongan poros tegak ini dibagi dalam empat bentuk:

- a. Bentuk biasa (conventional), yang dilengkapi dengan bantalan poros dorong diatas rotor (gambar a).
- b. Bentuk payung (umbrella), yang dilengkapi dengan bantalan poros dorong di bawah rotor (gambar b).
- c. Bentuk setengah panjang, yang dilengkapi dengan bantalan poros dorong dan bantalan antar bawah di bawah rotor (gambar c).
- d. Bentuk penunjang bawah, yang dilengkapi dengan bantalan poros dorong diatas tudung turbin air (gambar d).



Gambar 2.11 Klasifikasi generator menurut posisi bantalannya

Menurut sistem pendinginannya dikenal dua bentuk, yaitu :

- Saluran terbuka (open).
- Saluran tertutup (closed).

Pada pendinginan udara saluran terbuka, udara dihisap langsung dari suatu bangunan ke dalam tudung generator lalu dibuang keluar bangunan melalui saluran

udara, sedangkan dalam hal pendinginan udara saluran tertutup, udara dihisap ke dalam dan dikeluarkan lagi dari suatu bangunan melalui saluran-saluran tersendiri. Mesin-mesin berdaya besar biasanya dilengkapi dengan sistem peredaran udara tertutup, dimana udara di dalam mesin diedarkan melalui suatu pendinginan udara.

#### 4. Efek roda Gila Dan Berat Generator

Sebuah generator perlu direncanakan sesuai dengan efek roda gila  $GD^2$  untuk turbin air. Nilai  $GD^2$  dari generator yang direncanakan secara ekonomi, disebut  $GD^2$  normal dari generator  $GD^2$  normal, tergantung pada perhitungan perencana, dan metode perencanaan dengan menggunakan persamaan :

$$GD^2 \text{ normal} = \frac{132 \times (KA)^{\frac{4}{3}}}{n^{2,15}} \text{ (tm}^2\text{)} \dots\dots\dots (21)$$

di mana:

n = Kecepatan putaran (rpm).

Berat dari generator-turbin air berbeda-beda, tergantung pada perhitungan perencana, bahan  $GD^2$ , kecepatan lari turbin air dan faktor daya.

Rumus harga dari berat generator sebagai fungsi dari kecepatan putar dan daya keluar:

$$W = 10 \times \left[ \frac{KVA}{n} \right]^{5/7} \text{ (t)} \dots\dots\dots (22)$$

#### 5. Kerja Paralel Generator

Untuk melayani beban berkembang, kita harus memparalelkan dua atau lebih generator dengan maksud untuk memperbesar kapasitas daya yang dibangkitkan. Di samping tujuan diatas, kerja paralel juga sering dibutuhkan untuk

menjaga kontinuitas pelayanan apabila ada mesin (generator) yang harus dihentikan, misalnya untuk istirahat atau reparasi. Untuk memparalelkan suatu generator, ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi, yaitu :

- a. Harga sesaat GGL kedua generator harus sama besar dan berlawanan arah. Atau harga tegangan efektif terminal generator harus sama besar dan berlawanan arah dengan-harga efektif tegangan jala-jala.
- b. Frekuensi kedua generator atau frekuensi generator dengan jala-jala harus sama.
- c. Fasa kedua generator harus sama dan berlawanan setiap saat.
- d. Urutan fasa kedua generator harus sama.

## **6. Sistem Penguatan Generator**

Generator arus bolak-balik dijalankan dengan cara membangkitkan medan magnetnya dengan arus searah. Sistem penguatan digolongkan menurut cara penyediaan tenaganya. Dalam sistem penguatan mesin searah, dipergunakan suatu generator searah untuk membangkitkan sumber tenaganya. Untuk itu dipakai penguatan (exciter) shunt tunggal atau kombinasi dari penguat utama dan pandu (pilot).

Generator arus searah dihubungkan langsung pada poros generator utama atau diputar oleh mesin lain yang terpisah, tergantung pada besarnya putaran generator utama, kemampuan penguatan dan bekerjanya sistem kontrol Pada sistem eksitasi dengan arus bolak-balik, arusnya disearahkan untuk penguatan. Sistem ini dimungkinkan penerapannya karena adanya perkembangan teknologi penyearah (rectifier) semi konduktor. Penguatan dengan mesin arus searah secara

konvensional. mempunyai kelemahan dalam hal pemeliharaan sikatnya dan reaksi cepat dari penguat.

Ada tiga jenis penguatan arus bolak-balik, yaitu :

- a. Generator arus bolak-balik dengan eksitasi sendiri, di mana sebagian dari daya arus bolak-balik yang dibangkitkan, dipergunakan untuk eksitasi rangkaian yang dipergunakan
- b. Dengan generator arus bolak-balik tanpa sikat di mana arus bolak-balik dari generator yang, dipergunakan sebagai eksitasi disearahkan dengan penyearah (rectifier) pada rotor generator utama, langsung dialirkan pada lilitan penguat magnet tanpa menggunakan cincin slip.
- c. Penguatan generator majemuk dengan eksitasi sendiri.

## **7. Eksitasi Tegangan Generator**

Setelah generator AC mencapai kepesatan yang sebenarnya oleh penggerak mulanya, medannya dieksitasi dari catu DC. ketika kutub lewat dibawah konduktor jangkar yang berada pada stator, fluksi medan yang memotong konduktor menginduksikan GGL kepadanya. Ini adalah GGL bolak-balik, karena kutub dengan polaritas yang berubah-ubah terus menerus melewati konduktor tersebut. Karena tidak menggunakan komutator, GGL bolak-balik yang dibangkitkan keluar pada terminal lilitan stator.

Besarnya GGL yang dibangkitkan bergantung pada laju pemotongan garis gaya; atau dalam hal generator, besarnya GGL bergantung pada kuat medan dan kepesatan rotor. Karena generator kebanyakan bekerja pada kepesatan konstan, maka besarnya GGL yang dibangkitkan menjadi bergantung pada eksitasi medan.

Ini berarti bahwa besarnya GGL yang dibangkitkan dapat dikendalikan dengan mengatur besarnya eksitasi medan yang diberikan pada generator. Eksitasi medan dapat langsung dikendalikan dengan mengubah besarnya tegangan eksitasi yang dikenakan pada medan generator.

Frekuensi GGL yang dibangkitkan bergantung pada jumlah kutub medan dan kecepatan generator. Pada kumparan tertentu, akan dibangkitkan tegangan satu siklus lengkap bila sepasang kutub rotor (kutub utara dan selatan) digerakkan melewati kumparan. Maka jumlah siklus yang dibangkitkan dalam satu putaran rotor sama dengan jumlah pasang kutub rotor atau  $p/2$ , dimana  $p$  adalah jumlah total kutub. Jika  $n$  adalah kecepatan rotor dalam putaran permenit, maka  $n/60$  adalah putaran persekon. Frekuensi dalam hertz atau siklus per sekon, maka :

$$f = \frac{p}{2} \times \frac{n}{60} = \frac{pn}{120} \dots\dots\dots(23)$$

Sejauh ini frekuensi jala-jala yang paling umum digunakan di Amerika adalah 60 Hz, dan ada juga sedikit yang menggunakan 25 Hz. Frekuensi yang biasa digunakan di Eropa adalah 50 Hz, dan inilah yang digunakan di Indonesia.

