



**STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
MIKROHIDRO (PLTMH) DI KECAMATAN TINGGIMONCONG
KABUPATEN GOWA SULAWESI SELATAN**



TUGAS AKHIR

Disusun dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan Untuk Menyelesaikan

Program Strata Satu Departemen Elektro Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin

Makassar

Oleh :

NOVIANTORO UNGGUL DWISAPUTRO

D411 14 501

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2019



LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK MIKROHIDRO (PLTMH) DI KECAMATAN TINGGIMONCONG KABUPATEN GOWA SULAWESI SELATAN

Di Susun Oleh :

NOVIANTORO UNGGUL DWISAPUTRO

D411 14 501

Tugas akhir ini telah diterima dan disahkan sebagai kurikulum untuk memenuhi persyaratan
guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada

Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin

Gowa, Febuari 2019

Disahkan Oleh :

Pembimbing I

IR. H. CASSING, MT

NIP. 19600720 198702 1 001

Pembimbing II

DR. IKHLAS KITTA, ST, MT

NIP. 19760914 200801 1 006

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Elektro

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Ir. H. Salama Maniang, MT

NIP. 19621231 199003 1 024



ABSTRAK

Perkembangan ekonomi pada saat ini telah dirasakan bahwa masalah kebutuhan dan penyediaan energi listrik terutama tersedianya minyak bumi sebagai sumber energi yang dikonversi menjadi energi listrik semakin berkurang, sehingga perlu diusahakan tindakan-tindakan penghematan sedini mungkin. Salah satu tindakan penghematan yang dilakukan untuk mengurangi pemakaian minyak bumi dalam memenuhi kebutuhan energi listrik adalah pemanfaatan sumber daya air yang dikonversikan oleh generator sinkron menjadi energi listrik. Tugas akhir ini berisi pembahasan suatu rancangan pembangkit listrik tenaga mikrohidro dengan memanfaatkan air sungai yang terdapat di Kecamatan Tinggimoncong Kabupaten Gowa Provinsi Sulawesi Selatan yaitu pada aliran air sungai jeneberang, mulai dari perhitungan debit, tinggi terjun, pemilihan daya keluaran, pemilihan turbin, pemilihan generator, dan analisis finansial. Dari penelitian yang telah dilakukan diperoleh data debit air sebesar $2,245 \text{ m}^3/\text{det}$, tinggi terjun efektif $11,7614 \text{ m}$. Diperoleh daya generator sinkron 3 fasa, 4 kutub, 1500 rpm , $220/400 \text{ V}$ adalah $202,680 \text{ kW}$. Turbin yang digunakan adalah turbin crossflow. Rancangan dievaluasi pada tingkat suku bunga 10%, 12%, 14%, 16%, 18%.

Kata Kunci : Energi Air, Energi Listrik, Mikrohidro



ABSTRACT

Economic development at this time has been felt that the problem of the need and supply of electrical energy, especially the availability of petroleum as an energy source that is converted into electricity, is decreasing, so saving measures need to be taken as early as possible. One of the austerity measures taken to reduce the use of petroleum in fulfilling electrical energy needs is the utilization of water resources that are converted by synchronous generators into electrical energy. This final project discusses the design of a microhydro power plant by utilizing river water in Tunggimoncong District, Gowa Regency, South Sulawesi Province, which is on the river jeneberang flow, starting from the calculation of discharge, plunge height, selection of output power, turbine selection, generator selection, and financial analysis. From the research that has been done, it is obtained that the water discharge data is 2,245 m³ / sec, the effective waterfall is 11,7614 m. Obtained 3 phase synchronous generator power, 4 poles, 1500 rpm, 220/400 V is 202,680 kW. The turbine used is a crossflow turbine. The design is evaluated at an interest rate of 10%, 12%, 14%, 16%, 18%.

Keywords: Water Energy, Electric Energy, Microhidro



KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim. Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah subhanu wata'ala atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Shalawat dan salam selalu tercurahkan kepada junjungan kita Rasulullah sallallahu 'alaihi wasallam. Penyelesaian skripsi ini merupakan upaya penulis dalam memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis persembahkan skripsi sederhana ini agar menjadi sebuah kebanggaan bagi kedua orang tua. Kedua orang tua peneliti yang dengan setulus hati, keikhlasan jiwa, butiran doa dan keringat jerih payahnya dalam membesarkan dan mendidik ananda.

Skripsi ini berjudul *Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) di Kecamatan Tinggimoncong Kabupaten Gowa Sulawesi Selatan*. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini mengalami berbagai kesulitan. Namun, berkat ketekunan dan usaha yang disertai doa, penulisan skripsi ini akhirnya dapat terselesaikan. Penyusunan skripsi ini juga tidak terlepas dari bantuan, dorongan, semangat, serta bimbingan dari berbagai pihak. Sehubungan dengan hal tersebut, penulis sewajarnya menyampaikan terima kasih kepada:

1. Orang tua dan saudara-saudara kami tercinta, serta seluruh keluarga atas segala doa, bantuan, nasehat, dan motivasinya.
2. Bapak **Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, M.T.**, selaku Ketua Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.



3. Bapak **DR. Ikhlas Kitta S.T., M.T** selaku kepala Lab Infrastruktur Ketenagalistrikan yang telah membimbing dan memfasilitasi kami selama pengerjaan skripsi ini mulai dari pengajuan proposal hingga sampai ke tahap ujian akhir.
4. Bapak **Ir.H. Gassing M.T** selaku pembimbing I terima kasih telah meluangkan waktu dan memberikan bimbingan, gagasan, serta ide-ide dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Kepada teman-teman "*Rectifier 2014*" Departemen Teknik Elektro yang sejak pertama menginjakkan kaki di Universitas Hasanuddin hingga saat ini telah menjadi saudara bagi kami dengan keunikan tersendiri..

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang terdapat dalam skripsi ini, oleh karena itu saran dan kritik dari semua pihak diharapkan untuk kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat diterima sebagai sumbangan pikiran peneliti yang mendatangkan manfaat baik bagi penulis maupun pembacanya.

Akhir kata semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri, institusi pendidikan dan masyarakat luas.

Makassar, Februari 2019

Noviantoro Unggul Dwisaputro



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Metode Penelitian	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)	6
2.2. Persyaratan Pembangunan PLTMH.....	9
2.2.1 Pemilihan Lokasi PLTMH	9
2.2.2 Persyaratan Teknik Sipil.....	14
2.2.3 Persyaratan Teknik Listrik	14
2.2.4 Persyaratan Sosial Ekonomi.....	15
2.3 Bagian-bagian Utama PLTMH	15
2.3.1 Bagian Utama Bangunan Sipil	15



2.3.2	Komponen Mekanik	22
<u>2.3.2.1</u>	Turbin Air.....	22
<u>2.3.2.2</u>	Jenis Turbin Air	23
<u>2.3.2.3</u>	Kecepatan Jenis Turbin.....	27
<u>2.3.2.4</u>	Karakteristik Turbin Air.....	28
2.3.3	Komponen Elektrik.....	29
<u>2.3.3.1</u>	Generator.....	29
<u>2.3.3.2</u>	Prinsip Dasar Generator	29
<u>2.3.3.3</u>	Konstruksi Generator Sinkron.....	31
2.4	Analisis Perhitungan Finansial	33
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		37
3.1.	Tempat/ Lokasi penelitian	37
3.2.	Waktu Penelitian.....	38
3.3.	Pengambilan Data	38
3.3.1	Data Survei Topografi.....	38
3.3.2	Data Survei Demografi	39
3.3.3	Data Curah Hujan.....	40
3.3.4	Data Debit Air Aliran Sungai.....	40
3.3.5	Data Tinggi Terjun Total	43
3.4.	Metode Analisa Data.....	43
3.4.1.	Sipil	43
3.4.2	Hidrologis	43
3.4.3	Mekanis	43



