

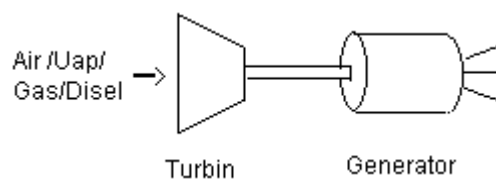
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pembangkit Listrik

Pembangkit adalah sesuatu yang membangkitkan atau alat untuk membangkitkan sesuatu. Dengan demikian dalam suatu sistem tenaga listrik yang dimaksud dengan pembangkit tenaga listrik ialah suatu alat / peralatan yang berfungsi untuk membangkitkan tenaga listrik dengan cara mengubah energi potensial menjadi tenaga mekanik, selanjutnya menjadi tenaga listrik. Istilah lain yang dipakai untuk menyebut pembangkit tenaga listrik ialah pusat tenaga listrik. Untuk mendapatkan energi listrik dapat memanfaatkan bermacam-macam sumber energi, misalnya tenaga air, tenaga angin, bahan bakar fosil, dan bahan bakar nuklir. Dengan memakai sumber energi tersebut diperoleh tenaga untuk menggerakkan turbin yang akan mengaktifkan generator listrik. Energi listrik yang dihasilkan harus diubah menjadi tegangan yang sesuai untuk transmisi.

Setelah proses ini, arus listrik dialirkan melalui jaringan kabel transmisi ke daerah yang memerlukan. Pada proses pembangkitan tenaga listrik telah terjadi proses perubahan energi mekanik menjadi energi listrik.



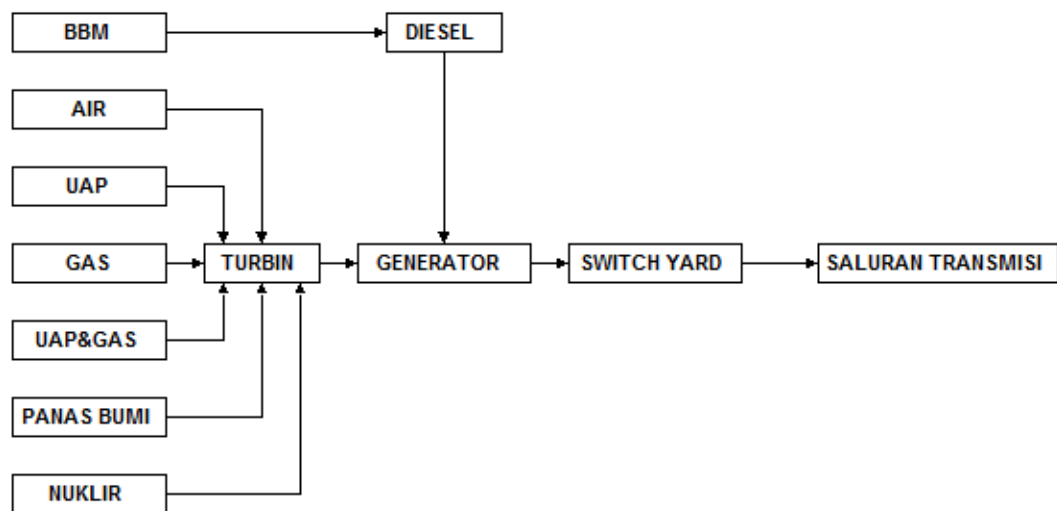
Gambar 2.1. Simulasi pembangkit listrik

Terdapat dua jenis turbin sebagai penggerak generator, yaitu turbin mekanik dan turbin uap. Turbin mekanik digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dan tenaga angin. Turbin uap digunakan pada pembangkit listrik berbahan bakar fosil dan nuklir, misalnya Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD),

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), dan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP).

2.2. Prinsip Kerja

Masing-masing jenis pembangkit tenaga listrik mempunyai prinsip kerja yang berbeda-beda, sesuai dengan penggerak mulanya (*prime mover*). Satu hal yang sama dari beberapa jenis pembangkit tenaga listrik tersebut yaitu semuanya sama-sama berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi listrik, dengan cara mengubah potensi energi mekanik dari air, uap, gas, panas bumi, nuklir, kombinasi gas dan uap, menggerakkan atau memutar turbin yang porosnya dikopel dengan generator, selanjutnya dengan sistem pengaturannya generator tersebut akan menghasilkan daya listrik.



Gambar 2.2. Sistem pembangkit yang terdiri dari beberapa jenis pembangkit

Secara umum pembangkit tenaga listrik dikelompokkan menjadi dua bagian besar, yaitu pembangkit listrik thermis dan pembangkit listrik non thermis. Pembangkit listrik thermis mengubah energi panas menjadi energi listrik. Panas di sini bisa dihasilkan oleh panas bumi, minyak, uap dan yang lainnya. Hal ini dikatakan bahwa pembangkit thermis yang dihasilkan dari panas bumi mempunyai



penggerak mula panas bumi, biasanya disebut pembangkit panas bumi. Sedangkan pembangkit non thermis penggerak mulanya bukan dari panas. Seperti pada pembangkit thermis penggerak mula inilah yang menentukan nama / jenis pembangkit tenaga listrik tersebut, misalnya apabila penggerak mulanya berupa air maka air inilah yang menentukan jenis pembangkit tenaga non thermis tersebut, biasanya disederhanakan sebutannya menjadi pembangkit listrik tenaga air (PLTA), dan lain sebagainya.

2.3. Pembangkit Listrik Tenaga Pico Hidro (PLTPH)

Pembangkit Listrik Tenaga Pico Hidro (PLTPH) merupakan pembangkit listrik air yang bersekala pico. Dikatakan bersekala pico dikarenakan energi listrik yang dihasilkan hanya berkisar ratusan watt. Pembangkit listrik tenaga pico hidro memiliki beberapa keunggulan diantaranya :

1. Biaya pembuatannya relatif murah.
2. Bahan-bahan pembuatannya mudah ditemukan di pasaran.
3. Ramah lingkungan karena tidak menggunakan bahan bakar fosil.
4. Pembangunannya dapat dipadukan dengan pembangunan jaringan irigasi.
5. Perkembangan teknologinya relatif masih sedikit, sehingga cocok digunakan dalam jangka waktu yang lama.
6. Tidak membutuhkan perawatan yang rumit dan dapat digunakan cukup lama.
7. Ukurannya yang kecil, cocok digunakan untuk daerah pedesaan yang belum terjangkau jaringan aliran listrik PLN.

2.3.1. Prinsip Pembangkit Listrik Tenaga Air

Pembangkitan tenaga air adalah suatu bentuk perubahan tenaga dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin air dan generator. Daya (*power*) yang dihasilkan dapat dihitung berdasarkan rumus berikut :



$$P = 9,8 \times \rho \times Q \times H \dots\dots\dots (2.1)^1$$

Dimana:

P = daya keluaran secara teoritis (watt)

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)

Q = debit air (m^3/s)

H = ketinggian efektif (m)

Daya yang keluar dari generator dapat diperoleh dari perkalian efisiensi turbin dan generator dengan daya yang keluar secara teoritis. Sebagaimana dapat dipahami dari rumus tersebut di atas, daya yang dihasilkan adalah hasil kali dari tinggi jatuh dan debit air, oleh karena itu berhasilnya pembangkitan tenaga air tergantung daripada usaha untuk mendapatkan tinggi jatuh air dan debit yang besar secara efektif dan ekonomis.