Diketahui dari ilmu dalam elementer, bahwa bilamana sebuah penghantar bergerak dalam sebuah medan magnet, maka dalam penghantar itu akan diinduksikan suatu gaya gerak listrik. dan bilamana rangkaian penghantar tersebut ditutup, maka akan mengalir arus induksi sebagai akibat gaya gerak listrik itu.

## **I. Bangunan Sentral**

Bangunan sentral (power house) adalah nama umum bagi fasilitas yang berisikan turbin air, generator dan mesin-mesin pembantu lainnya. Ada berbagai macam bangunan sentral menurut bagiannya yang terletak di atas tanah dan

menurut bentuk pondasi turbin air dan generator. Pada umumnya apabila bangunan sentral direncanakan pemilihan lokasi dan bentuk bangunan atas tanahnya (superstructure) penting sekali. Ini ditentukan setelah dipertimbangkan segala kemungkinannya, seperti, letak geografi, keadaan geologi, kedudukan timbal-balik antara bendungan dan terusnya, sulit atau mudahnya pembangunannya, pemeliharaannya, dan lain sebagainya.

Macam-macam bangunan sentral menurut bagiannya di atas tanah PLTA dapat dibagi dalam tiga macam, yaitu jenis pasangan dalam bangunan (indoor), jenis pasangan-luar (outdoor), jenis pasangan setengah-luar, jenis bawah-tanah (underground) dan jenis setengah bawah-tanah. Umumnya bila dipakai turbin dan generator jenis poros-tegak (vertical shaft), permukaan lantai generator harus lebih tinggi daripada muka air banjir. Karena itu jenis banyak-lantai dipakai bila muka air banjir sangat tinggi. Namun karena jenis ini konstruksinya tidak ekonomis, maka dipakai jenis-jenis terdahulu dengan, konstruksi khusus, seperti dinding halang rembasan (cut-off wall), dan lain sebagainya; akhir-akhir ini jenis lantai-ganda jarang dipakai.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **A. Waktu dan Tempat**

##### **a. Waktu**

Pembuatan aplikasi ini akan dilaksanakan selama 6 bulan, mulai dari bulan Agustus 2023 sampai dengan Januari 2024 sesuai dengan perencanaan waktu yang terdapat pada jadwal penelitian.

##### **b. Tempat**

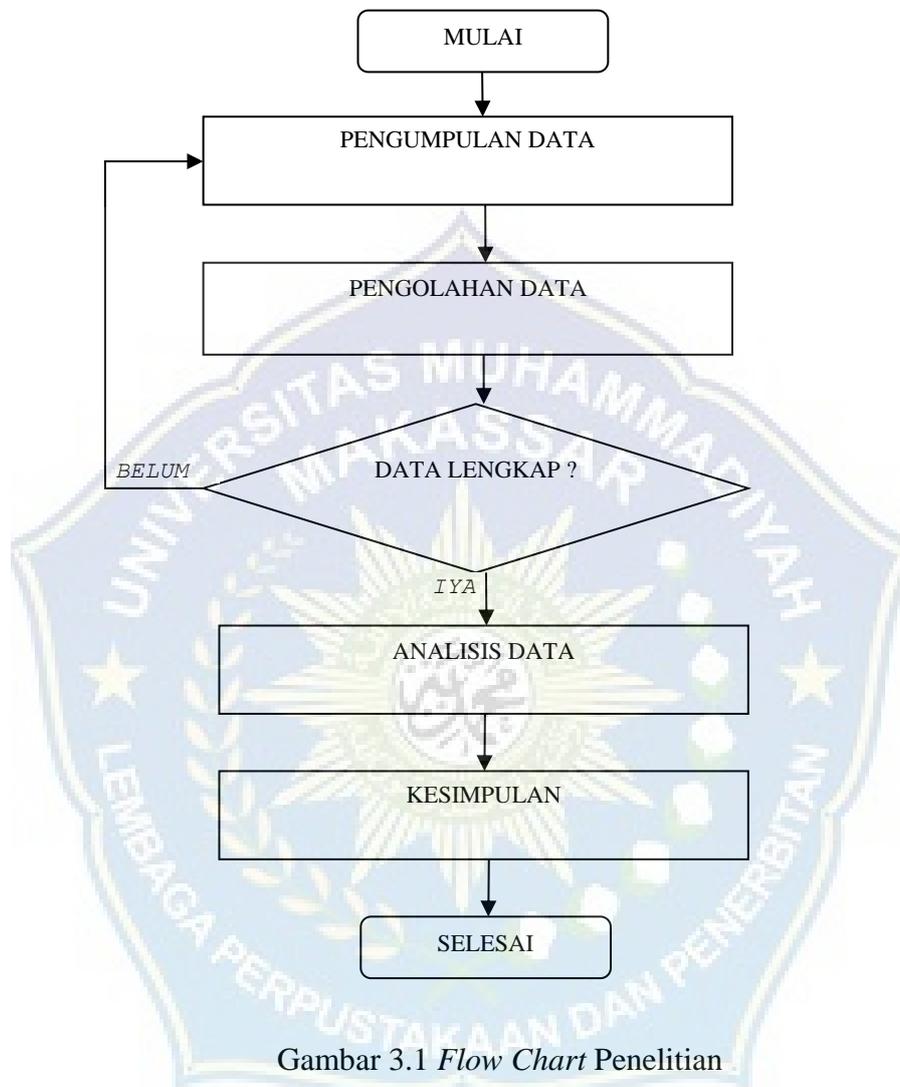
Penelitian dilaksanakan di Desa Bili-bili, Kecamatan Parangloe, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan.

#### **B. Prosedur Penelitian**

Dalam menyelesaikan laporan penelitian tugas akhir ini, tentu harus mengikuti langkah-langkah yang terstruktur dan sistematis agar dalam menganalisis penambahan gardu sisipan pada sistem distribusi dapat di kerjakan dengan baik dan benar, adapun gambar *flow chart* penelitian bisa dilihat pada gambar 3.1 dengan penjelasan sebagai berikut:

1. Penelitian di mulai dengan mengumpulkan data dengan cara melakukan studi literatur, wawancara, observasi dan dokumentasi.
2. Melakukan pengolahan data penelitian yang telah diperoleh dengan mengacu pada tinjauan pustaka.
3. Melakukan analisis terhadap data-data yang telah diolah, salah satunya dengan membandingkan hasil pengolahan data terhadap teori sesuai standar dan ketentuan yang ada, dan menjadikan rumusan masalah serta tinjauan pustaka sebagai acuan analisa dan pembahasan.