3.4.5 Elektris.....	44
3.4.6 Finansial	44

BAB IV HASIL DAN ANALISA..... 45

4.1. Perhitungan Debit Air	45
4.2. Tinjauan Teknik Sipil	45
4.2.1 Dimensi Bendungan (<i>weir</i>).....	46
4.2.2 Intake	46
4.2.3 Saluran Pembawa (Head Race).....	46
4.2.4 Bak Utama	46
4.2.5 Saringan Sampah.....	46
4.2.6 Saluran Pembuang (<i>Spillway</i>)	47
4.2.7 Pipa Pesat (<i>Penstock</i>).....	47
4.2.8 Saluran Akhir (<i>Tail Race</i>)	48
4.2.9 Rumah Pembangkit.....	48
4.3 Perhitungan Tinggi Terjun Efektif.....	48
4.4 Mekanis	50
4.4.1 Perhitungan Daya Turbin.....	50
4.4.2 Menentukan Kecepatan Jenis Turbin	51
4.5 Elektris.....	52
4.5.1 Penentuan Besar Daya Generator	52
4.5.2 Pemilihan Jenis Generator.....	53
4.6 Perhitngan Finansial.....	53



4.6.1 Perhitungan biaya pembangunan PLTMH Tinggimoncong	53
4.6.2 Perhitungan Biaya Tahunan PLTMH Tinggimoncong.	54
4.6.3 Perhitungan Perkiraan Penerimaan Biaya.....	54
4.6.4 Perhitungan <i>Net Present Value</i> (NPV), Gross B/C, Net B/C	55
4.6.5 Perhitungan <i>Internal Rate of Return</i> (IRR).....	60
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1. Kesimpulan.....	61
5.2. Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN	65



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Lay out dan elemen utama suatu PLTMH	16
Gambar 2.2 Bendungan penaik muka air.....	16
Gambar 2.3 Bangunan Intake.....	17
Gambar 2.4 Turbin Pelton.....	24
Gambar 2.5 Turbin Crossflow.....	25
Gambar 2.6 Konstruksi Turbin Francis	26
Gambar 2.7 Turbin Propeller.....	27
Gambar 2.8 Konstruksi Generator Sinkron.....	32
Gambar 3.1 Peta Lokasi PLTMH.....	37
Gambar 3.2 Jarak Lokasi PLTMH ke Beban terdekat.....	39
Gambar 4.1 Rancangan bangunan PLTMH Tinggimoncong.....	45



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Koefesien kehilangan pada jalan masuk ke pipa	11
Tabel 2.2 Kehilangan minor di jaringan pipa akibat penyempitan mendadak.....	12
Tabel 2.3 Tabel karakteristik air.....	28
Tabel 3.1 Pengukuran Kedalaman Air.....	41
Tabel 4.1 Rekapitulasi biaya Pembangunan PLTMH Tinggimoncong.....	53
Tabel 4.2 Perhitungan <i>Net Present Value</i> dan B/C ratio padasuku bunga 10% ...	55
Tabel 4.3 Perhitungan <i>Net Present Value</i> dan B/C ratio padasuku bunga 12% ...	56
Tabel 4.4 Perhitungan <i>Net Present Value</i> dan B/C ratio padasuku bunga 14% ...	57
Tabel 4.5 Perhitungan <i>Net Present Value</i> dan B/C ratio padasuku bunga 16% ...	58
Tabel 4.6 Perhitungan <i>Net Present Value</i> dan B/C ratio padasuku bunga 18% ...	59



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) merupakan alternatif sumber energi listrik bagi masyarakat. PLTMH memberikan banyak keuntungan terutama bagi masyarakat pedalaman di seluruh Indonesia. Di saat sumber energi lain mulai menipis dan memberikan dampak negatif, maka air menjadi sumber energi yang sangat penting karena dapat dijadikan sumber energi pembangkit listrik yang murah dan tidak menimbulkan polusi.

Pembangkit listrik mikrohidro mengacu pada pembangkit listrik dengan skala di bawah 100 kW. Banyak daerah pedesaan di Indonesia yang dekat dengan aliran sungai yang memadai untuk pembangkit listrik pada skala yang demikian. Diharapkan dengan memanfaatkan potensi yang ada didesa-desa tersebut dapat memenuhi kebutuhan energinya sendiri dalam mengantisipasi kenaikan biaya energi atau kesulitan jaringan listrik nasional untuk menjangkaunya. Mikrohidro atau yang dimaksud dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggeraknya seperti saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (*head*) dan jumlah debit air. Pada air sungai terdapat potensi ketersediaan air yang cukup sepanjang tahun, debit yang dapat diandalkan, memiliki kontur yang sesuai dan telah dimanfaatkan untuk PLTMH. Namun PLTMH air sungai ini mengalami penurunan daya listrik yang dihasilkan.

Oleh karena itu, pada PLTMH air sungai ini perlu dilakukan analisis dan menghitung kembali daya listrik yang dihasilkan PLTMH air sungai ini. Dan yang



akan dibahas pada tugas akhir ini mengenai studi perencanaan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) di kecamatan tinggimoncong kabupaten Gowa Sulawesi Selatan. Pada studi ini akan dilakukan penelitian mengenai potensi air sungai pada kawasan tersebut menjadi energi listrik, selain potensi akan dibahas juga proses pembangkitan energi listrik

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana potensi tenaga air sungai (PLTMH) pada Kecamatan Tinggimoncong Kabupaten Gowa Sulawesi Selatan
2. Mengetahui jenis turbin dan jenis generator yang digunakan pada PLTMH di Tinggimoncong Kabupaten Gowa Sulawesi Selatan
3. Bagaimana analisa finansial pada pembangunan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) di Tinggimoncong Kabupaten Gowa Sulawesi Selatan

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui Daya listrik yang dapat dihasilkan berdasarkan debit dan ketinggian pada aliran sungai yang telah direncanakan di daerah kecamatan tinggi moncong kabupaten Gowa Sulawesi Selatan
2. Mengetahui jenis Turbin dan Generator yang akan digunakan pada perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)



3. Melakukan Analisis Finansial pada pembangunan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH)

1.4 Batasan Masalah

Dalam tugas akhir ini sistem yang akan dibuat, dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Pengambilan data debit air dan ketinggian pada PLTMH air sungai.
2. Menganalisis bangunan PLTMH air sungai.
3. Menghitung daya listrik yang dapat dihasilkan PLTMH air sungai.
4. Menghitung analisa finansial pada pembangunan PLTMH

1.5 Metode Penelitian

Adapun metode penelitian yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Studi literatur ini dilakukan dengan cara mencari sumber informasi berupa referensi dari buku, internet, jurnal, dan sumber pustaka lainnya yang dapat menunjang penelitian.

2. Pengambilan Data

Dilakukan pengambilan data pada lokasi yang dijadikan objek penelitian

3. Pengelompokan data, yang bertujuan untuk:

- a. Mengumpulkan dan mengelompokkan data agar lebih mudah dianalisis.
- b. Mengetahui kekurangan data sehingga pekerjaan lebih efisien



4. Pengolahan Data

Dikerjakan dengan menerapkan dan melakukan simulasi pada data yang telah didapatkan, dengan memasukkan berbagai rumus yang terdapat pada referensi yang digunakan

5. Analisis Pengolahan Data

Dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh simpulan sementara. Selanjutnya simpulan sementara ini akan diolah lebih lanjut pada bab pembahasan

6. Simpulan

Simpulan diperoleh setelah dilakukan analisis dan mendapatkan korelasi antara hasil pengolahan dengan permasalahan yang diteliti. Simpulan ini merupakan hasil akhir dari semua masalah yang dibahas.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini berisikan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini dijelaskan tentang berbagai teori penunjang dan referensi lain yang berkaitan dengan Tugas Akhir ini.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang metode-metode yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini.