Picohydro adalah istilah yang digunakan untuk instalasi pembangkit listrik yang menggunakan energi air. Kondisi air yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber daya (*resources*) penghasil listrik adalah memiliki kapasitas aliran dan ketinggian tertentu dari instalasi. Semakin besar kapasitas aliran maupun ketinggiannya dari instalasi maka semakin besar energi yang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Berdasarkan *output* yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga air dibedakan atas:

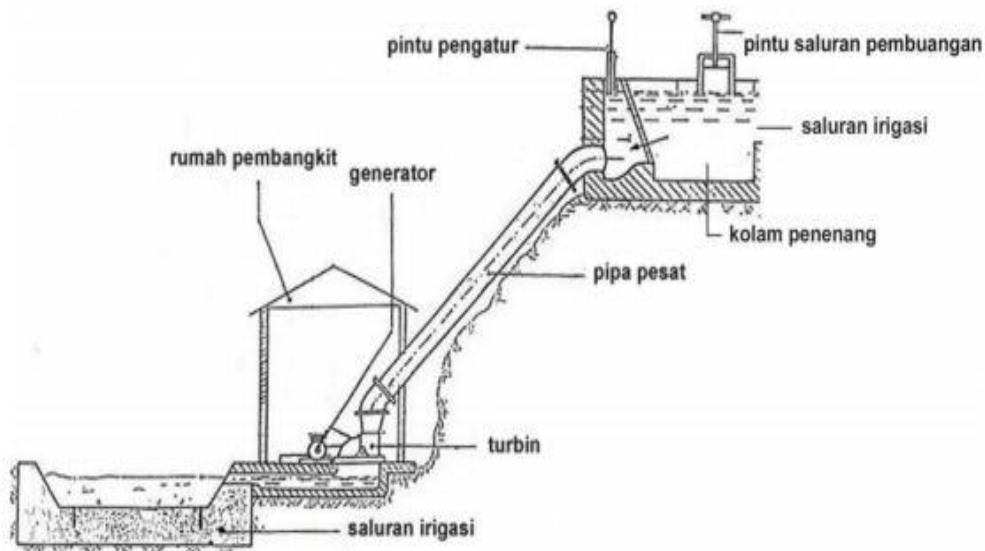
- 1) Large-hydro : lebih dari 100 MW
- 2) Medium-hydro : antara 15 – 100 MW
- 3) Small-hydro : antara 1 – 15 MW
- 4) Mini-hydro : Daya diatas 100 kW, tetapi dibawah 1 MW
- 5) Micro-hydro : Output yang dihasilkan berkisar dari 5kW sampai 100 kW

¹ Sri Sukamta, Adhi Kusmantoro, “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Jantur Tabalas Kalimantan Timur”, Desember 2013, Hlm 59.

- 6) Pico-hydro : daya yang dikeluarkan berkisar ratusan watt sampai 5kW

2.3.2. Prinsip Pembangkit Listrik Tenaga Pico Hidro

Pembangkit listrik tenaga air skala piko pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran air saluran irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator kemudian generator menghasilkan energi listrik.



Gambar 2.3. PLTA skala pico

Pada saluran irigasi ini terdapat penyaringan sampah untuk menyaring kotoran yang mengambang diatas air, kolam pengendap untuk mengendapkan kotoran, saluran pembuangan untuk membuang kelebihan air yang mengalir melalui saluran akibat banjir dengan melalui pintu saluran pembuangan. Akhir dari saluran ini adalah sebuah kolam penenang (*forebay tank*) yang berfungsi untuk mengendapkan dan menyaring kembali air agar kotoran tidak masuk dan merusak turbin. Selain itu kolam penenang ini berfungsi juga untuk menenangkan aliran air yang akan masuk ke dalam pipa pesat. Pipa pesat (*penstock*) ini akan mengalirkan



air ke rumah pembangkit (*power house*) yang terdapat turbin dan generator di dalamnya. Besar volume air yang masuk ke pipa pesat diatur melalui pintu pengatur.

Turbin pada proses pembangkitan listrik ini berputar karena adanya pengaruh energi potensial air yang mengalir dari pipa pesat dan mengenai sudu – sudu turbin. Berputarnya turbin kemudian akan mengakibatkan generator juga berputar sehingga generator dapat menghasilkan energi listrik sebagai keluarannya.

Besarnya daya listrik sebelum masuk ke turbin secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut :

$$P_{in\ Turbin} = \rho \times Q \times h \times g \dots\dots\dots(2.2)^2$$

Sedangkan besar daya keluaran turbin adalah sebagai berikut :

$$P_{out\ Turbin} = \rho \times Q \times h \times g \times \eta_{turbin} \dots\dots\dots(2.3)^3$$

Sehingga secara matematis daya nyata yang dihasilkan dari pembangkit adalah sebagai berikut :

$$P_{real} = \rho \times Q \times h \times g \times \eta_{turbin} \times \eta_{generator} \dots\dots\dots(2.4)^4$$

Dimana :

$P_{in\ turbin}$ = daya masukan ke turbin (kW)

$P_{out\ turbin}$ = daya keluaran dari turbin (Kw)

P_{real} = daya sebenarnya yang dihasilkan (kW)

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)

Q = debit air (m^3/s)

² Bonk Adha Fadli, “PLTA Pico Hidro Teori Dasar”, <http://bonkadhafadli.blogspot.co.id/2013/02/pykohydro-teori-dasar.html?m=1>, 5 Juni 2017

³ *Ibid.*

⁴ *Ibid.*

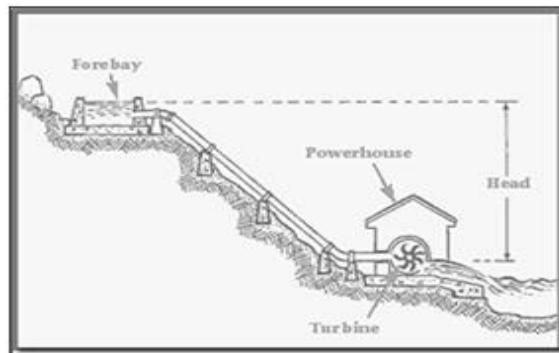
- h = ketinggian efektif (m)
- g = gaya gravitasi (m/s^2) = 9,8 m/s^2
- η_{turbin} = efisiensi turbin (antara 0,8 s/d 0,9)
- $\eta_{\text{generator}}$ = efisiensi generator (antara 0,8 s/d 0,9)

2.4. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Pico Hidro (PLTPH)

2.4.1. Faktor – Faktor Yang Diperlukan Dalam Perencanaan PLTPH

A. Tinggi Jatuh Air (Head)

Penentuan debit dan *head* pada PLTMH mempunyai arti yang sangat penting dalam menghitung potensi energi listrik. Pengukuran debit air (Q) sungai pada dasarnya terdapat banyak metode pengukuran debit air. Untuk sistem konversi energi air skala besar pengukuran debit bisa berlangsung bertahun-tahun. Sedangkan untuk sistem konversi energi air skala kecil waktu pengukuran dapat lebih pendek, misalnya untuk beberapa musim yang berbeda saja. Tingkat kemiringan yang diwakili oleh indikator gradien skematik, semakin miring areal, semakin besar kemungkinan untuk ditemukannya *head* yang cukup untuk PLTPH.



Gambar 2.4. Penentuan tinggi jatuh air (*head*)

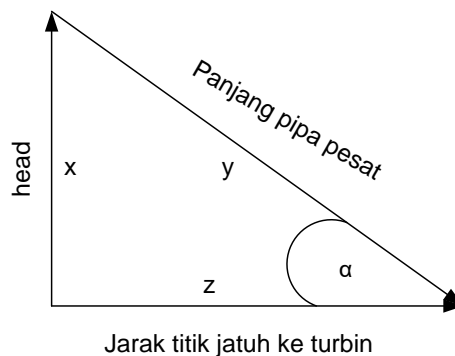
Metode yang digunakan dalam mendapatkan *head* yang digunakan dalam perencanaan PLTPH dengan cara melakukan perhitungan dimana yang perlu diketahui dalam mencari *head* adalah panjang pipa pesat yang digunakan dan jarak

antara titik jatuh air ke rumah turbin. Dengan begitu head yang digunakan dapat dicari.

$$\text{Ketinggian air (head)} = \sqrt{\text{panjang pipa pesat}^2 - \text{jarak titik jatuh ke rumah turbin}^2}$$

B. Sudut Kemiringan

Sudut kemiringan merupakan sudut yang digunakan untuk mendapatkan kemiringan jalur pipa pesat untuk menyalurkan air. Sudut kemiringan diperlukan untuk mendapatkan aliran air yang bagus pada perencanaan ini. Untuk mencari sudut kemiringan ini kita perlu mengetahui faktor lain yaitu tinggi jatuh air dan juga jarak panjang pipa pesat yang digunakan. Faktor inilah yang digunakan untuk mendapatkan sudut kemiringan hal ini sama seperti menentukan sudut kemiringan pada segitiga siku-siku. Persamaan yang berikut untuk menentukan sudut kemiringan : $\alpha = \sin^{-1} \frac{x}{y}$



Gambar 2.5. Segitiga penncari sudut α

C. Debit Air

Terdapat banyak metode pengukuran debit air. Sistem konversi energi air skala besar memerlukan pengukuran debitair yang dapat berlangsung bertahun-tahun. Sedangkan untuk sistem konversi energi air skala kecil waktu pengukuran



dapat lebih pendek. Mengukur luas permukaan sungai, dan kecepatan aliran air sungai dapat dilakukan seperti langkah – langkah pengukuran berikut :