- Menarik kesimpulan dari hasil analisis yang telah dilakukan sehingga tujuan ataupun rumusan masalah dari obyek penelitian dapat terjawab.



Gambar 3.1 *Flow Chart* Penelitian

### C. Teknik Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data ialah cara yang ditempuh untuk mengambil data dari variabel penelitian tersebut. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah wawancara, observasi secara langsung, pengumpulan data (dokumentasi). Metode di atas akan di jelaskan lebih rinci sebagai berikut:

## **1. Studi literatur**

Studi literatur dilakukan dengan menggunakan berbagai referensi, baik melalui buku, tugas akhir ataupun jurnal penelitian, hingga melalui internet berbentuk dokumen ataupun *digital library*.

## **2. Wawancara**

Wawancara dilakukan dengan mewawancarai narasumber yang berkompeten dengan bidang yang terkait terhadap topik dari tugas akhir yang diangkat. Teknik wawancara yang penulis lakukan adalah menanyakan segala sesuatu yang tidak diketahui atau tidak jelas.

## **3. Observasi**

Observasi yaitu peneliti melakukan pengamatan secara jelas terhadap penyebab permasalahan dan nyata serta pencatatan secara sistematis terhadap gejala atau fenomena yang diselidiki.

## **4. Dokumentasi**

Dokumentasi adalah metode yang dilakukan untuk mengumpulkan seluruh data yang terkait dengan hal hal penelitian. Ke semua data tersebut diperoleh dari *softcopy database* di Desa Bili-bili, Kecamatan Parangloe, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan. .

## **D. Metode Penulisan**

Dalam penulisan tugas akhir, metode yang digunakan adalah:

### **1. Penelitian Pustaka (Library Research)**

Yaitu penelitian atau pengumpulan data-data dengan jalan membaca dan mempelajari berbagai literatur-literatur, tulisan-tulisan, dan bahan-bahan kuliah

yang penulis peroleh selama mengikuti perkuliahan guna memperoleh landasan teori yang berhubungan dengan materi yang menjadi pembahasan dalam penulisan tugas akhir.

## 2. Penelitian Lapangan (Field Research)

Yaitu penelitian yang dilakukan secara langsung terhadap obyek penelitian, yaitu kajian system di Desa Bili-bili, Kecamatan Parangloe, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan.

### a. Observasi ( Pengamatan Langsung)

Penulis mengadakan pengamatan langsung terhadap obyek yang diteliti guna mengumpulkan data-data,

### b. Interview ( Wawancara)

Penulis melakukan tanya jawab secara langsung untuk memperoleh data-data dengan pihak-pihak yang memahami permasalahan ini.

## E. Gambar blok diagram



Tinggi jatuh efektif adalah selisih antara tinggi jatuh total dari permukaan air pada pengambilan sampai permukaan air saluran bawah dengan kehilangan tinggi pada saluran air.

Dengan persamaan

$$H_{\text{efektif}} = H_T - H_L \dots\dots\dots(2)$$

Dimana

$H_t$  = Tinggi jatuh total (m),

yaitu tinggi jatuh dari permukaan air normal hingga saluran air bawah.

$H_L$  = Kehilangan tinggi jatuh (m)

yaitu, rugi-rugi tinggi air yang bekerja efektif pada turbin yang sedang berjalan.

Untuk menghitung  $H_L$ , digunakan rumus sebagai berikut:

$$H_L = 0,5 \frac{V_1^2}{2g} + \frac{4f_1L_1V_1^2}{2gD_1} + K \frac{V_2^2}{2g} + \frac{4f_2L_2V_2^2}{2gD_2} + \frac{V_2}{2g} \dots\dots\dots(3)$$

(a)      (b)      (c)      (d)      (e)

dimana:

a = jalan masuk

c = penyusutan

b = gesekan pada pipa 1

d = gesekan pada pipa 2

e = jalan keluar

Parameter yang digunakan adalah :

- Kekasaran mutlak untuk pipa baja dikeling  $e = 3 \text{ mm}$ .
- Konstanta (K) = 0,5

Untuk menghitung kecepatan (V), digunakan rumus sebagai berikut:

$$v = \frac{4.Q}{\pi.D}$$

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### A. Data Teknis PLTA Bili-Bili

Jenis bendungan yang dipergunakan pada proyek serba guna Bili-Bili adalah bendungan urugan batu dengan inti terpusat. Dengan jenis dan type bendungan seperti ini bendungan Bili-Bili berfungsi serba guna.

Adapun data bendungan Bili-Bili adalah sebagai berikut:

1. Bendungan utama:

- Tinggi : 73,00m
- Panjang : 750,00m
- Lebar puncak : 10,00 m
- Elevasi puncak : + 106,00m
- Volume timbunan : 2.760.000 m<sup>3</sup>

2. Bendungan sayap kiri:

- Tinggi : 42,00 m
- Panjang : 646,00 m
- Lebar puncak : 10,00 m
- Elevasi puncak : + 106,00 m
- Volume timbunan : 1.470.000 m<sup>3</sup>

3. Bendungan sayap kanan :

- Tinggi : 52,00 m
- Panjang : 412,00m
- Lebar puncak : 10,00 m

- Elevasi puncak : + 106,00 m
- Volume timbunan : 1.060.000 m<sup>3</sup>

4. Bangunan Pelimpah (Spillway):

- Debit Rencana (Inflow) : 3.800,00 m<sup>3</sup>/dtk
- Probable Maximum Flood (PMF)
- Lebar Spillway pada EL + 91,50 m : 70,00 m
- Lebar pintu pada EL + 91,80 m : 14,00 m
- Panjang Spillway seluruhnya : 3.9720 m
- Panjang jembatan : 97,40 m

Pada proyek pembangunan PLTA Bili-Bili terdapat dua buah terowongan (tunnel), tunnel pertama berfungsi mengalirkan air untuk pembangkit listrik yang selanjutnya akan dipergunakan untuk keperluan irigasi, air minum dan keperluan lainnya. Sedangkan tunnel kedua berfungsi untuk mengalirkan air apabila suatu waktu tunnel pertama mengalami perbaikan.

Disamping dua buah tunnel yang ada, juga terdapat sebuah intake (pintu pengambilan). Dan gambar lampiran (2) pintu pengambilan berbentuk mulut lonceng.

Pada proyek PLTA Bili-Bili ini, tangki pelepas tekan yang berfungsi menyerap pukulan air pada pipa pesat tidak diperlukan, karena pada bendungan ini berfungsi sebagai pelepas tekan. Panjang terowongan yang berfungsi untuk menyalurkan air guna keperluan pembangkit listrik, irigasi dan air bersih adalah 340 m.

Dalam hal keperluan pembangkit tenaga listrik, pada ujung terowongan terdapat 2 percabangan pipa yang menuju ke gedung pembangkitan (power house) yang pengaturannya dilakukan oleh pintu pengatur.