BAB IV HASIL DAN ANALISA

Bab ini merupakan inti penulisan tugas akhir yang membahas perencanaan pembangkit listrik tenaga mikrohidro, pemilihan turbin, generator, dan analisa finansial perencanaan PLTMH

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisis data dan saran-saran yang dapat membangun dalam proses perencanaan pembangunan pembangkit listrik tenaga mikrohidro



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik berskala kecil (kurang dari 100 kW), yang memanfaatkan tenaga (aliran) air sebagai sumber penghasil energi. PLTMH termasuk sumber energi terbarukan dan layak disebut *clean energy* karena ramah lingkungan. Tenaga air berasal dari aliran sungai kecil atau danau yang dibendung dan kemudian dari ketinggian tertentu dan memiliki debit yang sesuai akan menggerakkan turbin yang dihubungkan dengan generator listrik. Semakin tinggi jatuhan air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Pembangkit tenaga air merupakan suatu bentuk perubahan tenaga dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin air dan generator [5].

Bentuk pembangkit tenaga mikrohidro bervariasi, tetapi prinsip kerjanya adalah sama, yaitu: “Perubahan tenaga potensial menjadi tenaga elektrik (listrik)”. Perubahan memang tidak langsung, tetapi berturut-turut melalui perubahan sebagai berikut:

- Tenaga potensial menjadi tenaga kinetik
- Tenaga kinetik menjadi tenaga mekanik
- Tenaga mekanik menjadi tenaga listrik

Tenaga potensial adalah tenaga air karena berada pada ketinggian. Energi kinetik adalah tenaga air karena mempunyai kecepatan. Tenaga mekanik adalah



tenaga kecepatan air yang terus memutar kincir/turbin. Tenaga listrik adalah hasil dari generator yang berputar akibat berputarnya kincir/turbin [5].

Ilmu fisika menjelaskan bahwa setiap benda yang berada di atas permukaan bumi mempunyai energi potensial, yang berbentuk seperti persamaan berikut :

$$E = m \cdot g \cdot h$$

Dimana,

$$m = \frac{v \cdot p}{g}$$

sehingga

$$E = \frac{v \cdot p}{g} \cdot g \cdot h$$

$$E = V \cdot p \cdot h$$

$$\frac{dE}{dt} = \frac{dV}{dt} \cdot p \cdot h$$

Dimana :

$$m = \text{massa (kg)}$$

$$g = \text{gravitasi bumi (9,8 m/s}^2\text{)}$$

$$v = \text{kecepatan (m/s)}$$

$$h = \text{ketinggian (m)}$$

dE merupakan energi yang dibangkitkan oleh elemen volume dV, yang melalui jarak h. Apabila didefinisikan Q sebagai debit air menurut rumus :

$$Q = \frac{dV}{dt}$$

Dimana dt adalah elemen waktu, maka dapat ditulis :

$$P = \frac{dE}{dt} = \frac{dV}{dt} \cdot p \cdot h$$



Sehingga,

$$P = Q \cdot p \cdot h$$

Karena 1 HP = 75 kg.m/dtk

$$\text{Maka} \quad P = \frac{Q \cdot p \cdot h}{75} \text{ HP}$$

Jika dikonversikan ke dalam Watt dimana untuk 1 HP = 736 Watt, maka :

$$P = \frac{dy}{dx} \text{ HP}$$

Jika dikonversikan kedalam Watt dimana untuk 1 HP = 736 Watt, maka :

$$P = \frac{Q \cdot h \cdot 1000 \cdot 0,736}{75} \text{ (kW)}$$

$$P = 9,81 \cdot Q \cdot h \text{ (kW)}$$

Dengan memperhitungkan efisiensi sistem, Daya yang dihasilkan dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{Daya input turbin} \quad : P = 9,81 \cdot Q \cdot h \text{ (kW)} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$\text{Daya output turbin} \quad : P = \text{Daya input turbin} \times \eta_T \text{ (kW)} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\text{Daya input generator} \quad : P = \text{Daya output turbin} \times \eta_{Tm} \text{ (kW)} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$\text{Daya output generator} : P = \text{Daya input generator} \times \eta_g \text{ (kW)} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

P = Daya teoritis

Q = Debit air (m³/det)

H = Tinggi terjun air (m)

η_T = Efisiensi turbin

η_{Tm} = Efisiensi transmisi mekanik

η_g = Efisiensi generator



Dari rumus diatas dapat dipahami bahwa berhasilnya pembangkit listrik tenaga mikrohidro tergantung pada usaha untuk mendapatkan debit air dan tinggi air terjun yang besar secara efektif dan ekonomis [9].

2.2 Persyaratan Pembangunan PLTMH

2.2.1 Pemilihan Lokasi PLTMH

Pemilihan lokasi sangat menentukan dalam membangun suatu PLTMH, karena akan dilihat apakah PLTMH tersebut dapat dimanfaatkan secara maksimal atau tidak.

Adapun faktor-faktor yang sangat menentukan dalam pemilihan lokasi PLTMH adalah sebagai berikut :

a. Faktor hidrologis

Data aliran sungai, dalam hal ini debit air dan tinggi terjun air, merupakan salah satu faktor penting dalam pemanfaatan potensi tenaga air karena merupakan salah satu variabel yang menentukan besarnya tenaga listrik yang akan dibangkitkan[3].

Pada pengoperasian suatu PLTMH, diharapkan debit sepanjang tahun tetap (konstan) namun hal ini tidak mungkin terjadi. Tetap tidaknya debit sepanjang tahun, disebabkan oleh beberapa hal antara lain : curah hujan, penguapan air sungai, penyerapan air ke dalam tanah. [3]

Untuk tinggi terjun air, ada dua pengertian yang penting, yaitu :

- Tinggi terjun total

Yang dimaksudkan tinggi terjun total adalah perbedaan tinggi antara permukaan air depan (*head water*) dengan permukaan air belakang (*tail water*)



- Tinggi terjun Efektif

Tinggi terjun efektif adalah selisih antara tinggi jatuh total dengan rugi-rugi ketinggian (*head losses*) yang mengikuti persamaan berikut :

$$H = H_T - H_L \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana : H = Tinggi terjun efektif (m)

H_T = Tinggi terjun total (m)

H_L = Rugi-rugi ketinggian (*head losses*) (m)

- Rugi-rugi ketinggian

Rugi-rugi ketinggian disebabkan oleh faktor

- Kerugian karena gesekan saat aliran air melewati *trashrack*
- Kerugian aliran gesekan *fluida* di dalam pipa
- Kerugian karena turbelensi aliran yang dipengaruhi belokan, buka katup, perubahan penampang aliran.
- Adapun Rugi-rugi ketinggian secara matematis dapat dilihat sebagai berikut :

1. Kehilangan tinggi pada mulut pipa masukan

Untuk menghitung rugi ini digunakan rumus :

$$h_{L1} = K_L \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana : h_{L1} = kehilangan tinggi pada mulut pipa (m)

K_L = koefisien kehilangan masuk pipa

V = kecepatan air dalam pipa besar (m/s)

Untuk menentukan koefisien kehilangan energi jalan masuk pipa dapat digunakan tabel berikut ini :



Tabel 2.1. koefesien kehilangan pada jalan masuk ke pipa

Bentuk Pemasukan	Koefesien K_L
Pemasukan yang tajam	0,50
Pemasukan yang halus	0,05
Corong roda	1,0

Sumber : Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air (Kamiana, I.M.)