1. Pengukuran kedalaman sungai dilakukan di beberapa titik berbeda $X_1 - X_n$.
2. Lebar sungai .
3. Hitung kedalaman rata-rata, menggunakan rumus :

$$x_{rata2} = \frac{\sum x}{n} \dots\dots\dots(2.5)^5$$

Keterangan :

x = kedalaman penampang (m)

n = jumlah banyak kedalaman yang diukur

x_{rata2} = rata-rata kedalaman penampang (m)

4. Luas diperoleh dengan mengalikan kedalaman rata-rata dengan lebar sungai, yaitu :

$$A = x_{rata2} \times l \dots\dots\dots(2.6)^6$$

Keterangan :

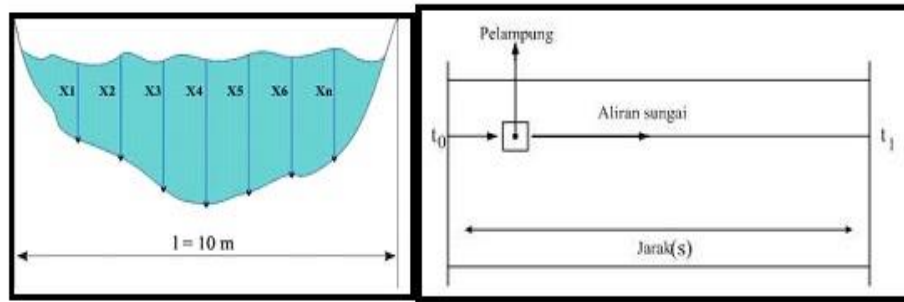
l = lebar penampang (m)

A = luas penampang (m²)

Mengukur kecepatan aliran sungai (v), langkah – langkah pengukuran: carilah bagian sungai yang lurus dengan panjang sekitar 20 meter, dan tidak mempunyai arus putar yang menghambat jalannya pelampung. Ikatlah sebuah pelampung kemudian dihanyutkan dari titik $t_0 - t_1$ seperti terlihat pada gambar berikut :

⁵ Sri Sukamta, Adhi Kusmantoro, “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Jantur Tabalas Kalimantan Timur”, Desember 2013, Hlm 60.

⁶*Ibid.*



Gambar 2.6. Pengukuran luas permukaan dan kecepatan aliran sungai

Hal ini dilakukan 5 kali berturut – turut kemudian catat waktu tempuh pelampung tersebut ($t_0 - t_1$) dengan menggunakan *stopwatch*. Hitunglah waktu tempuh rata-rata dari pelampung tersebut, yaitu :

$$t_{rata2} = \frac{\sum t}{n} \dots\dots\dots(2.7)^7$$

Keterangan :

- t = waktu tempuh pelampung (det)
- n = jumlah waktu yang terukur
- t_{rata2} = rata-rata waktu tempuh pelampung (det)

Kecepatan aliran air sungai (v) diperoleh dengan membagi jarak sungai (s) dengan waktu tempuh rata-rata dari pelampung tersebut, yaitu :

$$v = \frac{s}{t_{rata2}} \dots\dots\dots(2.8)^8$$

Keterangan :

- s = jarak aliaran air (m)
- v = kecepatan aliran air (m/det)

⁷ Sri Sukamta, Adhi Kusmantoro, “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Jantur Tabalas Kalimantan Timur”, Desember 2013, Hlm 60.

⁸ *Ibid.*



Setelah luas dan kecepatan aliran sungai diketahui, maka besar debit pada sungai tersebut dapat dianalisis :

$$Q = A \times v \text{ (m}^3/\text{det)} \dots\dots\dots(2.9)^9$$

Keterangan :

Q = debit aliran air (m³/det)

A = luas penampang (m²)

v = kecepatan aliran air (m/det)

Dalam mencari atau menentukan debit air dapat dilakukan dengan melakukan pengukuran dengan cara beberapa metode diantaranya :

- a) Velocity Method
- b) Pengukuran Debit dengan Cara Apung (Float Area Methode)
- c) Pengukuran Debit dengan Metode Kontinyu

Namun menurut Chay Asdak (UNPAD) metode pengukuran debit air di bagi dalam 4 katagori.

1) Pengukuran air sungai

Biasanya dilakukan untuk aliran air (sungai) lambat. Pengukuran debit dengan cara ini dianggap paling akurat, terutama untuk debit aliran lambat seperti pada aliran mata air. Cara pengukurannya dilakukan dengan menentukan waktu yang di perlukan untuk mengisi kontainer yang telah diketahui volumenya. Prosedur yang biasa dilakukan untuk pengukuran debit dengan cara pengukuran volume adalah dengan membuat dam kecil (atau alat semacam weir) disalah satu bagian dari badan aliran air yang akan diukur. Gunanya adalah agar aliran air dapat terkonsentrasi pada satu outlet. Di tempat tersebut pengukuran volume air dilakukan. Pembuatan dam kecil harus sedemikian rupa sehingga permukaan air di belakang dam tersebut cukup stabil. Besarnya debit aliran dihitung dengan cara:

⁹ Sri Sukamta, Adhi Kusmantoro, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Jantur Tabalas Kalimantan Timur", Desember 2013, Hlm 60.



$$Q = v \times t \dots\dots\dots(2.10)$$

Q = debit (m^3/dt)

v = volume air (m^3)

t = waktu pengukuran (detik)

2) Pengukuran debit dengan cara mengukur kecepatan aliran dan menentukan luas penampang melintang sungai.

Yaitu pengukuran debit dengan bantuan alat ukur current meter atau sering dikenal sebagai pengukur debit melalui pendekatan velocity-area method paling banyak dipraktikkan dan berlaku untuk kebanyakan aliran sungai.

3) Pengukuran debit dengan menggunakan bahan kimia (pewarna) yang dialirkan dalam aliran sungai.

Sering digunakan untuk jenis sungai yang aliran airnya tidak beraturan (*turbulence*). Untuk maksud-maksud pengukuran hidrologi, bahan-bahan penelusur (*tracers*).

- a. Mudah larut dalam aliran sungai
- b. Bersifat stabil
- c. Mudah dikenali pada konsentrasi rendah.
- d. Tidak bersifat meracuni biota perairan dan tidak menimbulkan dampak (*negatif*) yang permanen pada badan perairan.
- e. Relatif tidak terlalu mahal harganya.

4) Pengukuran debit dengan membuat bangunan pengukur debit seperti weir (aliran lambat) atau aliran air cepat.

Persoalan yang sering muncul ketika melakukan pengukuran debit sungai mendorong para ahli hidrologi mengembangkan alat / bangunan pengontrol aliran



sungai untuk tujuan pengukuran debit. Bangunan tersebut antara lain, *weir* dan *flume*. Cara kerja bangunan pengukur debit tersebut di atas adalah dengan menggunakan kurva aliran untuk mengubah kedalaman aliran air menjadi debit. Perbedaan pemakaian kedua alat tersebut adalah bahwa *flume* digunakan untuk mengukur debit pada sungai dengan debit aliran besar, sering disertai banyak sampah atau bentuk kotoran lainnya. Sedangkan aliran air kecil atau dengan ketinggian aliran (*head / h*) tidak melebihi 50 cm. Biasanya dipakai *weir*. Aliran yang melewati lempengan *weir* akan menunjukkan besar kecilnya debit di tempat tersebut. Kegunaan utama alat tersebut adalah untuk mengurani kesalahan dalam menentukan hubungan debit (Q) dan tinggi muka air.

a. Perkiraan debit empiris

Dibanyak negara berkembang, terutama di daera-daerah terpencil alat pencatat aliran air sangat terbatas dan kalau tersedia sering kali dalam kondisi kurang memadai. Namun demikian, terlepas dari segala kekurangan yang ada, prakiraan besarnya aliran air, betapapun kasarnya, sangat diperlukan untuk mengevaluasi keadaan DAS atau untuk merancang bangunan pengairan, terutama dalam kaitannya pengendali banjir. Untuk mengatasi permasalahan seperti tersebut di atas, berikut ini akan dikemukakan teknik atau metoda untuk memprakirakan besarnya debit dengan menggunakan persamaan empiris.

Pada tempat-tempat seperti tersebut di atas, karena keterbatasan alat ukur debit, besarnya debit biasanya ditentukan secara tidak langsung (*indirect measurement*). Cara yang sering digunakan untuk memprakirakan besarnya debit dalam kasus ini adalah melalui pendekatan *slope-area method*. Salah satu metoda yang sering digunakan untuk mengukur kecepatan aliran air melalui pendekatan *slope-area method* adalah persamaan *manning*. Bentuk persamaan *manning* untuk memperoleh angka kecepatan aliran pada saluran terbuka.

b. Hidrograf Aliran



Konsep unit hidrograf (UHG) memberikan dasar berbagai model hidrologi yang lebih rumit dan pemakaian yang lebih luas dibandingkan dengan metoda rasional. Kegunaan utama metoda UHG adalah untuk menganalisa proyek-proyek pengendalian banjir. Dua faktor utama untuk menentukan bentuk hidrograf adalah karakteristik Das dan iklim. Unsur iklim yang perlu diketahui adalah jumlah curah hujan total, intensitas hujan, dan suhu.