Setelah air ini dipergunakan oleh turbin, maka aliran air ini dengan melalui saluran bawah menuju ke kolam pembagian dimana pada kolam pembagi ini, air akan di bagi menurut kebutuhan masing-masing, baik untuk kebutuhan air bersih, irigasi maupun industri.

## **B. Data Teknis Waduk**

Pada bendungan serbaguna Bili-Bili, waduk berfungsi untuk menampung air sebanyak-banyaknya pada musim hujan dimana diketahui air yang berasal dari daerah hilir sungai Jeneberang dapat teratasi. Disamping itu, waduk ini juga berfungsi untuk menampung air sebagai persediaan pada musim kemarau.

Data-data mengenai waduk yang direncanakan adalah:

- Daerah tangkapan : 384,40 km<sup>2</sup>
- Elevasi Banjir Rencana (DFWL) : + 103,00 m
- Elevasi Tampungan Tambahan (SWL) : + 106,60 m
- Elevasi air normal (NWL) : + 99,50 m
- Elevasi Air Rendah : + 48,59 m
- Luas Genangan Pada SWL : 16,50 km<sup>2</sup>
- Kapasitas tampungan : 375.000.000 m<sup>3</sup>
- Kapasitas Tampungan Efektif : 346.000.000 m<sup>3</sup>
- Kapasitas Pengendalian Banjir : 41.000.000 m<sup>3</sup>
- Kapasitas air yang akan dipakai : 305.000.000 m<sup>3</sup>

- Kapasitas untuk air minum/industri : 35.000.000 m<sup>3</sup>
- Kapasitas air untuk irigasi : 270.000.000 m<sup>3</sup>
- Volume Tampungan Sedimen : 29.000.000 m<sup>3</sup>

Air yang dipergunakan untuk pembangkit listrik tenaga air bukanlah semata-mata hanya untuk pembangkit itu sendiri, akan tetapi air yang telah dipergunakan itu akan dipergunakan kembali untuk keperluan lainnya.

Jumlah air yang akan dipergunakan sepanjang tahun pada proyek serbaguna Bili-Bili adalah dengan mempertimbangkan berbagai sumber daya dalam variasi penggunaannya.

Kapasitas tampungan efektif waduk serbaguna Bili-Bili ini adalah 346 juta m<sup>3</sup> yang meliputi wilayah seluas 16,50 km<sup>2</sup>.

Adapun variasi penggunaan bendungan serba guna Bili-Bili adalah :

1. Untuk keperluan irigasi tersedia air dengan kapasitas 270 juta m<sup>3</sup>, dimana telah menjadi hasil studi bahwa penggunaan air pada musim kemarau yang terbesar dan terendah pada musim hujan.
2. Untuk kebutuhan air bersih/industri tersedia air dengan kapasitas 35 juta m<sup>3</sup>.

Dalam hal ini PLTA menggunakan air yang akan dilewatkan untuk keperluan irigasi dan air bersih yang melalui turbin. Berdasarkan desain bendungan Bili-Bili, pintu pengambilan air direncanakan berukuran 3,7 x 5,2 m. berdasarkan dari ukuran intake ini, maka debit air yang dapat dilalui adalah 44,8 m<sup>3</sup>/dtk.

### **C. Perhitungan Tinggi Jatuh Efektif**

Dari persamaan (2) dapat diketahui tinggi jatuh efektif dengan persamaan :

$$H_{\text{efektif}} = h_t - h_l$$

Tinggi jatuh total (HT) adalah selisih tinggi jatuh dari permukaan air normal (NWL) dengan tinggi elevasi air saluran bawah.

Dari lampiran gambar (3) tinggi NWL adalah 99,50 m dan elevasi saluran bawah LWL adalah 48,59 m, maka:

$$\begin{aligned} HT &= H_{NWL} - H_{LWL} \\ &= 99,50 - 48,59 \text{ m} \\ &= 50,91 \text{ m} \end{aligned}$$

Sedangkan kehilangan tinggi jatuh pada saluran air ( $H_L$ ) dapat dihitung dengan menghitung terlebih dahulu rugi-rugi air yang bekerja efektif :

Parameter yang digunakan sebagai dasar untuk konstanta adalah :

- Kekasaran mutlak untuk pipa baja dikeling  $e = 3 \text{ mm}$ .
- Konstanta ( $K$ ) = 0,5

Kehilangan tinggi jatuh akibat gesekan masing-masing diameter dan panjang pipa adalah:

1. Untuk pipa baja dengan  $D_0 = 3,7 \text{ m}$  ;  $Q = 44,8 \text{ m}^3/\text{dtk}$  dan  $L = 16,4 \text{ m}$  (lihat lampiran 4). Kecepatan aliran dapat diketahui dari persamaan (1):

Kecepatan alirannya:

$$V_0 = \frac{4 Q_0}{\pi \cdot D_0}$$

$$V_0 = \frac{4 \cdot 44,8}{3,14 (3,7)^2}$$

$$= 4,17 \text{ m/dtk}$$

Kekasaran nisbi  $e/D$  :

$$= \frac{3mm}{3700mm} = 8,11 \times 10^{-4}$$

$$= 0,0008$$

Koefisien gesek  $f_0 = 0.0190$

2. Untuk pipa baja dengan  $D_1 = 1,97 \text{ m}$  ;  $Q_1 = 13,2 \text{ m}^3/\text{dtk}$  dan  $L = 33,184 \text{ m}$

Kecepatan alirannya:

$$V_1 = \frac{4 Q_1}{\pi \cdot D_1}$$

$$V_0 = \frac{4 \cdot 13,2}{3,14 (1,97)^2} = 4,33 \text{ m/dtk}$$

Kekasaran nisbi  $e/D$  :

$$\frac{3 \text{ mm}}{1970 \text{ mm}} = 1,523 \times 10^{-3}$$

$$= 0,001$$

Koefisien gesek  $i = 0.0196$

3. Untuk pipa baja dengan  $D_2 = 2,81 \text{ m}$  ;  $Q_2 = 33,6 \text{ m}^3/\text{dtk}$  dan  $L = 47,830 \text{ m}$

Kecepatan alirannya:

$$V_1 = \frac{4 Q_2}{\pi \cdot D_2}$$

$$V_0 = \frac{4 \cdot 33,6}{3,14 (2,81)^2} = 5,07 \text{ m/dtk}$$

Kekasaran nisbi  $e/D$  :

$$\frac{3 \text{ mm}}{2810 \text{ mm}} = 1,068 \times 10^{-3}$$

$$= 0,001$$

Koefisien gesek  $i = 0.0196$

Dari hasil data dan perhitungan yang didapat diatas, kita ketahui

$$V_0 = 4,17 \text{ m/dtk}; Q_0 = 44,8 \text{ m}^3/\text{dtk}; D_0 = 3,70 \text{ m}; L_0 = 16,4 \text{ m}; f_0 = 0,1$$

$$V_1 = 4,33 \text{ m/dtk} ; Q_1 = 13,2 \text{ m}^3/\text{dtk} ; D_1 = 1,97 \text{ m} ; L_1 = 33,184 \text{ m} ; f_1 = 0,0196$$

$$V_2 = 4,17 \text{ m/dtk} ; Q_2 = 31,6 \text{ m}^3/\text{dtk} ; D_2 = 2,81 \text{ m} ; L_2 = 47,830 \text{ m} ; f_2 = 0,0196$$