2. Kehilangan tinggi pada belokan pipa

Kehilangan ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$h_{L2} = K \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana : h_{L2} = kehilangan tinggi energi pada belokan pipa (m)

K = koefesien kehilangan pada belokan pipa

V = kecepatan pipa dalam pipa pesat (m/s)

3. Kehilangan tinggi akibat penyempitan mendadak

Kehilangan ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$h_{L3} = K_L \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana : h_{L3} = Kehilangan tinggi energi akibat penyempitan mendadak (m)

K_L = Koefesien kehilangan pada pipa

V = Kecepatan air dalam pipa besar (m/s)

Nilai koefesien kehilangan akibat penyempitan dapat dilihat pada tabel 2.2

4. Kehilangan tinggi akibat gesekan pada pipa

Kehilangan ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus *darcy-*

Weisbach :



$$h_{L4} = f \frac{L.V^2}{D.2.g} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana : h_{L4} = Kehilangan akibat gesekan pada pipa (m)

L = Panjang pipa pesat secara keseluruhannya (m)

D = Diameter pipa pesat (m)

V = Kecepatan air dalam pipa pesat (m/s)

F = faktor gesekan

Tabel 2.2 Kehilangan minor di jaringan pipa akibat penyempitan mendadak

D2/D1	K_L
0,0	0,5
0,4	0,4
0,6	0,3
0,8	0,1
1,0	0,0

Sumber : Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air (Kamiana, I.M.)

Faktor gesekan (f) merupakan suatu fungsi dari kekasaran nilai e/D pipa serta angka dari aliran. Angka Reynold dapat ditentukan dari :

$$R_e = (V.D)/\gamma \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana γ adalah kekentalan kinematik dari air (m/s). Kekentalan ini dapat ditentukan dengan menggunakan tabel ciri-ciri fisik air dan faktor gesekan (f) dapat ditentukan dengan menggunakan diagram *Moody* yang dapat dilihat pada lampiran[8].

5. Kehilangan tinggi pada katup

Kehilangan ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :



$$h_{L5} = K \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana : h_{L5} = Kehilangan tinggi energy pada katup (m)

K = koefesien kehilangan pada katup

V = Kecepatan air dalam pipa besar (m/s)

Untuk menentukan koefesien energi pada katup dapat digunakan Tabel 2.2.

Reduksi *head losses* dapat dilakukan dengan cara :

- Penggunaan diameter pipa yang lebih besar (harus mempertimbangkan biaya)
- Mengurangi belokan *penstock* dan pemilihan dimensi yang terbaik untuk mendapatkan rugi-rugi yang kecil [8]

b. Faktor Geologis

Kondisi tanah merupakan salah satu faktor yang cukup penting dalam pembangunan PLTMH. Kondisi tanah dalam suatu daerah berhubungan langsung dengan pembangunan sipil PLTMH. Namun hal ini tidak berarti hubungan dengan teknis lainnya tidak ada. Kaitannya dalam hal ini adalah unsur-unsur kimia yang terkandung dalam tanah jika terbawa air dapat menyebabkan terjadinya korosi pada pipa pesat atau peralatan lainnya

Kondisi tanah akan mempengaruhi kestabilan bangunan khususnya bagian-bagian tertentu bendungan dan gardu sentral. Kondisi tanah yang dimaksudkan diatas adalah yang menyangkut karakteristik fisik dan mekanik tanah. Karakteristik fisik berkenaan dengan keadaan fisik tanah yakni: berbatu, kerikil, pasir, tanah lempung atau tanah liat. Karakteristik mekanik tanah berkenaan dengan perubahan struktur tanah misalnya: terjadinya retakan akibat pergeseran [6].



c. Faktor-faktor lainnya yang menyangkut keandalan PLTMH

Dalam perlu diperhatikan beberapa hal yang menyangkut keandalan PLTMH antara lain :

1. Jarak antara sumber tenaga listrik dengan desa (pusat beban) yang akan dilayani tidak akan terlalu jauh
2. Lokasinya mudah/dapat dijangkau untuk pengangkutan peralatan-peralatan yang berhubungan dengan pembangkit [6].

2.2.2 Persyaratan Teknik Sipil

Persyaratan teknik sipil sangat penting karena merupakan bagian terbesar dari fasilitas-fasilitas tenaga air untuk membangkitkan tenaga listrik sehingga akan mempengaruhi dan menentukan besarnya biaya serta sulit tidaknya pembangunan PLTMH tersebut. Yang termasuk di dalamnya adalah pekerjaan-pekerjaan mulai dari pembangunan bendungan untuk memasukkan (intake) atau menyimpan air, saluran-saluran air hingga rumah turbinnya [4].

2.2.3 Persyaratan Teknik Listrik

Beberapa persyaratan teknik listrik yang perlu diperhatikan dalam membangun PLTMH pada suatu daerah adalah :

1. Memungkinkan untuk menarik jaringan distribusi
2. Jatuh tegangan pada sistem distribusi tidak boleh terlalu besar, maksimum 10% dari tegangan nominal

Suatu distribusi yang digunakan untuk daerah pedesaan umumnya menggunakan sistem distribusi tipe radial karena disamping harganya yang murah, untuk daerah pedesaan tenaga listrik tersebut sebagian besar digunakan



untuk keperluan penerangan, sehingga segi kualitasnya tidak begitu dipentingkan[3].

Perlu juga diperhatikan beberapa hal yang berkaitan dengan masalah kelistrikan pembangunan PLTMH antara lain :

- Jarak antara sumber tenaga listrik (pembangkit) dengan beban
- Perumahan pada lokasi perencanaan pembangkit
- Industri kecil yang akan timbul setelah adanya tenaga listrik

2.2.4 Persyaratan Sosial Ekonomi

Lokasi untuk pembangunan PLTMH serta dapat mendukung kelangsungan hidup PLTMH serta dapat menunjang aktifitas yang produktif pada bidang lainnya. Oleh karena itu prioritas utama hendaknya diberikan pada daerah pedesaan yang memenuhi syarat sebagai desa teladan yaitu desa-desa yang mempunyai swadaya dan bersemangat dalam kegiatan sosial ekonominya [3].

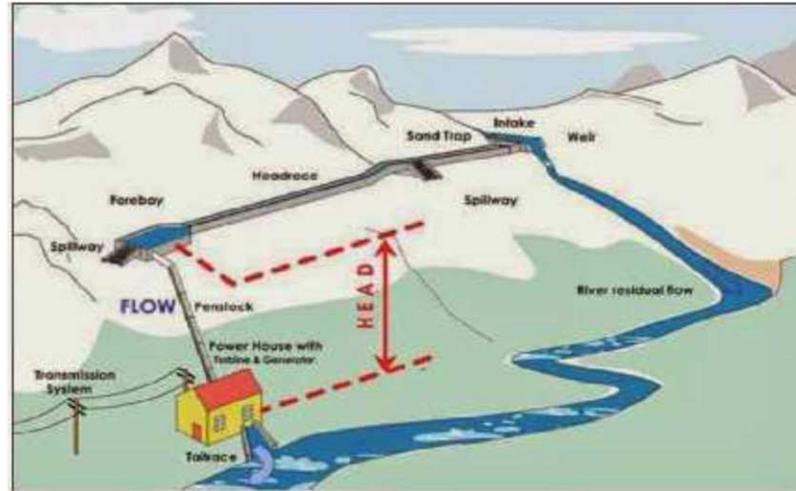
2.3 Bagian-bagian Utama PLTMH

Bagian-bagian utama dari suatu pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro dikelompokkan dalam tiga bagian yaitu :

- Bagian bangunan sipil
- Bagian bangunan mekanik
- Bagian peralatan listrik

2.3.1 Bagian Utama Bangunan Sipil

Komponen-komponen sipil dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.1 lay out dan elemen utama suatu PLTMH

Sumber : Pembangkit Listrik Mikro Hidro, 2015

1. Waduk dan bendungan (weir)

Waduk dan bendungan adalah suatu kesatuan yang bekerja sama untuk menampung air. Pada saat musim air melimpah pada musim hujan maka kelebihan air ini akan ditampung, bila musim kemarau datang maka relatif masih ada persediaan air guna mensuplai turbin [6].