Sherman (1932) memperkenalkan metoda untuk memperkirakan dan menelusuri debit sungai yang kemudian dikenal sebagai metoda UHG. UHG dibentuk dari data aliran sungai dari suatu Das sebagai respon curah hujan. Sherman mendefinisikan UHG sebagai berikut:

Dengan kata lain, UHG mewakili 1 inch (2.5 cm) air larian (*direct runoff*) suatu DAS. Debit puncak dan lama waktu aliran tidak berubah untuk curah hujan yang jatuh dalam selang waktu tertentu. Selang waktu biasanya dipilih antara seperempat sampai setengah dari waktu yang diperlukan untuk tercapainya debit puncak (Q_p). Curah hujan efektif (*excess rainfall*) biasanya dianggap sebagai curah hujan total dikurangi air infiltrasi. Sedang sisanya, air larian, akan memerlukan waktu sama dengan waktu konsentrasi T_c untuk mencapai lokasi pengamatan (*outlet*). UHG berhenti ketika air larian terakhir dari tempat yang paling jauh mencapai lokasi pengamatan.

2.4.2. Komponen Yang Diperlukan Dalam Perencanaan PLTPH

Komponen yang diperlukan dalam PLTPH sama dengan komponen dalam PLTMH, yang secara umum terdiri dari :

1. Bendungan (*Weir*) dan *Intake*

Pada umumnya instalasi PLTA skala piko merupakan pembangkit listrik tenaga air jenis aliran sungai atau saluran irigasi langsung, jarang yang merupakan jenis waduk (bendungan besar). Konstruksi bangunan *intake* untuk mengambil air langsung dapat berupa bendungan (*weir*) yang melintang sepanjang lebar sungai atau langsung membagi aliran air sungai tanpa dilengkapi bangunan bendungan.



Intake merupakan pipa masukan yang berguna untuk mengalirkan air ke bendungan. Lokasi *intake* harus dipilih secara cermat untuk menghindari masalah di kemudian hari.

2. Saluran Pembawa (*Head Race*)

Saluran pembawa berfungsi untuk mengalirkan air dari *intake* sampai ke bak penenang. Perencanaan saluran penghantar berdasarkan pada kriteria :

- 1) Nilai ekonomis yang tinggi
- 2) Efisiensi fungsi
- 3) Aman terhadap tinjauan teknis
- 4) Mudah pengerjaannya
- 5) Mudah pemeliharaannya
- 6) Struktur bangunan yang memadai
- 7) Kehilangan tinggi tekan (*head losses*) yang kecil

3. Pipa Pesat (*Penstock*)

Pipa pesat (*penstock*) adalah pipa yang berfungsi untuk mengalirkan air dari bak penenang (*forebay tank*). Perencanaan pipa pesat mencakup pemilihan material, diameter *penstock*, tebal dan jenis sambungan (*coordination point*). Pemilihan material berdasarkan pertimbangan kondisi operasi, akseibilitas, berat, sistem penyambungan dan biaya. Diameter pipa pesat dipilih dengan pertimbangan keamanan, kemudahan proses pembuatan, ketersediaan material dan tingkat rugi-rugi (*fiction losses*) seminimal mungkin. Ketebalan *penstock* dipilih untuk menahan tekanan hidrolis dan *surge pressure* yang dapat terjadi.

4. Pintu Saluran Pembuangan

Pintu saluran pembuangan ini berfungsi untuk membuang air apabila terjadi kelebihan volume air pada saluran pembawa.

5. Kolam Penenang (*Forebay Tank*)



Kolam penenang berfungsi untuk mengendapkan dan menyaring kembali air agar kotoran tidak masuk dan merusak turbin. Selain itu kolam penenang ini juga berfungsi untuk menenangkan aliran air yang akan masuk ke dalam pipa pesat.

6. Pintu Pengatur

Pintu pengatur berfungsi untuk mengatur volume air yang akan masuk dari kolam penenang ke pipa pesat.

7. Rumah Pembangkit (*Power House*)

Pada rumah pembangkit ini terdapat turbin, generator dan peralatan lainnya. Bangunan ini menyerupai rumah dan diberi atap untuk melindungi peralatan dari hujan dan gangguan-gangguan lainnya.

8. Saluran Buang (*Tail Race*)

Saluran buang berfungsi mengalirkan air keluar setelah memutar turbin.

9. Turbin Air

Turbin air dikembangkan pada abad 19 dan digunakan secara luas untuk pembangkit tenaga listrik. Turbin air mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis yang lalu kemudian energi mekanis tersebut diubah dengan generator listrik menjadi energi listrik. Dalam pemakaian turbin air untuk pembangkit terdapat beberapa macam turbin yang digunakan, itu tergantung dari turbin air apa yang akan digunakan untuk pembangkit.

A. Pengelompokan Turbin

Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis, turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi. Pada Tabel berikut menunjukkan pengelompokan turbin.



Tabel 2.1. Pengelompokan Turbin

| | <i>High Head</i> | <i>Medium head</i> | <i>Low head</i> |
|---------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Turbin Impuls | <i>Pelton</i> <i>Turgo</i> | <i>Crossflow</i> <i>Multi – jet</i> <i>Pelton</i> <i>Turgo</i> | <i>Crossflow</i> |
| Turbin Reaksi | | <i>Francis</i> | <i>Propeller</i> <i>Kaplan</i> |

1) Turbin Impuls

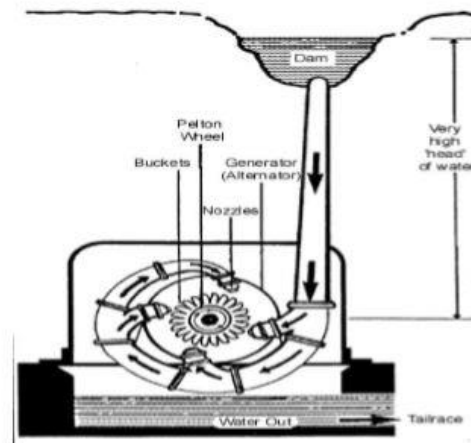
Energi potensial air diubah menjadi energi kinetik pada *nozle*. Air keluar *nozle* yang mempunyai kecepatan tinggi membentur sudu turbin. Setelah membentur sudu arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (*impulse*). Akibatnya roda turbin akan berputar. Turbin impuls adalah sama dengan turbin tekanan karena aliran air yang keluar dari *nozle* tekanannya adalah sama dengan tekanan atmosfer sekitarnya. Semua energi tinggi tempat dan tekanan ketika masuk ke sudu jalan turbin dirubah menjadi energi kecepatan.

a. 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 *nozle*. Turbin Pelton adalah salah satu dari jenis turbin air yang paling efisien. Turbin Pelton adalah turbin yang cocok digunakan untuk *head* tinggi.

Bentuk sudu turbin terdiri dari dua bagian yang simetris. Sudu dibentuk sedemikian sehingga pancaran air akan mengenai tengah-tengah sudu dan pancaran air tersebut akan berbelok ke kedua arah sehingga bisa membalikkan pancaran air

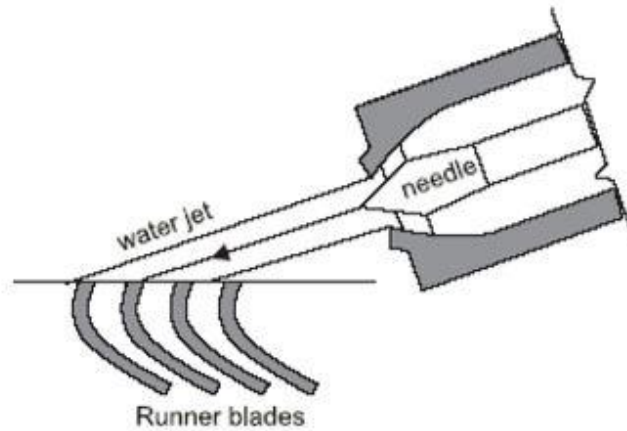
dengan baik dan membebaskan sudu dari gaya-gaya samping sehingga terjadi konversi energi kinetik menjadi energi mekanis. Turbin Pelton untuk pembangkit skala besar membutuhkan *head* lebih kurang 150 meter tetapi untuk skala mikro *head* 20 meter sudah mencukupi. Gambar berikut merupakan bentuk dari turbin pelton.