Maka kita dapat menghitung kehilangan tinggi untuk turbin I dan turbin II sebagai berikut:

Dari persamaan (3) maka kehilangan tinggi untuk turbin 1 adalah :

$$H_L = 0,5 \frac{(4,33)^2}{2 \times 9,8} + \frac{4 \times 0,0196 \times 16,4 \times (4,33)^2}{2 \times 9,8 \times 3,7} + K \frac{(4,33)^2}{2 \times 9,8} + \frac{4 \times 0,0196 \times 33,184 \times (4,33)^2}{2 \times 9,8 \times 1,97} + \frac{(4,33)}{2 \times 9,8}$$

$$H_L = 0,5 \frac{17,39}{19,6} + \frac{22,37}{72,52} + 0,5 \frac{18,75}{19,6} + \frac{48,78}{38,61} + \frac{18,75}{19,6}$$

$$H_{L1} = 0,5 + 0,31 + 0,48 + 1,26 + 0,96$$

$$H_{L1} = 3,7$$

Kehilangan tinggi untuk turbin 2 adalah :

$$H_L = 0,5 \frac{(4,17)^2}{2 \times 9,8} + \frac{4 \times 0,0196 \times 16,4 \times (4,17)^2}{2 \times 9,8 \times 3,7} + K \frac{(5,07)^2}{2 \times 9,8} + \frac{4 \times 0,0196 \times 47,83 \times (5,07)^2}{2 \times 9,8 \times 2,81} + \frac{(5,07)}{2 \times 9,8}$$

$$H_{L1} = 0,5 + 0,31 + 0,65 + 1,75 + 1,3$$

$$H_{L2} = 4,45$$

Maka tinggi efektifnya adalah :

$$H_{E1} = H_T - H_{L1}$$

$$= 50,91 - 3,7$$

$$= 47,21 \text{ m}$$

$$H_{L2} = H_T - H_{L2}$$

$$= 50,91 - 4,45$$

$$= 46,46 \text{ m}$$

#### **D. Perhitungan Daya dan Energi**

Daya teoritis yang dapat dibangkitkan oleh PLTA Bili-Bili mengikuti persamaan (7) :

$$P = 9,8 \cdot Q \cdot H \text{ (kW)}$$

Dimana debit air ( $Q$ ) = 44,8 m<sup>3</sup>/dtk dan tinggi efektifnya = 46,835 m

Maka daya teoritis yang dapat dibangkitkan adalah :

$$\begin{aligned} P &= 9,8 \cdot 44,8 \cdot 46,835 \\ &= 205624,384 \text{ Kw} \end{aligned}$$

#### **E. Analisa Penggunaan Turbin Air**

##### **1. Pemilihan Jenis Turbin**

Kapasitas penyaluran tenaga listrik optimal ditentukan dengan debit 44,8 m<sup>3</sup>/dtk dibagi antara dua unit turbin yang berukuran tidak sama. Turbin yang lebih kecil, debit airnya adalah 13,2 m<sup>3</sup>/dtk dan turbin yang lebih besar debitnya adalah 31,6 m<sup>3</sup>/dtk

Proyek PLTA Bili-Bili memiliki variasi debit dan head sehingga type turbin dipilih berdasarkan hal tersebut. Dari korelasi tersebut dapat terlihat bahwa type pembangkit yang dapat dipilih adalah type francis dan type kaplan.

Pada waktu terjadi penurunan debit karena dalam hal ini pengoperasian Dam Bili-Bili merupakan multipurpose Dam dimana selain untuk keperluan PLTA juga dimaksudkan untuk irigasi dan air minum sehingga fungsi ketiga hal tersebut yang menentukan pengoperasian pintu air Dam. Hal ini mengakibatkan adanya waktu dimana apabila petani memerlukan air maka terjadi debit air yang besar (44,8m<sup>3</sup>/dtk) sedang pada waktu petani kurang memerlukan air maka terjadi debit

minimum yaitu pemberian hanya untuk keperluan air minum. Fluktuasi debit yang merupakan karakteristik proyek PLTA Bili-Bili, sehingga perlu dicari type turbin yang tidak terlalu terpengaruh dalam hal tersebut.

Penurunan efisiensi turbin type kaplan tidak seserius pada turbin type francis. Hal ini disebabkan pada type kaplan sudut runner dapat diatur untuk meningkatkan efisiensi turbin pada variasi penurunan debit. Pembangkit type kaplan masih bisa beroperasi pada debit minimum 20 - 30 % sedang pada type francis debit minimum untuk dapat beroperasi adalah 30 %

Selain itu secara teoritis pemilihan jenis turbin dapat pula dilakukan dengan mempertimbangkan daya yang dapat dibangkitkan dengan tinggi jatuh bersih dan debit yang di dapat. Dari data dan hasil perhitungan yang dilakukan, di dapat hasil sebagai berikut :

- Debit air untuk turbin I (Q) = 13,2 m<sup>3</sup>/ dtk
- Debit air untuk turbin E (Q) = 31,6 m<sup>3</sup>/ dtk
- Tinggi jatuh efektif untuk turbin I (H) = 47,21 m
- Tinggi jatuh efektif untuk turbin II (H) = 46,46 m
- Efisiensi turbin yaitu 0,918

Daya yang dihasilkan oleh setiap unit turbin adalah mengikuti persamaan (8) :

$$P_T = 9,8 \cdot Q \cdot \eta_T \cdot H \text{ (kW)}$$

Untuk turbin 1 :

$$\begin{aligned} P_{T1} &= 9,8 \cdot 13,2 \cdot 0,918 \cdot 47,21 \text{ (kW)} \\ &= 5582 \text{ kW} \\ &\approx 5600 \text{ kW} \end{aligned}$$

Untuk turbin 2 :

$$\begin{aligned}P_{T2} &= 9,8 \cdot 33,6 \cdot 0,918 \cdot 46,46 \text{ (kW)} \\ &= 13.208 \text{ kW} \\ &\approx 13.200 \text{ kW}\end{aligned}$$

## 2. Perhitungan Kecepatan Turbin

Untuk mengetahui putaran nominal suatu turbin, terlebih dahulu harus diketahui daerah kecepatan jenis turbin, dimana untuk turbin Kaplan mengikuti persamaan (13):

$$\text{Untuk turbin 1 : } n_{ST1} = \frac{20000^0}{H_{E1}} + 50$$

$$\begin{aligned}n_{ST1} &= \frac{20000^0}{47,21+20} + 50 \\ &= 348 \text{ Rpm}\end{aligned}$$

$$\text{Untuk turbin 1 : } n_{ST1} = \frac{20000^0}{H_{E2}} + 50$$

$$\begin{aligned}n_{ST1} &= \frac{20000^0}{46,46+20} + 50 \\ &= 351 \text{ Rpm}\end{aligned}$$