Gambar 2.2 Bendungan penaik muka air

Sumber : Pembangkit Listrik Mikro Hidro, 2015

2. Intake

Intake adalah pintu dari waduk menuju bak penenang. Walaupun arus sungai pada tingkat minimum saluran intake harus bisa membawa air dengan stabil, desain saluran pembawa dibuat dengan memperhitungkan air pada debit minimum [6].



Gambar 2.3 Bangunan Intake

Sumber : Pembangkit Listrik Mikro Hidro, 2015

3. Bak Penenang (*forebay tank*)

Bak penenang merupakan penghubung antar kanal dengan pipa pesat. Fungsi utama dari bak penenang ini adalah untuk mengendapkan partikel yang masih terbawa sebelum air masuk ke dalam pipa pesat. Tergantung pada ukuran dan kapasitas bak penenang ini, tetapi juga dapat berfungsi sebagai reservoir tempat penyimpanan air.

Adanya pintu penguras memungkinkan pemasukan ke pipa pesat ditutup. Bagian depan dari pipa pesat dilengkapi dengan saringan (*trash rack*) untuk mencegah partikel berukuran relatif besar masuk ke pipa pesat. Juga dilengkapi dengan pelimpas untuk melindungi bak penenang ini [6].



4. Saluran pembawa

Kanal atau saluran pembawa mengalirkan air dari intake ke bak penenang (*forebay*). Panjang kanal ini sesuai dengan kebutuhan. Panjang kanal tergantung pada kondisi lokasi. Dalam satu kasus, panjang kanal dikombinasi dengan pipa pesat yang relatif pendek mungkin akan lebih murah, sedang pada kasus lainnya mungkin kanal yang pendek harus dibarengi dengan pipa pesat yang panjang mungkin lebih sesuai. Kebanyakan saluran pembawa ini di gali, tetapi mungkin pula membangun kanal di atas permukaan tanah. Untuk mengurangi gesekan antara permukaan kanal dan kebocoran, kanal ini sering dilapisi semen, lumpur atau lembaran *polythene*. Ukuran dan bentuk kanal sering merupakan kompromi antara biaya dan pengurangan *head*. Ketika air mengalir di dalam kanal, terjadi rugi energi karena proses gesekan pada dinding dan dasar kanal, makin besar rugi-rugi gesak serta makin tinggi beda *head* yang diperlukan antara bagian masuk dan keluar kanal [6].

5. Bak Utama (*head tank*)

Bak utama berfungsi menyediakan air bagi kebutuhan turbin secara berkeseimbangan. Bak utama merupakan tempat masuknya air ke pipa pesat yang diakibatkan oleh jatuhnya tingkat permukaan air di bak utama.

Dalam beberapa kasus dikarenakan pembuatan bak penenang tidak dapat dilakukan karena kurangnya biaya maka fungsi bak penenang digabungkan dengan bak utama dengan memperbesar kapasitas bak utama dan melengkapi dengan pintu pembuangan endapan. Bak utama juga dilengkapi dengan saringan sampah (*trash trap*) [6].



6. Saringan sampah (trash trap)

Saringan disini berfungsi untuk menyaring kotoran-kotoran agar air yang masuk ke pipa pesat dapat terjamin kebersihannya. Mengingat pentingnya fungsi saringan sampah maka fasilitas ini harus diperhatikan dan dirancang agar sampah tetap dapat dibersihkan oleh operator walaupun air dalam bak utama berada dalam level maksimal.

Sampah yang terjebak di saringan berada dibawah level air pada saat operasi akan sulit dibersihkan. Bila sampah tidak dibersihkan secara berkala maka sampah yang menutupi saringan sampah akan mengakibatkan level air yang mengalir dari bak utama ke pipa pesat menjadi turun dan mempengaruhi putaran turbin dan generator [6].

7. Saluran pembuang (*spillway*)

Saluran pembuang berfungsi untuk membuang kelebihan air dari *head tank* ke sungai. Saluran pembuang dibuat untuk mencegah air yang berlebihan dalam tangki utama yang bias membanjiri rumah turbin dan pengikisan tanah di sekitar turbin yang akhirnya mengakibatkan longsor.

Saluran pembuang didesain sedemikian rupa sehingga bisa membuang kelebihan air dengan stabil pada arus pembuangan maksimum

8. Pipa pesat

Pipa pesat adalah pipa yang membawa air bertekanan dari bak penenang menuju turbin air. Pipa pesat ini merupakan komponen yang menyerap anggaran terbesar dari biaya total pembangunan pembangkit tenaga air. Sekitar 40% anggaran biaya diserap oleh pipa pesat untuk instalasi dengan head besar, oleh



karena itu perancangan pipa pesat harus optimalo. Harus dilakukan *trade off* antara rugi-rugi head dengan biaya modal yang tersedia. Rugi-rugi *head* karena gesekan air dengan permukaan bagian dalam pipa berkurang drastis dengan memperbesar diameter pipa pesat, sebaliknya biaya pipa akan naik secara drastis dengan kenaikan diameter. Oleh sebab itu harus ada kompromi antara biaya dengan kinerja pembangkit yang diinginkan. Filosofi perancangan pipa pesat pertama-tama adalah mengidentifikasi pilihan ukuran pipa yang tersedia, kemudian memilih target rugi-rugi *head* sebesar 5% menjadi titik *starting* [2].

Tegangan pada dinding pipa tersebut dibandingkan dengan kekuatan tarik material dan tegangan yang diijinkan. Apabila tegangan pada dinding pipa lebih besar maka penentuan diameter dan ketebalan pipa diulang (*iterasi*) sampai diperoleh kondisi yang aman, tumpuan pipa pesat (*sadle block*), baik pondasi *anchor block*, *sadle support*, berfungsi untuk mengikat dan menahan *penstock*. Jarak tumpuan ditentukan oleh besarnya defleksi maksimum *penstock* yang diijinkan. Untuk mengetahui besarnya diameter pipa pesat yang digunakan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$D = 3,55 \left[\frac{Q^2}{2gh} \right]^{1/4} \dots\dots\dots(2.12)$$

- Dimana: D = diameter pipa pesat (m)
Q = debit air rencana (m³/det)
H = tinggi air terjun efektif (m)
g = percepatan grafitasi (9,8 m²/det)



9. Rumah Pembangkit (*power house*)

Rumah pembangkit adalah bangunan tempat diletakkannya peralatan utama seperti turbin, generator dan lain-lain. Pembangunan mikrohidro idealnya harus mendapatkan *head* yang maksimum. Konsekuensinya lokasi rumah pembangkit berada pada tempat yang serendah mungkin. Karena alasan keamanan dan konstruksi dasar rumah pembangkit didesain lebih tinggi dibandingkan permukaan air sungai. Lokasi rumah pembangkit harus memperhitungkan pencegahan banjir yang dapat menggenangi rumah turbin dan merusak peralatan. Disekeliling rumah turbin juga dibuat parit untuk mengalirkan air hujan agar tidak menggenang.