Gambar 2.7. Turbin Pelton

b. Turbin Turgo

Turbin *Turgo* dapat beroperasi pada *head* 30 m s/d 300 m. Seperti turbin pelton turbin turgo merupakan turbin impuls, tetapi sudunya berbeda. Pancaran air dari *nozzle* membentur sudu pada sudut 20° . Kecepatan putar turbin turgo lebih besar dari turbin pelton. Akibatnya dimungkinkan transmisi langsung dari turbin ke generator sehingga menaikkan efisiensi total sekaligus menurunkan biaya perawatan. Pada Gambar berikut menunjukkan bentuk turbin turgo.

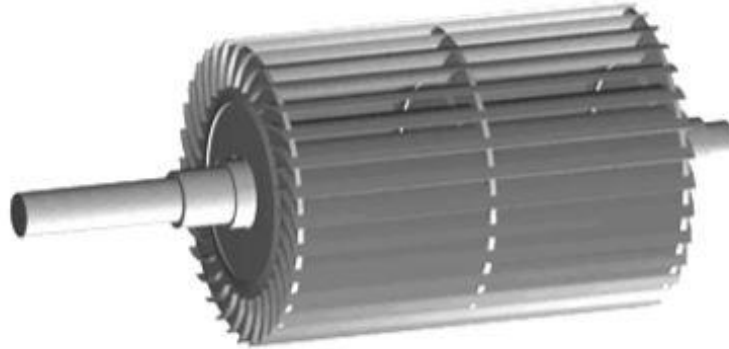


Gambar 2.8. Turbin *Turgo*

c. Turbin *Crossflow*

Turbin *Crossflow* merupakan jenis turbin yang dikembangkan oleh *Anthony Michell* (Australia), *Donat Banki* (Hongaria) dan *Fritz Ossberger* (Jerman). *Michell* memperoleh hak paten atas desainnya pada 1903. Turbin jenis ini pertama-tama diproduksi oleh perusahaan *Weymouth*. Turbin ini juga sering disebut sebagai turbin *Ossberger*, yang memperoleh hak paten pertama pada 1922. Perusahaan *Ossberger* tersebut sampai sekarang masih bertahan dan merupakan produsen turbin *crossflow* yang terkemuka di dunia.

Turbin *crossflow* dapat dioperasikan pada debit 20 liter/s hingga 10 m³/s dan *head* antara 1 m s/d 200 m. Turbin *crossflow* menggunakan *nozle* 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 berikut merupakan bentuk turbin *crossflow*.



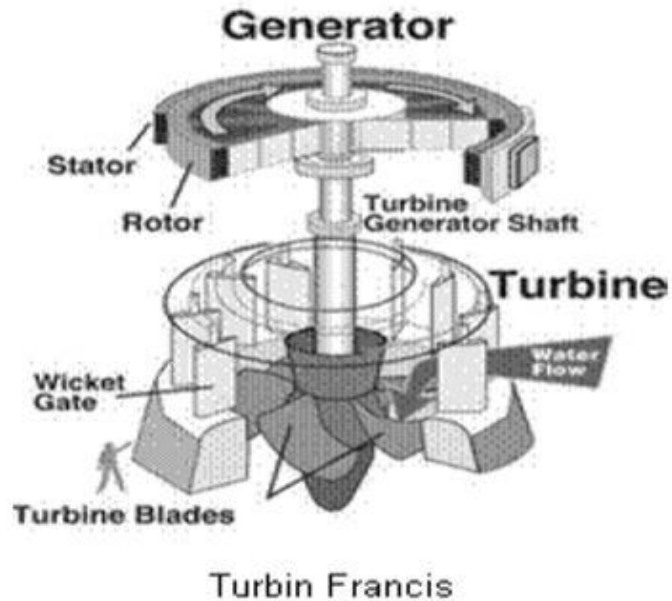
Gambar 2.9. Turbin *Crossflow*

2) Turbin Reaksi

Sudu pada turbin reaksi mempunyai profil khusus yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudu. Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudu sehingga *runner* (bagian turbin yang berputar) dapat berputar. Turbin yang bekerja berdasarkan prinsip ini dikelompokkan sebagai turbin reaksi. *Runner* turbin reaksi sepenuhnya tercelup dalam air dan berada dalam rumah turbin.

a. Turbin *Francis*

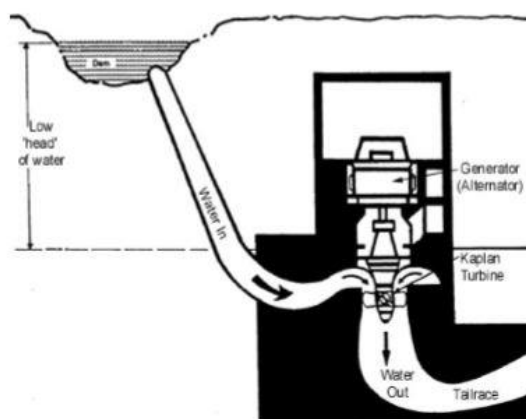
Turbin *Francis* merupakan salah satu turbin reaksi. Turbin dipasang diantara sumber air tekanan tinggi di bagian masuk dan air bertekanan rendah di bagian keluar. Turbin *Francis* menggunakan sudu pengarah. Sudu pengarah mengarahkan air masuk secara tangensial. Sudu pengarah pada turbin Francis dapat 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. Gambar berikut menunjukkan sketsa dari turbin *Francis*.



Gambar 2.10. Sketsa Turbin *Francis*

b. Turbin Kaplan Dan Propeller

Turbin *Kaplan* dan *Propeller* merupakan turbin rekasi aliran aksial. Turbin ini tersusun dari *propeller* seperti pada perahu. *Propeller* tersebut biasanya mempunyai tiga hingga enam sudu. Gambar berikut merupakan bentuk dari turbin *Kaplan*.



Gambar 2.11. Turbin *Kaplan*



B. Pemilihan Turbin

Daerah aplikasi berbagai jenis turbin air relatif spesifik. Pada beberapa daerah operasi memungkinkan digunakan beberapa jenis turbin. Pemilihan jenis turbin pada daerah operasi yang *overlapping* ini memerlukan perhitungan yang lebih mendalam. Pada dasarnya daerah kerja operasi turbin menurut *Keller* dikelompokkan menjadi :

- a. *Low head power plant*
- b. *Medium head power plant*
- c. *High head power plant*

Tabel 2.2. Pemilihan Jenis Turbin

| Jenis Turbin | Variasi Head (m) |
|-----------------------------|------------------|
| <i>Kaplan dan Propeller</i> | $2 < H < 20$ |
| <i>Francis</i> | $10 < H < 350$ |
| <i>Pelton</i> | $50 < H < 1000$ |
| <i>Crossflow</i> | $6 < H < 100$ |
| <i>Turgo</i> | $50 < H < 250$ |

1) Kriteria Pemilihan 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 :

- a. Faktor tinggi jatuhan air efektif (*Net Head*) dan debit yang akan dimanfaatkan untuk operasi turbin merupakan faktor utama yang mempengaruhi pemilihan



jenis turbin, sebagai contoh : turbin pelton efektif untuk operasi pada *head* tinggi, sementara turbin *propeller* sangat efektif beroperasi pada head rendah.

- b. Faktor daya (*power*) yang diinginkan berkaitan dengan *head* dan debit yang tersedia.
- c. Kecepatan (putaran) turbin yang akan ditransmisikan ke generator. Sebagai contoh untuk sistem transmisi *direct couple* antara generator dengan turbin pada *head* rendah, sebuah turbin reaksi (*propeller*) dapat mencapai putaran yang diinginkan, sementara turbin *pelton* dan *crossflow* berputar sangat lambat (*low speed*) yang akan menyebabkan sistem tidak beroperasi.

Ketiga faktor di atas seringkali diekspresikan sebagai "kecepatan spesifik (Ns)", yang didefinisikan dengan formula :

$$N_s = \frac{N \times \sqrt{P}}{H^{5/4}} \text{ rpm} \dots \dots \dots (2.11)^{10}$$

Dimana :

Ns = kecepatan spesifik (rpm)

N = kecepatan putaran turbin (rpm)

P = maksimum turbin *output* (kW)

H = *head* efektif (m)

Output turbin dihitung dengan formula :

$$P = k \times Q \times H \times \eta_{turbin} \dots \dots \dots (2.12)^{11}$$

Dimana :

P = daya Turbin (kW)

¹⁰ M.M. Dandekar, K.N. Sharma, *Pembangkit Listrik Tenaga Air* (Jakarta: Universitas Indonesia, 1991), Hal. 397.