Dengan demikian kecepatan putar untuk masing turbin mengikuti persamaan (14):

$$n = ns \frac{H^{5/4}}{P^{1/2}} = ns \frac{H^{1,25}}{P^{0,5}}$$

Maka kecepatan putar untuk :

$$\begin{aligned}\text{Turbin 1 : } n_1 &= 348 \times \frac{47,21^{1,25}}{5600^{0,5}} \\ &= 576 \text{ rpm} \\ &\approx 600 \text{ rpm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Turbin 2 : } n_2 &= 351 \times \frac{46,46^{1,25}}{13200^{0,5}} \\ &= 370 \text{ rpm} \\ &\approx 375 \text{ rpm} \end{aligned}$$

## F. Analisa Penggunaan Generator

### 1. Tipe Generator

Dengan mempertimbangkan daya yang akan dibangkitkan serta keefisienan dalam hal ruangan penempatan, maka generator sinkron merupakan generator yang cocok untuk digunakan dalam hal pemilihan generator untuk turbin air ini.

Generator sinkron berdasarkan arah porosnya mempergunakan generator poros tegak dengan bantalan bentuk biasa yang dilengkapi dengan bantalan poros dorong di bawah rotor. Untuk sistem pendinginan dipergunakan sistem peredaran udara tertutup, dimana udara di dalam mesin diedarkan melalui suatu pendingin udara.

### 2. Perhitungan Jumlah Kutub Generator

Untuk menentukan jumlah kutub generator yang cocok pada proyek ini, menggunakan persamaan (23) yaitu:

$$f = \frac{P}{2} \times \frac{n}{60} = \frac{Pn}{120}$$

$$P_G = \frac{120f}{n}$$

dimana diketahui dari data dan perhitungan bahwa

$$f = 50\text{Hz}$$

$$N_{G1} = 600 \text{ Rpm}$$

$$N_{G2} = 375 \text{ Rpm}$$

Untuk generator I jumlah kutubnya yaitu :

$$P_{G1} = \frac{120f}{n}$$

$$P_{G1} = \frac{120 \times 50}{600}$$

$$P_{G1} = \frac{6000}{600}$$

$$P_{G1} = 10 \text{ buah (5 pasang)}$$

Untuk generator II jumlah kutubnya yaitu

$$P_{G1} = \frac{120f}{n}$$

$$P_{G1} = \frac{120 \times 50}{600}$$

$$P_{G1} = \frac{6000}{375}$$

$$P_{G1} = 16 \text{ buah (8 pasang)}$$

### 3. Pemilihan faktor daya

Faktor daya pada umumnya dipilih antara 0,85-0,90 dan untuk faktor daya beban yang baik adalah 0,95. bagi generator turbin air yang sedikit jumlah kutubnya peninggian factor daya dilihat dari segi ekonomisnya lebih baik.

Kecepatan putar dari generator turbin air adalah merupakan kecepatan nominal dari turbin air. Sedangkan kecepatan maksimum dari generator juga merupakan kecepatan maksimum dari turbin air.

#### 4. Kapasitas Generator

Daya output PLTA adalah daya yang dikeluarkan / dihasilkan oleh generator dan turbin air.

Pada persamaan (9) daya generator adalah :

$$P = 9,8 \cdot Q \cdot n_T - n_G \cdot H \text{ (kW)}$$

Untuk generator 1 :

$$\begin{aligned} P_{G1} &= 9,8 \cdot 13,2 \cdot 0,918 \cdot 0,9 \cdot 47,21 \text{ (kW)} \\ &= 5045,67 \text{ kW} \end{aligned}$$

Untuk generator 2 :

$$\begin{aligned} P_{G2} &= 9,8 \cdot 33,6 \cdot 0,918 \cdot 0,9 \cdot 46,46 \text{ (kW)} \\ &= 11887,15 \text{ kW} \end{aligned}$$

Sehingga kapasitas generator (KVA Generator) dapat diperoleh dari persamaan (10), adalah :

$$P \text{ KVA}_{G1} = \frac{P_G}{\cos \Phi} \text{ dimana } \cos \Phi = 0,9 ; \text{ maka :}$$

Untuk Generator 1 :

$$\begin{aligned} \text{KVA}_{G1} &= \frac{5045,67}{0,9} = 5606,21 \text{ KVA} \\ &= 5,6 \text{ MVA} \approx 6 \text{ MVA} \end{aligned}$$

Untuk Generator 2 :

$$\begin{aligned} \text{KVA}_{G2} &= \frac{11887,15}{0,9} = 13207,73 \text{ KVA} \\ &= 13,208 \text{ MVA} \approx 14 \text{ MVA} \end{aligned}$$

Maka daya yang dapat dibangkitkan secara terus menerus untuk tiap generator adalah sebagai berikut :

Generator 1 : 5045,67 kW

Generator 2: 11887,15kW

Dan kapasitas generator adalah :

Generator 1 : 5606,21 KVA  $\approx$  5600 KVA

Generator 2 : 13207,73 KVA  $\approx$  14000 KVA

Tabel 2.5 Hasil analisa kapasitas daya listrik yang dapat dibangkitkan

	Unit 1	Unit 2
Daya yang dibangkitkan <u>untuk tiap-tiap turbin :</u>		
<b>Tipe turbin</b>	Kaplan	Kaplan
Daya / unit (MW)	5,6	13,2
Kecepatan turbin (rpm)	600	375
Daya yang dibangkitkan <u>untuk tiap-tiap generator:</u>		
<b>Tipe generator</b>	Poros Sinkron tegak	Poros sinkron tegak
Daya (MW)	5,046	11,887
Faktor daya	09, laging	0,9 laging
<u>Kapasitas Generator (kVA)</u>	5600	14000

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **A. Kesimpulan**

Berdasarkan analisis yang dilakukan dari hasil perhitungan tinjauan kapasitas daya listrik ini, kita dapat mengambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Faktor daya yang dipilih untuk dipergunakan antara 0,85-0,90 dan untuk faktor daya beban yang baik adalah 0,95. bagi generator turbin air yang sedikit jumlah kutubnya peninggian factor daya dilihat dari segi ekonomisnya lebih baik, sehingga kecepatan putar dari generator turbin air adalah merupakan kecepatan nominal dari turbin air. Sedangkan kecepatan maksimum dari generator juga merupakan kecepatan maksimum dari turbin air.
2. Dengan penyediaan air sebagai sumber utama pembangkit daya listrik yang sifatnya berupa bendungan kemudian ditampung pada sebuah waduk, maka PLTA Bili-Bili ini akan bekerja optimal pada daya listrik maksimal 20 MW.
3. Kecepatan masing-masing turbin adalah :
  - Turbin I = 600 Rpm
  - Turbin II - 375 Rpm
4. Makin besar debit air dan tinggi jatuh efektif yang didapatkan, maka daya yang dapat dibangkitkan untuk tiap-tiap unit turbin dan generator adalah :
  - Turbin I = 5,6 MW
  - Turbin II = 13,2MW
  - Generator I = 5,046 MW
  - Generator II = 11,887 MW