Denah rumah pembangkit harus disesuaikan dengan dimensi peralatan mekanikal-elektrikal yang terpasang, antara lain: turbin, generator, trafo, *junction box*, baterai dll. Rumah pembangkit di desain sedemikian rupa, selain untuk melindungi peralatan juga dimaksudkan sebagai ruang kontrol/pengendalian semua aktifitas pengelolannya.

Secara umum persyaratan rumah pembangkit, meliputi hal-hal sebagai berikut ini:

- Mempunyai *space* ruangan yang cukup lebar untuk aktifitas bongkar pasang peralatan mekanikal-elektrikal beserta perlengkapannya, baik pada waktu pemasangan pertama kali maupun perawatannya.
- Mempunyai struktur pondasi yang kuat, sehingga aman dari bahaya kegagalan daya dukung maupun *settlement*



- Mempunyai konstruksi yang aman untuk melindungi peralatan I dalamnya dan aktifitas yang sedang berlangsung

Selain itu rumah pembangkit dilengkapi dengan fasilitas rumah juga untuk operator turbin. Di dalam bangunan rumah pembangkit berisi turbin dan panel kontrol elektrik [6].

10. Saluran akhir (*tailrace*)

Tailrace berfungsi untuk membuang air yang telah melewati turbin ke sungai. *Tailrace* dibuat dengan memperhitungkan debit air yang masuk ke turbin. Saluran pembuangan air (*tailrace*) dirancang agar terlindung terhadap kondisi alam, seperti batuan-batuan besar. Ujung saluran *tail race* direncanakan tidak terletak pada bagian sisi luar sungai karena mendapat beban yang besar pada saat banjir, serta memungkinkan masuknya aliran air menuju ke rumah pembangkit.

2.3.2 Komponen Mekanik

2.3.2.1 Turbin Air

Turbin air berperan untuk mengubah energi air (energi potensial, tekanan dan energi kinetik) menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros. Putaran poros turbin ini akan di ubah oleh generator menjadi tenaga listrik. Daerah aplikasi berbagai jenis turbin air relatif spesifik. Pada beberapa daerah operasi memungkinkan menggunakan beberapa jenis turbin. Pemilihan jenis turbin pada daerah operasi yang *overlapping* ini memerlukan perhitungan yang lebih mendalam [5].



2.3.2.2 Jenis Turbin Air

Pada dasarnya daerah kerja operasi turbin menurut *keller* dikelompokkan menjadi:

- *Low head power plant*; dengan tinggi jatuhan air (head) sampai 10 m³
- *Medium head power plant*; dengan tinggi jatuhan antara *low head* dan *high head*
- *High head power plant*; dengan tinggi jatuhan air yang memenuhi persamaan $H \geq 100 (Q)^{0-133}$

Dimana : $H = \text{head (m)}$

$Q = \text{desain debit (m}^3/\text{s)}$

Jadi daerah operasi turbin adalah:

- Kaplan dan propeller = $2 < H < 20$
- Francis = $10 < H < 350$
- Pelton = $50 < H < 1000$
- Crossflow = $6 < H < 100$
- Turgo = $50 < H < 250$

a. Turbin Impuls

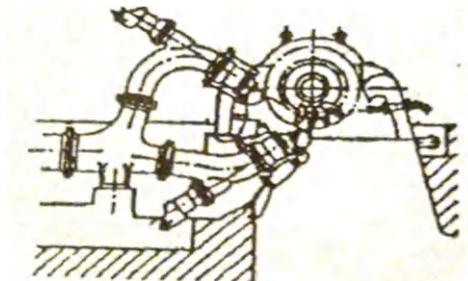
Pada turbin impuls, energi yang tersedia pertama-tama dikonversikan menjadi energi kinetik dalam *nozzle* kemudian diteruskan masuk ke dalam penyemprot (*jet*) yang akan menyembrotkan air ke sudu-sudu sehingga rotor berputar, di mana proses ekspansi dari fluida kerjanya hanya terjadi dalam sudu-sudu tempatnya. Yang termasuk dalam

kelompok turbin ini yaitu turbin pelton dan turbin *banki-mitchell* (crossflow)

Bentuk dari jenis turbin yang termasuk dalam kelompok turbin impuls, dapat dilihat pada uraian berikut :

- Turbin Pelton

Turbin Pelton merupakan turbin impuls. Turbin Pelton terdiri dari satu set sudu jalan yang diputar oleh pancaran air yang disemprotkan dari satu atau lebih alat yang disebut *nozzle*. Turbin Pelton adalah salah satu dari jenis turbin yang paling efisien. Turbin Pelton adalah turbin yang cocok digunakan untuk *head* tinggi. Bentuk sudu turbin terdiri dari dua bagian yang simetris. Sudu di bentuk sedemikian sehingga pancaran air akan mengenai tengah-tengah sudu dan pancaran air tersebut akan berbelok ke kedua arah sehingga bisa membalikkan pancaran dengan baik dan membebaskan sudu dari gaya-gaya samping. Untuk turbin dengan daya yang besar, sistem penyemprotan airnya dibagi lewat beberapa *nozzle*. Dengan demikian diameter pancaran air bisa diperkecil dan ember sudu lebih kecil. Turbin Pelton untuk pembangkit skala besar membutuhkan *head* lebih kurang 150 meter tetapi untuk skala mikro *head* 20 meter sudah mencukupi [5].

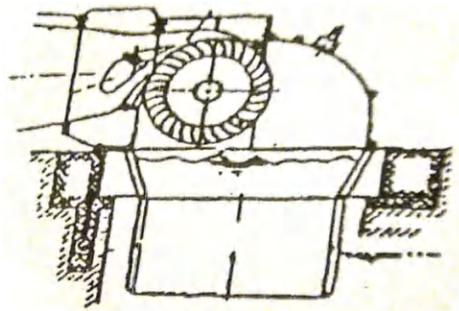


Gambar 2.4 Turbin Pelton

Sumber : Turbin, Pompa, dan Kompresor, 1993

- Turbin *Banki-Mitchell* (Crossflow)

Salah satu jenis turbin impuls ini juga dikenal dengan nama Turbin *Mitchel-Banki* yang merupakan penemuannya. Selain itu juga disebut Turbin *Osberger* yang merupakan perusahaan yang memproduksi Turbin *Croosflow*. Turbin *Croosflow* dapat dioperasikan pada debit 20 liter/det hingga 10 m³/dtk dan *head* antara 1 s/d 200 m. Turbin *Croosflow* menggunakan *nozzle* persegi panjang yang lebarnya sesuai dengan lebar *runner*. Pancaran air masuk turbin dan mengenai sudu sehingga terjadi konversi energi kinetik menjadi energi mekanis. Air mengalir keluar membentur sudu dan memberikan energinya (lebih rendah dibanding saat masuk) kemudian meninggalkan turbin. *Runner* turbin dibuat dari beberapa sudu yang dipasang pada sepasang piringan paralel.