¹¹ A. Arismunandar, S. Kuwahara, *Teknik Tenaga Listrik Jilid 1* (Jakarta: PT PRADNYA PARAMITA), Hlm 19.



Q = debit air (m^3/s)

H = efektif head (m)

k = konstanta = 9,8

η_{turbin} = efisiensi turbin (%)

= 0.8 - 0.85 untuk turbin pelton

= 0.8 - 0.9 untuk turbin francis

= 0.7 - 0.8 untuk turbin crossflow

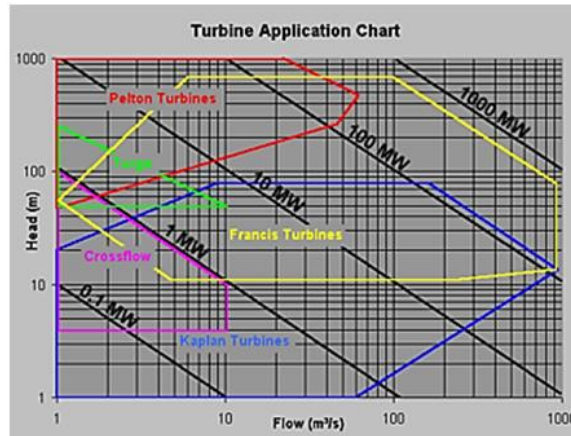
= 0.8 - 0.9 untuk turbin propeller/Kaplan

Kecepatan spesifik setiap turbin memiliki kisaran (*range*) tertentu berdasarkan data eksperimen. Kisaran kecepatan spesifik beberapa turbin air ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 2.3. Kecepatan Spesifik Jenis – Jenis Turbin

| | |
|------------------|--------------------------|
| Turbin Pelton | $12 \leq N_s \leq 25$ |
| Turbin Francis | $60 \leq N_s \leq 300$ |
| Turbin Crossflow | $40 \leq N_s \leq 200$ |
| Turbin Propeller | $250 \leq N_s \leq 1000$ |

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 diestimasi (diperkirakan). Pada Gambar berikut menunjukkan diagram aplikasi berbagai jenis turbin.



Gambar 2.12. Diagram aplikasi berbagai jenis turbin (*head* vs *debit*)

Setelah menentukan kecepatan spesifik turbin yang dipakai ditentukan pula sudu turbin atau *runner* yang digunakan. Sudu turbin atau *runner* merupakan sudu turbin yang menjadi sumber penggerak poros dan menggerakkan generator untuk menghasilkan energi listrik. Sudu turbin atau *runner* didapatkan dengan menentukan diameter *runner*. Untuk menentukan diameter *runner* digunakan persamaan berikut.

$$D = \sqrt{\frac{Q}{2,2\sqrt{H}}} \dots \dots \dots (2.13)$$

Keterangan :

D = diameter *runner* (m)

Q = debit air (m³/det)

H = *head* (m)

10. Generator



Gambar 2.13. Generator

Generator Listrik adalah sebuah mesin yang dapat mengubah energi gerak (mekanik) menjadi energi listrik (elektrik). Generator listrik memproduksi [energi listrik](#) dari sumber energi mekanik, biasanya dengan menggunakan [induksi elektromagnetik](#). Proses ini dikenal sebagai [pembangkit listrik](#). Walau generator dan motor punya banyak kesamaan, tetapi [motor](#) adalah alat yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Generator mendorong [muatan listrik](#) untuk bergerak melalui sebuah [sirkuit listrik](#) eksternal, tetapi generator tidak menciptakan listrik yang sudah ada di dalam kabel lilitannya. Hal ini bisa dianalogikan dengan sebuah pompa air, yang menciptakan aliran air tetapi tidak menciptakan air di dalamnya. Sumber energi mekanik bisa berupa resiprokot maupun turbin [mesin uap](#), air yang jatuh melalui sebuah turbin maupun kincir air, [mesin pembakaran dalam, turbin angin, engkol](#) tangan, [energi surya](#) atau [matahari](#), udara yang dimampatkan, atau apa pun sumber energi mekanik yang lain. Generator bekerja berdasarkan hukum *faraday* yakni apabila suatu penghantar diputar dalam sebuah medan magnet sehingga memotong garis gaya magnet maka pada ujung penghantar tersebut akan menimbulkan GGL (Garis Gaya Listrik) yang mempunyai satuan volt.

A. Generator Sinkron



Generator sinkron merupakan mesin listrik arus bolak-balik yang berfungsi untuk merubah energi mekanik dalam membentuk putaran menjadi energi listrik arus bolak-balik. Generator sinkron mempunyai dua bagian pokok, yaitu bagian stator atau bagian dari generator sinkron yang tidak bergerak dan bagian rotor atau bagian generator sinkron yang berputar atau bergerak. Pada generator sinkron yang berukuran besar, bagian stator dipergunakan sebagai tempat belitan medan magnet.

1) Prinsip Dasar Generator Sinkron

Generator sinkron bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik. Generator sinkron mempunyai belitan jangkar yang merupakan elemen diam pada stator dan belitan eksitasi itu dimagnetisasikan oleh arus searah yang dipasok oleh sumber arus searah dari luar atau dari generator itu sendiri dengan jalan mengambil sebagian arus yang keluar dari stator lalu diserahkan sebagai penguat.

Jika stator generator sinkron diputar pada suatu kecepatan tertentu yang disebut dengan putaran sinkron, belitan medan magnet pada rotor tersebut dialiri arus searah, sehingga menghasilkan fluksi yang turut berputar dan memotong belitan jangkar yang terdapat pada bagian stator. Akibat adanya perubahan fluksi persatuan waktu yang dirasakan oleh belitan jangkar, maka pada belitan jangkar akan terjadi tegangan induksi.

2) Konstruksi Generator Sinkron

Pada dasarnya konstruksi dari generator sinkron adalah sama dengan konstruksi motor sinkron, dan secara umum biasa disebut mesin sinkron. Ada dua struktur kumparan pada mesin sinkron yang merupakan dasar kerja dari mesin tersebut, yaitu kumparan yang mengalirkan penguatan DC (membangkitkan medan magnet, biasa disebut sistem eksitasi) dan sebuah kumparan (biasa disebut jangkar) tempat dibangkitnya GGL arus bolak balik arus bola-balik.

Hampir semua mesin sinkron mempunyai belitan GGL berupa stator yang diam dan struktur medan magnet berputar sebagai rotor. Kumparan DC pada



struktur medan yang berputar dihubungkan pada sumber DC luar melalui *slipring* dan sikat arang.

Suatu generator sinkron secara umum terdiri dari :

- a. Stator adalah bagian dari mesin yang diam dan berbentuk silinder.
- b. Rotor adalah bagian dari mesin yang berputar juga berbentuk silinder.
- c. Celah udara adalah ruangan antara stator dan rotor.

a. Stator

Secara umum stator terdiri dari kerangka stator, inti stator, dan slot.

1. Rangka Stator

Rangka stator berfungsi sebagai tempat melekatnya stamping jangkar dan kumparan jangkar. Pada rangka stator terdapat lubang pendingin dimana udara dan gas pendingin disirkulasikan. Rangka stator biasanya dibuat dari besi campuran baja atau plat baja giling yang dibentuk sedemikian rupa sehingga diperoleh rangka yang sesuai dengan kebutuhan.

2. Inti Stator

Inti stator melekat pada rangka stator dimana inti ini terbuat dari laminasi-laminasi besi khusus atau campuran baja. Hal ini diperbuat untuk memperkecil rugi arus *Eddy*. Tiap laminasi diberi isolasi dan diantaranya dibentuk celah sebagai tepat aliran udara.

3. Slot

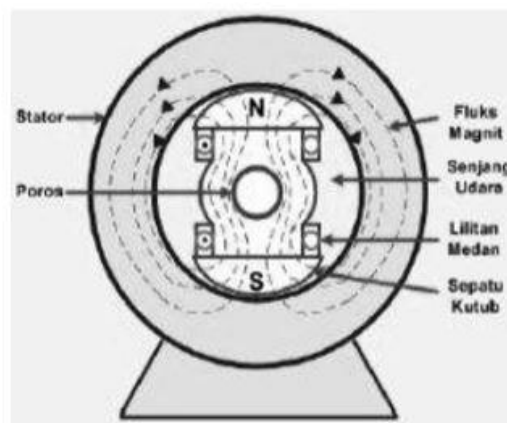
Slot adalah tempat konduktor berada yang letaknya pada bagian dalam sepanjang keliling stator. Bentuk slot ada 3 yaitu Slot Terbuka, Slot Setengah Terbuka, Slot Tertutup.

b. Rotor

Sebagai tempat belitan penguat yang membentuk kemagnetan listrik kutub Utara-Selatan pada inti rotor. Ada 2 macam bentuk rotor, yaitu :

1. Rotor kutub menonjol (*Salient Pole Rotor*)

Rotor tipe ini mempunyai kutub yang jumlahnya banyak. Kumparan dibelitkan pada tangkai kutub, dimana kutub-kutub diberi laminasi untuk mengurangi panas yang ditimbulkan oleh arus *Eddy*, kumparan-kumparan medannya terdiri dari bilah tembaga persegi. Kutub menonjol ditandai dengan rotor berdiameter besar dan panjang sumbunya pendek.