5. Kapasitas Generator yang digunakan adalah :

- Generator I = 5600 KVA
- Generator II = 14000 KVA

#### **B. Saran-Saran**

Dari uraian tulisan ini mengenai tinjauan kapasitas daya listrik yang dibangkitkan pada rencana proyek Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) bendungan serbaguna Bili-Bili ini, dapatlah kami sarankan hal-hal sebagai berikut:

1. Kelestarian lingkungan harus perlu dijaga agar sumber daya air yang merupakan kebutuhan utama dalam penyediaan bendungan ini dapat secara kontinyu.
2. Koefisien gesek pipa penyaluran perlu diperhatikan, agar menghasilkan nilai tinggi jatuh efektif yang sesuai dengan kebutuhan daya optimal yang akan dibangkitkan.
3. Pengadaan mesin-mesin utama (turbin air dan generator) sebaiknya dilakukan dengan cara pemesanan langsung dan tenaga teknis dari negara asal pembuat mesin-mesin tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar A, S. Kuwahara, "*Teknik Tenaga Listrik*" Jilid I, Pembangkit Listrik Tenaga Air, Paradnya Paramita PT, Jakarta 2021.
- Bahrudin A. "*Mesin Serempak*", Djambatan, Jakarta 2021
- Bahrudin A, "*Energi*", Universitas Indonesia (UT-PRESS) 2021
- Dake JMK, Terjemahan P. CAhyan Endang, Pangaribuan YP, "*Hidrolika Teknik*", Edisi Kedua, Eriangga ,2020
- HAnonim "*Bili-Bili Multipurpose Dam Project*", Second Review Report, Volume I, II, III, CTI Engineering Co, Ltd, Oktober 2020.
- Irawan, H. 2021. *Sistem Penguatan Dengan Sikat (Brush Excitation System) Pada Generator Unit 1 PLTU Cilacap*. Semarang: Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro.
- Heru N dan Sunaryo. 2021. *Evaluasi Pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Di Wangan Aji Kabupaten Wonosobo*. Program Studi Teknik Elektronika, Universitas Sains Al-Qur'an.
- Loupatty, Martha. 2021. *Sistem Keandalan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Di Wamena Kabupaten Jayawijaya Propinsi Papua*. Vol.2 No.2. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Musamus.
- Linsley. Ray K, Franzini B. Joseph, Terjemahan Sasongko Djoko, "*Teknik Sumber Daya Air*", Edisi Ketiga Jilid I dan II, Eriangga 2020
- Mekanika Fluida Frank M, White Edisi Kedua Jilid I Eriangga 2021, Jakarta.
- Pratama, Febriananda M. 2021. *Evaluasi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal Pada Pabrik Gula Assembagoes Kabupaten Situbondo*. Malang: Universitas Brawijaya, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro.
- Rahadi, Dedi Rianto. 2021. *Manajemen Kinerja Sumber Daya Manusia*. Penerbit Tunggal Mandiri Publishing. Malang.
- Sihite, J. 2021. *Evaluasi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) Hutaraja Di Kecamatan Dolok Sanggul Kabupaten Humbang Hasundutan Propinsi Sumatera Utara*. Sumatera Utara: Universitas Sumatera Utara, Bidang Studi Sumber Daya Air, Departemen Teknik, Sipil Fakultas Teknik.
- Suharwanto, A. 2021. *Analisis Sistem Operasi Dan Produksi Pada Pt. Indonesia Power Ubp Mrica Sub Unit Plta Jelok-Salatiga*. Semarang: Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

**L**

**A**

**M**

**P**

**I**

**R**

**A**

**N**





بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

**SURAT KETERANGAN BEBAS PLAGIAT**

UPT Perpustakaan dan Penerbitan Universitas Muhammadiyah Makassar,  
 Menerangkan bahwa mahasiswa yang tersebut namanya di bawah ini:

Nama : Abdul Latif / Muliadi  
 Nim : 105821102117 / 105821103117  
 Program Studi : Teknik Elektro

Dengan nilai:

No	Bab	Nilai	Ambang Batas
1	Bab 1	10 %	10 %
2	Bab 2	9 %	25 %
3	Bab 3	7 %	10 %
4	Bab 4	0 %	10 %
5	Bab 5	4 %	5 %

Dinyatakan telah lulus cek plagiat yang diadakan oleh UPT- Perpustakaan dan Penerbitan Universitas Muhammadiyah Makassar Menggunakan Aplikasi Turnitin.

Demikian surat keterangan ini diberikan kepada yang bersangkutan untuk dipergunakan seperlunya.

Makassar, 23 Februari 2024  
 Mengetahui,

Kepala UPT- Perpustakaan dan Penerbitan,



Muhammad, S. Hum, M.P.  
 NBM. 964 591

Abdul Latif / Muliadi

105821102117 / 105821103117

## Bab I

by Tahap Tutup



Submission date: 23-Feb-2024 09:54AM (UTC+0700)

Submission ID: 2302114050

Filename: BAB\_I\_85.docx (16.67K)

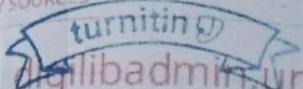
Word count: 452

Character count: 2822

Abdul Latif / Muliadi 105821102117 / 105821103117 Bab I

ORIGINALITY REPORT

10% SIMILARITY INDEX  
10% INTERNET SOURCES  
0% PUBLICATIONS  
0% STUDENT PAPERS



libadmin.unismuh.ac.id  
Internet Source

10%

Include quotes  
Include bibliography

Exclude matches



Abdul Latif / Muliadi  
105821102117 / 105821103117

## Bab II

by Tahap Tutup



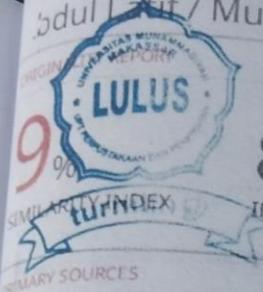
Submission date: 23-Feb-2024 09:55AM (UTC+0700)

Submission ID: 2302114669

File name: BAB\_II\_100.docx (502.21K)