Gambar 2.5 Turbin Crossflow

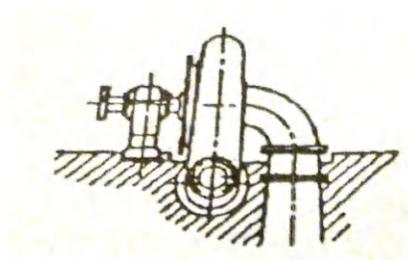
Sumber : Turbin, Pompa, dan Kompresor, 1993

b. Turbin Reaksi

Pada Turbin Reaksi, rotor berputar karena adanya aliran air dan tekanan. Jadi energi yang diberikan selain energi kinetik juga energi tekanan, dimana proses ekspansi dari fluida kerjanya terjadi baik dalam sudu tetapnya maupun sudu gerakannya. Yang termasuk dalam kelompok turbin ini yaitu Turbin Francis dan Turbin Propeller (Kaplan). Bentuk dari jenis turbin yang termasuk dalam kelompok Turbin Impuls, dapat dilihat pada uraian berikut:

- Turbin Francis

Turbin Francis merupakan salah satu turbin reaksi. Turbin dipasang diantara sumber air tekanan tinggi di bagian masuk dan air bertekanan rendah di bagian keluar. Turbin Francis menggunakan sudu pengarah. Sudu pengarah mengarahkan air masuk secara *tangensial*. Sudu pengarah pada turbin Francis merupakan suatu sudu pengarah yang tetap ataupun sudu pengarah yang dapat diatur sudutnya. Untuk penggunaan pada berbagai kondisi aliran air penggunaan sudu pengarah yang dapat diatur merupakan pilihan yang tepat [5].

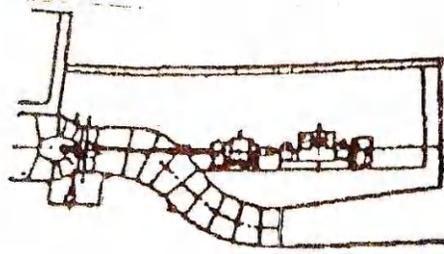


Gambar 2.6 Konstruksi Turbin Francis

Sumber : Turbin, Pompa, dan Kompresor, 1993

- Turbin Kaplan (*propeller*)

Turbin Kaplan dan Propeller merupakan Turbin Reaksi alias aksial. Turbin ini tersusun dari *propeller* seperti pada perahu. *Propeller* tersebut biasa mempunyai tiga hingga enam sudu [5].



Gambar 2.7 Turbin Propeller

Sumber : Turbin, Pompa, dan Kompresor, 1993

2.3.2.3 Kecepatan Jenis Turbin

Pemilihan jenis turbin dapat ditentukan berdasarkan kelebihan dan kekurangan dari jenis-jenis turbin, khususnya untuk suatu desain yang sangat spesifik. Pada tahap awal, pemilihan jenis turbin dapat diperhitungkan dengan mempertimbangkan parameter-parameter khusus yang mempengaruhi sistem operasi turbin, yaitu:

- Faktor jatuhan air efektif (*Net Head*) dan debit yang akan dimanfaatkan untuk operasi turbin merupakan faktor utama yang mempengaruhi jenis turbin, sebagai contoh turbin pelton efektif untuk operasi pada *head* tinggi, sementara turbin propeller sangat efektif beroperasi pada head rendah
- Faktor daya (*power*) yang diinginkan berkaitan dengan *head* dan debit yang tersedia

- Kecepatan (putaran) turbin yang akan ditransmisikan ke generator

Ketiga faktor di atas seringkali diekspresikan sebagai “kecepatan spesifik = n_s ” yang didefinisikan sebagai formula:

$$n_s = \frac{n \sqrt{Q}}{H^{\frac{5}{4}}} \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana : n_s = Kecepatan jenis turbin (rpm)

n = Putaran turbin (rpm)

H = Tinggi terjun efektif (m)

Q = Debitair (m³/det)

Dengan mengetahui kecepatan spesifik turbin maka perencanaan dan pemilihan jenis turbin akan menjadi lebih mudah. Dengan mengetahui besaran kecepatan spesifik maka dimensi dasar turbin dapat diperkirakan [5].

2.3.2.4 Karakteristik Turbin Air

Berdasarkan tinggi jatuh bersih, debit air, dan kecepatan jenis turbin serta efisiensinya maka pemakaian sebuah turbin air berdasarkan karakteristik-karakteristik H , Q , rpm dan η dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.3 Tabel karakteristik air

Karakteristik	Pelton	Francis	Propeller dan Kaplan	Crossflow
Tinggi Terjun head (m)	≥ 200	10-100	≤ 100	1-200
Debit air Q (m ³ /det)	$< 1,5$	0,1-30	5-100	0,02-10
Kecepatan jenis n_{spesifik} (rpm)	10-62	55-100	300-1200	50-300



Efisiensi (%)	80-87	80-90	80-90	80-85
---------------	-------	-------	-------	-------

Sumber : Turbin, Pompa dan Kompresor (Fritz Dietzel)

2.3.3 Komponen Elektrik

2.3.3.1 Generator

Generator adalah suatu alat yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Generator terbagi atas 2 golongan yaitu Generator Arus Bolak-Balik (AC) dan Generator Arus Searah (DC).

Generator arus bolak-balik terdiri atas dua jenis yaitu generator sinkron dan generator asinkron. Konstruksi generator sinkron merupakan susunan *ferromagnetisasi* yang terdiri dari dua bagian utama yaitu bagian yang diam (stator) dan bagian yang berputar (rotor) dimana keduanya dipisahkan oleh celah udara.

Generator AC yang akan dibahas adalah generator-generator sinkron dimana frekuensi listrik yang dihasilkannya sebanding dengan jumlah kutub dan putaran yang dimilikinya. Listrik yang dihasilkan listrik arus bolak-balik (listrik AC). Mesin penggeraknya dapat berasal dari tenaga air, tenaga uap, mesin disel dan sebagainya. Generator sinkron mempunyai kumparan jangkar pada *stator* dan kumparan medan pada *rotor* [6].

2.3.3.2 Prinsip Dasar Generator

Suatu generator yang mencatu daya pada suatu pembangkit bekerja sebagai suatu sumber tegangan yang besar, frekuensinya ditentukan oleh putaran atau kecepatan penggerak mulanya (*prime mover*) sebagai mana pada persamaan berikut :



$$f_e = \frac{p}{2} \times f_m \dots\dots\dots (2.14)$$

$$f_e = \frac{p \times n}{120} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana : f_e = Frekuensi listrik (Hz)

f_m = Frekuensi mekanis (Hz)

P = Jumlah kutub

n = Kecepatan putaran motor (rpm)

Besarnya arus, tegangan dan faktor daya ditentukan oleh penguatan (eksitasi), impedansi generator dan beban. Gambar 2.8 menggambarkan penampang stator dan rotor generator sinkron, dengan medan magnetik diumpamakan berputar searah jarum jam dengan statornya diam. Jika torsi yang dihasilkan cukup besar untuk mengatasi torsi beban yang menahan, rotor akan melakukan percepatan searah jarum jam atau dalam arah yang sama dengan putaran medan magnetik *stator* [6].