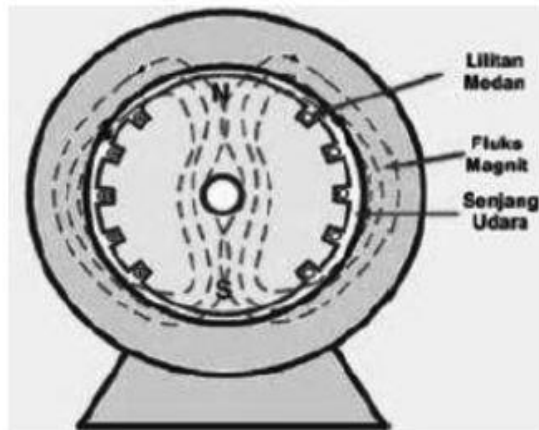


Gambar 2.14. Rotor kutub menonjol (*Salient Pole Rotor*)

2. Rotor kutub tak menonjol (*Rotor Silinder*)

Rotor tipe ini dibuat dari plat baja berbentuk silinder yang mempunyai sejumlah slot sebagai tempat kumparan. Karena adanya slot-slot dan juga kumparan medan yang terletak pada rotor maka jumlah kutub pun sedikit yang dapat dibuat.

Rotor ini biasanya berdiameter kecil dan sumbunya sangat panjang. Konstruksi ini memberikan keseimbangan mekanis yang lebih baik karena rugi-rugi anginnya lebih kecil dibandingkan rotor kutub menonjol (*salient pole rotor*).



Gambar 2.15. Rotor kutub tak menonjol (Rotor Silinder)

3) Prinsip Kerja Generator Sinkron

Prinsip kerja generator sinkron berdasarkan induksi elektromagnetik. Setelah rotor diputar oleh penggerak mula (*prime mover*), dengan demikian kutub-kutub yang ada pada rotor akan berputar. Jika kumparan kutub diberi arus searah maka pada permukaan kutub akan timbul medan magnet (garis-garis gaya fluks) yang berputar, kecepatannya sama dengan putaran kutub.

Garis-garis gaya fluks yang berputar tersebut akan memotong kumparan jangkar distator, sehingga menimbulkan EMF atau GGL atau tegangan induksi, yang besarnya :

$$E = -N \frac{d\Phi}{dt} \dots\dots\dots(2.14)^{12}$$

Keterangan :

E = tegangan induksi (v)

N = jumlah kutub

¹² Yogi Simamora, Generator Sinkron Tiga Fasa, Hlm 21



$d\Phi$ = jumlah sudut

dt = waktu (det)

4) Kecepatan Putaran Generator Sinkron

Kecepatan putaran suatu generator sinkron tergantung kepada penggerak mulanya, Seperti pada pembangkit listrik tenaga air (PLTA), penggerak mulanya berupa turbin. Jadi apabila putaran turbinnya tinggi, maka putaran pada generator juga akan tinggi. Dan jika sebaliknya, jika putaran turbin rendah maka putaran pada generator juga akan rendah. Putaran pada generator selalu dijaga konstan agar frekuensi dan tegangan yang dihasilkan generator sinkron tetap konstan. Untuk menentukan besarnya frekuensi yang dihasilkan oleh generator dapat dicari berdasarkan besarnya jumlah putaran dan banyaknya jumlah pasang kutub pada generator sinkron, sehingga diperoleh hubungan :

$$f = \frac{N \times p}{60} \dots\dots\dots(2.15)^{13}$$

Dimana :

f = frekuensi listrik (Hz)

p = jumlah kutub pada rotor

n = kecepatan putaran rotor (rpm)

Umumnya frekuensi listrik yang dihasilkan suatu generator sinkron di Indonesia 50 Hz. Ini berarti untuk generator sinkron yang mempunyai satu pasang kutub diperlukan sebanyak 25 putaran setiap detik atau sama dengan $60 \times 25 = 1500$ putaran per menit.

¹³ M.M. Dandekar, K.N. Sharma, *Pembangkit Listrik Tenaga Air* (Jakarta: Universitas Indonesia, 1991), Hal. 397.



Untuk menjaga frekuensi yang dihasilkan generator sinkron sebesar 50 Hz dan untuk generator sinkron yang mempunyai jumlah kutub pada rotornya lebih dari satu pasang maka jumlah putarannya ini disesuaikan dengan persamaan di atas.

Kecepatan putaran juga sangat berpengaruh terhadap tegangan yang dihasilkan generator sinkron. Jika putarannya turun, maka tegangan generator sinkron juga akan turun dan apabila putarannya bertambah maka akan mengakibatkan bertambahnya tegangan yang dihasilkan oleh generator. Jadi jika putaran generator sinkron bertambah maka akan mengakibatkan bertambahnya kemampuan pembangkitan daya dari generator sinkron. Tetapi biasanya dalam pengoperasiannya jumlah putaran generator sinkron dijaga konstan dan yang diatur biasanya adalah arus penguat medannya.

2.4.3. Pemilihan Lokasi Untuk Perencanaan PLTPH

Pada dasarnya tujuan pembangunan Pembangkit Listrik adalah untuk memperoleh tenaga listrik. Khususnya untuk Pusat Listrik Tenaga Air, maka energi yang dimanfaatkan adalah energi potensial air yang selanjutnya dikonversi menjadi energi mekanik pada turbin dan menggerakkan generator untuk menghasilkan energi listrik.

Potensi energi potensial akan semakin besar dengan semakin tingginya jatuhnya air serta semakin besar debit aliran air. Dengan demikian pada pemilihan lokasi PLTPH pertimbangan utama adalah bagaimana memperoleh tinggi jatuh serta debit air yang sebesar-besarnya untuk diubah menjadi tenaga listrik. Untuk memperoleh tinggi *head* yang cukup memadai maka lokasi PLTPH dicari pada lokasi yang secara geografi dan topografi memungkinkan diperoleh tinggi jatuh sebesar-besarnya. Tinggi jatuh tersebut juga dapat diperoleh dengan cara membangun bendung aliran sungai sehingga permukaan sungai naik dan dapat dialirkan melalui *intake*.

Dengan demikian penentuan lokasi pembangunan PLTPH bukanlah merupakan hal yang mudah. Hal tersebut mengingat lokasi yang menyediakan head yang cukup tinggi sangat terbatas. Tidak jarang jika lokasi yang memiliki head



tinggi tersebut ditemukan, ternyata lokasinya jauh dari pusat beban dan permukiman sehingga memerlukan pembangunan jaringan transmisi yang mahal akibat kesulitan konstruksi serta banyaknya material yang diperlukan. Faktor lain yang harus dipertimbangkan dalam penentuan lokasi mencakup juga kondisi geografi, keadaan tanah, batuan serta karakteristik sungai.

Lay out sebuah sistem pembangkit listrik tenaga air merupakan suatu rencana dasar pada pembangunan PLTA. *Lay out* menggambarkan rencana dasar untuk mengalirkan air sungai dari *intake*, melewati saluran pembawa, bak pengendap, bak penenang, pipa pesat, turbin dan kembali ke sungai setelah melalui saluran pembuangan akhir (*tailrace*). Dalam penyusunan layout tersebut selain memperhitungkan faktor-faktor teknis, faktor ekonomi juga harus dihitung.

Aliran air mulai dari *intake* tersebut melalui saluran pembawa berupa kanal saluran terbuka maupun pipa pesat. Mengingat secara umum biaya pembuatan pipa pesat lebih mahal dibandingkan saluran pembawa, diusahakan agar dalam *lay out* PLTPH tersebut pipa pesat sependek mungkin dengan memperpanjang saluran terbuka.