Word count: 2793

Character count: 16900



9%

8%

0%

6%

PRIMARY SOURCES

INTERNET SOURCES

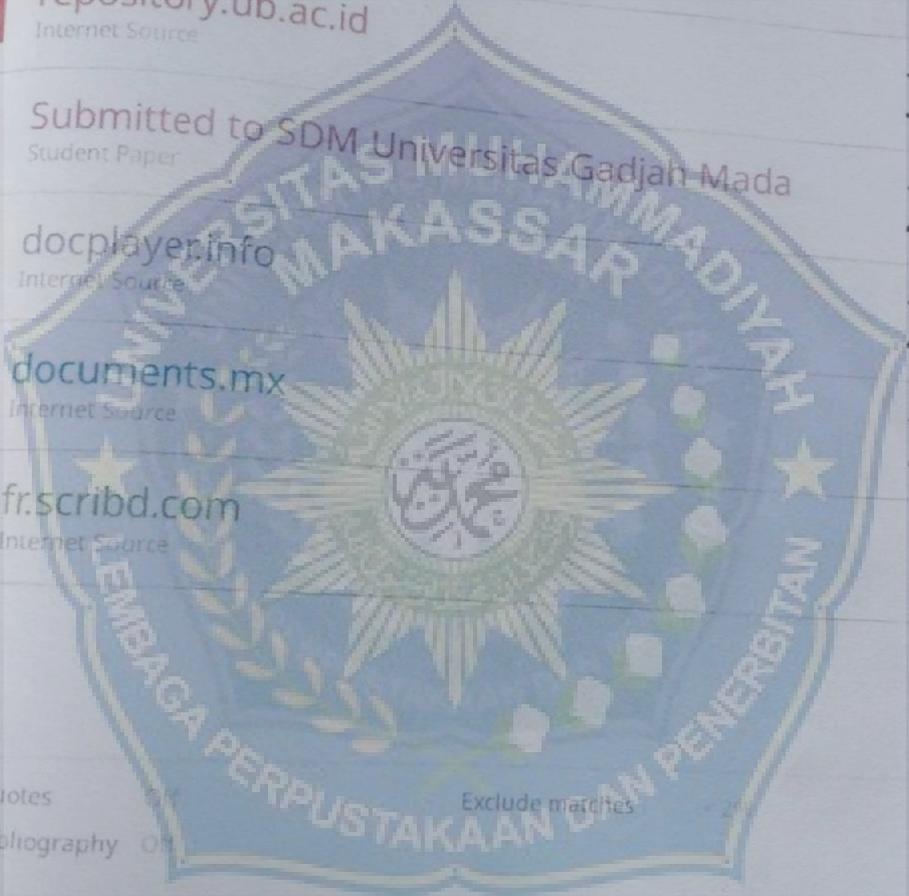
PUBLICATIONS

STUDENT PAPERS

Rank	Source	Category	Percentage
1	repository.ub.ac.id	Internet Source	3%
2	Submitted to SDM Universitas Gadjah Mada	Student Paper	2%
3	docplayer.info	Internet Source	2%
4	documents.mx	Internet Source	2%
5	fr.scribd.com	Internet Source	2%

Include quotes   
Include bibliography

Exclude matches



Abdul Latif / Muliadi  
105821102117 / 105821103117



### Bab III

by Tahap Tutup

Submission date: 23-Feb-2024 09:55AM (UTC+0700)  
Submission ID: 2302114966  
File name: BAB\_III\_-\_2024-02-23T094733.614.docx (103.75K)  
Word count: 619  
Character count: 3875

ORIGINALITY REPORT

**7%** SIMILARITY INDEX

**LULUS**

6% INTERNET SOURCES

4% PUBLICATIONS

0% STUDENT PAPERS

1 repository.ub.ac.id  
Internet Source 2%

2 Suradi Suradi, Faridah Faridah, A Patala Putra.  
"AUTOMATIC HAND DRYER BERBASIS ARDUINO NANO", ILTEK: Jurnal Teknologi, 2018  
Publication 2%

3 rimafarida1.blogspot.com  
Internet Source 2%

4 text-id.123dok.com  
Internet Source 2%

Exclude quotes  Off Exclude matches  Off  
Exclude bibliography  Off

Abdul Latif / Muliadi

105821102117 / 105821103117

## Bab IV

by Tahap Tutup



Submission date: 23-Feb-2024 09:56AM (UTC+0700)

Submission ID: 2302115488

File name: BAB\_IV\_91.docx (257.89K)

Word count: 1285

Character count: 6981

Abdul Latif / Muliadi 105821102117 / 105821103117 Bab IV

ORIGINALITY REPORT

0%

SIMILARITY INDEX

PRIMARY SOURCES



0%

INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

0%

STUDENT PAPERS

Exclude quotes

Exclude bibliography

Exclude matches



Abdul Latif / Muliadi

105821102117 / 105821103117

## Bab V

by Tahap Tutup



mission date: 23-Feb-2024 09:56AM (UTC+0700)

mission ID: 2302115786

name: BAB\_V\_89.docx (14.79K)

word count: 228

character count: 1207

ORIGINALITY REPORT

4%  
SIMILARITY INDEX

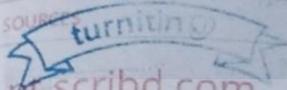


4%  
INTERNET SOURCES

0%  
PUBLICATIONS

0%  
STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES



1

pt.scribd.com  
Internet Source

4%

Exclude quotes  Off  
Exclude bibliography  Off

Exclude matches  Off



Muliadi / Abdul latif  
105821103117 / 105821102117  
by Tahap Proposal



Submission date: 04-Oct-2023 10:06PM (UTC+0700)

Submission ID: 2185471633

File name: MATERI\_UJI\_PLAGIAT\_UJIAN\_KOMPREHENSIP.docx (620.36K)

Word count: 3962

Character count: 24193

Muliadi / Abdul latif 105821103117 / 105821102117

ORIGINALITY REPORT

**13%**

SIMILARITY INDEX

**14%**

INTERNET SOURCES

**0%**

PUBLICATIONS

**4%**

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

**1**

[pt.scribd.com](http://pt.scribd.com)

Internet Source

**6%**

**2**

[journal.unismuh.ac.id](http://journal.unismuh.ac.id)

Internet Source

**4%**

**3**

[kk.mercubuana.ac.id](http://kk.mercubuana.ac.id)

Internet Source

**2%**



Exclude quotes

Exclude matches

Exclude bibliography

Muliadi / Abdul latif -  
105821103117 / 105821102117

by Tahap Hasil



**Submission date:** 06-Dec-2023 10:45AM (UTC+0700)

**Submission ID:** 2249579036

**File name:** DOC-20231206-WA0001..docx (875.24K)

**Word count:** 5339

**Character count:** 31978

Muliadi / Abdul latif - 105821103117 / 105821102117

ORIGINALITY REPORT

**11** %  
SIMILARITY INDEX

**11** %  
INTERNET SOURCES

**0** %  
PUBLICATIONS

**3** %  
STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

**1** [de.scribd.com](https://de.scribd.com)  
Internet Source

**7** %

**2** [journal.unismuh.ac.id](https://journal.unismuh.ac.id)  
Internet Source

**3** %

Exclude quotes  Off

Exclude matches  <2%

Exclude bibliography  Off

turnitin