Kecepatan medan magnetik stator atau kecepatan sinkron (n_s) ditentukan dengan persamaan :

$$n_s = \frac{120 f}{p} \text{ (rpm)} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana : n_s = Kecepatan sinkron (rpm)

F = Frekuensi (Hz)

P = Jumlah kutub

Prinsip dasar terjadinya gaya gerak Listrik (ggl) pada suatu generator yaitu mengikuti Hukum *faraday* sebagai berikut :

$$e = \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots(2.17)$$



Dimana : e = gaya gerak listrik

$\frac{d\phi}{dt}$ = perubahan jumlah fluks terhadap waktu (Wb/s)

Jika sebuah konduktor digerakkan tegak lurus sejauh ds memotong medan magnet dengan kecepatan fluks B , maka perubahan fluks pada konduktor dengan panjang efektif I maka didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$d\phi = B \times I \times ds \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana : $d\phi$ = perubahan fluks (Wb)

B = kerapatan fluks (Tesla)

ds = perubahan jarak (m)

Dari persamaan (2.14) dan (2.15) diperoleh :

$$e = B \times I \times \frac{ds}{dt} \dots\dots\dots (2.19)$$

Dimana : I = Panjang penghantar

$\frac{ds}{dt}$ = Perubahan jarak terhadap waktu (m/s)

Jika kecepatan adalah v (m/s) maka :

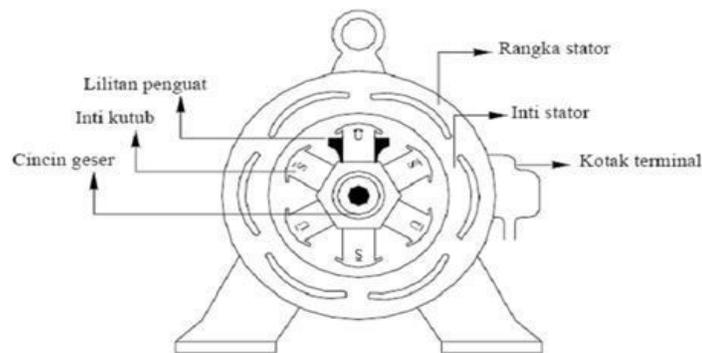
$$e = B \times I \times v \dots\dots\dots (2.20)$$

Persamaan $e = B \times I \times v$ ini dapat diartikan bahwa apabila sepotong konduktor dalam medium medan magnet diberikan energi kinetik dengan kecepatan = v , maka akan membangkitkan ggl (e). Dan ini adalah prinsip dasar dari sebuah generator [6].

2.3.3.3 Konstruksi Generator Sinkron

Generator sinkron umumnya dibuat sedemikian rupa sehingga lilitan tempat terjadinya ggl (gaya gerak listrik) tidak bergerak, sedangkan kutub-kutub

yang menimbulkan medan magnet berputar. Generator semacam ini disebut generator kutub dalam. Keuntungan generator kutub dalam adalah bahwa untuk mengambil arus tidak membutuhkan cincin geser dan sikat arang. Hal ini disebabkan lilitan tempat terjadinya ggl tidak berputar.



Gambar 2.8 Konstruksi Generator Sinkron

Sumber : Pembangkit Listrik Mikro Hidro, 2015

a. Konstruksi Stator

Bagian ini tersusun dari plat-plat yang mempunyai alur-alur tempat meletakkan lilitan stator yang juga disebut lilitan jangkar. Lilitan stator berfungsi sebagai tempat terjadinya ggl induksi.

b. Konstruksi Rotor

Rotor merupakan bagian yang berputar. Pada rotor terdapat kutub-kutub magnet dengan lilitannya yang dialiri arus searah melewati cincin geser dan sikat-sikat. Konstruksi rotor terdiri dari dua jenis yaitu :

- Rotor Kutub Salient (Salient Pole Rotor)

Rotor jenis ini biasa digunakan pada generator yang mempunyai penggerak utama dengan kecepatan rendah dan menengah. Rotor kutub



sailent terdiri dari inti kutub, badan kutub, dan sepatu kutub. Belitan medan dililitkan pada badan kutub, sedangkan pada sepatu kutub dipasang belitan peredam (*dumper winding*). Belitan peredam ini terdiri dari batang tembaga yang terletak pada alur-alur sepatu kutub. Batang-batang ini dihubungkan pada ujung-ujungnya dengan sebuah ring tembaga. Peredam ini berguna untuk mencegah guncangan putaran seketika. Belitan kutub terbuat dari tembaga, sedangkan badan kutub dan sepatu kutub terbuat dari besi lunak

- Rotor Silinder

Rotor silinder umumnya digunakan pada generator yang penggerak utamanya adalah turbin uap yang mempunyai putaran sangat tinggi. Pada sekeliling rotor terdapat alur-alur sebagai tempat dari kumparan medan [6].

2.4 Analisis Perhitungan Finansial

Pengadaan suatu PLTMH sebagai pembangkit tenaga listrik dapat dianalisa secara finansial maupun secara ekonomi. Dalam analisis finansial yang berkepentingan langsung dengan benefit dan biaya-biaya proyek adalah individu-individu atau pengusaha, sedangkan pada analisis ekonomi yang berkepentingan langsung dengan benefit dan biaya-biaya proyek adalah pemerintah atau masyarakat secara keseluruhan. Pengadaan PLTMH juga merupakan suatu kegiatan proyek yang memerlukan ukuran apakah proyek tersebut dapat memberikan keuntungan atau merugikan. Untuk maksud tersebut maka dalam



penulisan ini dianalisis secara finansial dengan menggunakan kriteria investasi sebagai berikut :

1. *Net Present Value (NPV)*

Net Present Value merupakan selisih antara *present value benefit* dan *present value cost* untuk selama jangka waktu umur proyek dan dihitung pada suatu tingkat bunga tertentu

- a. Jika $NPV > 0$, berarti jumlah *present value* lebih besar dari jumlah *present value cost*, dihitung pada tingkat bunga yang sama dalam keadaan ini proyek tersebut masih termasuk urutan proyek yang diperbolehkan pelaksanaannya.
- b. Jika $NPV < 0$, berarti sebenarnya sudah tidak tersedia sumber dana untuk membiayai proyek yang lebih menguntungkan yang terpaksa dibatalkan, berarti penggunaan dana tidak efisien [7].

NPV ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{Bt - Ct}{(1+i)^t} \dots\dots\dots(2.21)$$

Dimana : Bt = Benefit proyek pada tahun t

Ct = Biaya proyek pada tahun t

n = Umur Proyek

i = Tingkat suku bunga

t = Tahun ke-t proyek

2. *Gross Benefit – Cost ratio (Gross B/C)*

Gross B/C adalah perbandingan antara jumlah *present value benefit* dengan jumlah *present value* biaya. Gross B/C ini dapat dirumuskan sebagai:



$$\text{Gross B/C} = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{Bt}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{Ct}{(1+i)^t}} \dots\dots\dots(2.22)$$

Dimana : Bt = Benefit proyek pada tahun t

Ct = Biaya proyek pada tahun t

n = Umur proyek

i = Tingkat suku bunga

t = Tahun ke-t proyek

3. Net Benefit – Cost ratio (Net B/C)

Net B/C adalah perbandingan antara jumlah *present value* dari *net benefit* yang positif dengan jumlah *present value* dari *net benefit* yang negatif. Net B/C ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Net B/C} = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{Bt-C}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{Ct-Bt}{(1+i)^t}} \dots\dots\dots(2.23)$$

Dimana: Bt = Benefit proyek pada tahun t

Ct = Biaya proyek pada tahun t

n = Umur Proyek

i = Tingkat suku bunga

t = Tahun ke-t proyek

4. Internal Rate of Return (IRR)

Internal rate of return adalah tingkat suku bunga yang dapat membuat besarnya *the net present value* (NPV) proyek sama dengan nol, atau yang dapat membuat B/C Ratio = 1. IRR ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:



$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} \times (i_2 - i_1) \dots \dots \dots (2.24)$$

Dimana: i_1 = Tingkat suku bunga yang dianggap dekat dengan nilai IRR yang menghasilkan NPV bernilai positif

i_2 = Tingkat suku bunga yang dianggap dekat dengan nilai IRR yang menghasilkan NPV bernilai negatif

NPV1 = Net present value pada tingkat suku bunga i_1 yang menghasilkan NPV positif

NPV2 = Net present value pada tingkat suku bunga i_2 yang menghasilkan NPV negatif