Pendekatan (*approach*) yang diambil dalam penyusunan *lay out* PLTPH secara umum adalah sebagai berikut :

- 1) Air dari lokasi *intake* dialirkan melalui pipa pesat sampai ke turbin. Jalur pipa pesat dibuat sedemikian rupa mengikuti aliran air, atau paralel terhadap aliran sungai. Metode ini dibuat sebagai pilihan jika kondisi medan yang ada tidak memungkinkan untuk dibuat kanal saluran terbuka. Pipa pesat juga harus aman terhadap banjir.
- 2) Jalur pipa pesat dapat dibuat langsung dari *intake* ke turbin tanpa melewati saluran pembawa mengikuti bentuk sungai. Dengan cara ini pipa pesat akan lebih pendek dibandingkan cara pertama. Metoda ini dipilih jika terdapat kemiringan tanah yang memadai pada jalur pipa pesat yang dipilih.
- 3) Jika memungkinkan pembuatan saluran atau kanal pembawa dibuat sampai lokasi tertentu sehingga selanjutnya dilanjutkan dengan pipa pesat sampai ke turbin. Dengan metoda ini maka jalur pipa pesat akan sangat pendek. Panjang



saluran terbuka serta kondisi tanah perlu diperhitungkan dengan baik. Karena saluran pembawa yang panjang juga akan memerlukan perawatan untuk mempertahankan kondisinya. Jika kondisi tanah labil dan miring maka akan menyulitkan dan biaya konstruksi mahal.

A) Lokasi Bangunan Penyadap (*Intake*).

Secara umum pada PLTPH adalah PLTA Skala Kecil yang merupakan PLTA jenis *Run-off River*, sangat jarang yang mempergunakan bendungan besar (*dam*). Konstruksi bangunan penyadap (*intake*) biasanya mengambil air langsung dari sungai dan tidak dilengkapi oleh waduk atau *reservoir*. Agar laju aliran air sungai dapat diarahkan sehingga mengalir ke saluran pembawa, maka biasanya hanya dibangun bendung (*weir*) yang melintang sepanjang lebar sungai. Skema lain dapat juga dilakukan dengan langsung membagi aliran air sungai tanpa dilengkapi bangunan bendung. Mengingat pentingnya fungsi bangunan penyadap maka lokasinya harus dipilih secara cermat dengan memperhitungkan persyaratan-persyaratan teknis dan aspek finansial.

Faktor-faktor yang harus diperhitungkan dalam penentuan lokasi *intake* adalah sebagai berikut :

- 1) Kondisi dasar sungai.
- 2) Bentuk sungai
- 3) Kondisi alam di sekitar sungai.
- 4) Pertimbangan pemanfaatan air sungai.
- 5) Kemudahan pencapaian lokasi.

B) Kondisi dasar sungai.

Dalam penentuan lokasi bangunan penyadap atau intake harus dibangun pada daerah dengan dasar sungai yang stabil , yang biasanya terdapat pada lokasi dasar sungai dengan kemiringan kecil. Kestabilan pada lokasi sangat diperlukan mengingat debit aliran air yang mengalir selalu bervariasi sepanjang tahun, khususnya pada saat kondisi debit air sedang tinggi atau saat banjir maka bangunan



penyadap (*intake*) akan terbebani oleh gaya yang sangat besar. Jika bangunan penyadap tersebut tidak berada pada lokasi yang stabil maka sangat berisiko untuk runtuh akibat erosi.

Pada kondisi *intake* yang tidak memungkinkan diperoleh lokasi dasar sungai yang stabil maka konstruksi intake tersebut harus dilengkapi bendung untuk menjaga ketinggian permukaan air sungai.

C) Bentuk Aliran sungai

Dalam penentuan lokasi bangunan penyadap (*intake*) harus memperhitungkan bentuk dan karakteristik aliran sungai, khususnya karakteristik sungai pada saat banjir. Adanya banjir sering menjadi penyebab rusaknya bangunan penyadap. Misalnya pada *intake* yang ditempatkan di sisi luar sungai yang berbentuk belokan. Pada bagian sisi luar belokan sungai sering terjadi erosi serta rawan pada saat banjir. Pada saat banjir maka berbagai material seperti batu-batuan, batang pohon dan lain-lain akan terbawa banjir dan mengarah pada bagian sisi luar belokan sungai.

Sedangkan pada sisi bagian dalam sungai yang berbelok juga rawan karena merupakan tempat terjadinya pengendapan material lumpur dan pasir (sedimentasi), dengan demikian lokasi ini juga tidak cocok untuk lokasi *intake*. Untuk itu maka lokasi intake sedapat mungkin dipilih pada bagian sungai yang relatif lurus yang memungkinkan aliran air yang memasuki intake secara alami dan stabil dengan membawa beban (*bed load*) yang kecil.

D) Kondisi alam di sekitar sungai.

Pada pemilihan lokasi *intake* sedapat mungkin diambil lokasi yang memungkinkan lokasi tersebut terlindung secara alamiah jika terjadi banjir, misalnya adanya batu-batu besar yang menggunduk menjadi “pulau-pulau” dapat dimanfaatkan sebagai pelindung bangunan intake pada saat banjir, karena batu-



batubesar tersebut dapat membatasi dan menahan laju aliran air dan material yang mengalir pada saat banjir.

E) Pertimbangan pemanfaatan air sungai.

Dalam penentuan lokasi *intake* atau lokasi PLTPH secara umum harus mempertimbangkan kondisi penggunaan atau pemanfaatan air sungai, karena sumber daya air sungai tersebut juga dimanfaatkan untuk keperluan lain seperti sebagai irigasi, sumber baku air minum maupun untuk pariwisata. Sedapat mungkin jika sungai yang sama juga telah atau akan dimanfaatkan untuk keperluan lain selain PLTPH maka harus dipilih pada lokasi yang sesedikit mungkin menimbulkan pengaruh pada sektor-sektor lain.

Biasanya pemanfaatan air sungai untuk keperluan pembangkit listrik merupakan kompromi dari berbagai keperluan tersebut. Untuk itu dalam pengembangan PLTPH dan tenaga air pada umumnya peran pemerintah setempat sangat besar yang akan mengatur penggunaan serta perijinan pemanfaatan air sungai.

F) Kemudahan pencapaian lokasi.

Lokasi yang dipilih juga harus memperhitungkan kemudahan untuk mencapainya (*accessability*). Hal tersebut diperlukan pada saat konstruksi serta tahap operasi dan pemeliharaan. Lokasi medan yang sulit dicapai dapat menghambat pelaksanaan konstruksi khususnya akan menambah biaya pembangunan membengkak. Demikian juga pada tahap operasi pemeliharaan juga harus memperhitungkan kemudahan pencapaian. Pada saat kondisi banjir misalnya, maka pemantauan kondisi *intake* harus lebih intensip sehingga jika terjadi kerusakan atau tersumbatnya *intake* akibat material banjir yang hanyut, akan cepat dapat diatasi sehingga tidak mengganggu operasi pembangkit listrik.

G) Lokasi Rumah Pembangkit (*Power House*)



Pemilihan lokasi rumah pembangkit pada dasarnya adalah bagaimana untuk mendapatkan *head* atau tinggi jatuh yang maksimum sehingga akan dapat dihasilkan daya dan energi listrik yang sebesar-besarnya dari PLTPH. Dengan demikian maka lokasi rumah pembangkit diusahakan pada elevasi yang serendah mungkin. Namun dalam pelaksanaannya juga harus diperhitungkan faktor-faktor lain yang harus dikompromikan agar fungsi rumah pembangkit tersebut terpenuhi, juga keamanan dan kekuatan konstruksi rumah pembangkit terjamin.

Faktor yang harus dipertimbangkan dari sisi keamanan dan konstruksi rumah pembangkit tersebut adalah, misalnya lantai rumah pembangkit harus selalu lebih tinggi daibandingkan permukaan sungai. Dengan demikian data dan informasi ketinggian permukaan sungai pada waktu banjir sangat diperlukan. Hal tersebut dapat diperoleh dari informasi penduduk setempat atau jika ada data pengukuran tinggi permukaan air. Atau secara alamiah dapat dilihat pada lokasi permukaan sungai yang sering terkena banjir jarang ditumbuhi oleh tanaman atau pepohonan.

Selain faktor elevasi rumah pembangkit yang aman dari banjir, saluran pembuangan akhir (*tailrace*) juga sedapat mungkin dipilih pada tempat yang terlindung dari kondisi alam, misalnya terlindung oleh batu-batu besar. Umumnya ujung dari *tailrace* yang tersambung ke sungai tidak terletak pada sisi bagian luar belokan sungai, karena pada lokasi tersebut pada saat banjir akan mendapat beban yang besar serta memungkinkan air sungai masuk ke rumah pembangkit dan menimbulkan kerusakan.