

**BAB II**  
**TINJAUAN PUSTAKA**

**2.1 Sumber Potensi**

Melimpahnya sumber daya air di **DI DESA KEBONAGUNG KEC. IMOIRI KAB. BANTUL** sudah selayaknya dapat dimanfaatkan secara optimal. Selain untuk memenuhi kebutuhan pokok masyarakat, derasny arus air yang mengalir di beberapa sungai juga memiliki potensi energi yang cukup besar. Salah satu pemanfaatan sumber daya air untuk energi, karena pada air tersimpan energy potensial (pada air jatuh) dan energi kinetic (pada air mengalir ). Tenaga air ( Hydropower) adalah energi yang diperoleh dari air yang mengalir. Energi yang dimiliki air dapat dimanfaatkan dan digunakan dalam wujud energy mekanis maupun energi listrik. Pemanfaatan energi air banyak dilakukan dengan menggunakan kincir air atau turbin air yang memanfaatkan adanya suatu air terjun atau aliran air di sungai maupun parit . Sejak awal abad 18 kincir air banyak dimanfaatkan sebagai penggerak penggilingan gandum, penggergajian kayu, dan mesin tekstil.

Besarnya tenaga air yang tersedia dari suatu sumber air bergantung pada besarnya head dan debit air. Dalam hubungan dengan reservoir air maka head adalah beda ketinggian antara muka air pada reservoir (bendungan) dengan muka air keluar dari kincir air atau turbin air. Total energy yang tersedia dari suatu reservoir air adalah merupakan energy potensial air yaitu :

$$E = mgh \dots\dots\dots (1.1)$$

Keterangan :

*m* adalah massa air

*h* adalah head (m)

$g$  adalah percepatan gravitasi  $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

Daya merupakan energi tiap satuan waktu  $\left(\frac{E}{t}\right)$ , sehingga persamaan (1.1)

dapat dinyatakan sebagai :

$$\frac{E}{t} = \frac{m}{t} gh$$

Dengan mensubstitusikan  $P$  terhadap  $\left(\frac{E}{t}\right)$  dan mensubstitusikan  $\rho Q$

terhadap  $\left(\frac{m}{t}\right)$  maka :

$$P = \rho Q gh \dots\dots\dots (1.2)$$

dengan

$P$  adalah daya (watt) yaitu

$Q$  adalah kapasitas aliran  $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

$\rho$  adalah densitas air  $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

Selain memanfaatkan air jatuh hydropower dapat diperoleh dari aliran air datar. Dalam hal ini energi yang tersedia merupakan energi kinetic

$$E = \frac{1}{2} mv^2 \dots\dots\dots (1.3)$$

dengan

$v$  adalah kecepatan aliran air  $\left(\frac{m}{s}\right)$

Daya air yang tersedia dinyatakan sebagai berikut :

$$P = \frac{1}{2} \rho Q v^2 \dots\dots\dots(1.4)$$

atau dengan menggunakan persamaan kontinuitas  $Q = Av$  maka

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \dots\dots\dots(1.5)$$

dengan

$A$  adalah luas penampang aliran air ( $m^2$ )

## 2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

### 2.2.1 Sejarah Perkembangan Mikrohidro

Perkembangan mikrohidro bermula dari permasalahan sebuah daerah yang terpencil yang memiliki banyak aliran sungai dan tidak mendapat pasokan listrik karena daerah tersebut tidak dapat dijangkau untuk menyalurkan jaringan listrik dari pembangkit listrik pusat. Daerah tersebut memiliki potensi untuk didirikan pembangkit listrik tenaga air dengan daya yang dihasilkan dalam skala mikro, kurang dari 100 KW, sehingga penggunaan pembangkit dengan prinsip mikrohidro sesuai untuk daerah tersebut. Pembangkit listrik ini menggunakan tenaga air seperti sistem irigasi, sungai yang dibendung atau air terjun.

Di Nepal, sejarah mikrohidro berawal dari sebuah pabrik air tradisional (ghatta) yang digunakan untuk menggiling tepung yang dimodifikasi dengan menggunakan turbin sehingga dapat menghasilkan listrik. Ghatta ini memiliki tujuan utama untuk menghasilkan listrik yang mendukung kegiatan pengolahan hasil pertanian dan memiliki fungsi sekunder yaitu sebagai pembangkit dengan prinsip mikrohidro. Topografi Nepal yang memiliki 6000 sungai dan memiliki bukit-bukit yang tinggi memiliki potensi untuk menghasilkan daya hingga 42 MW. Di Indonesia, pendirian PLTMH (Pembangkit Listrik Mikro Hidro) sangat berpotensi karena

Indonesia merupakan negara yang memiliki banyak sungai dan potensi perairan yang besar. Salah satunya pendirian PLTMH di desa Tenganan, Bali, mampu menghasilkan 12.500 Watt yang digunakan untuk menggerakkan mesin penggiling beras sehingga mampu menghasilkan 500 ton beras setiap kali panen. PLTMH ini memanfaatkan aliran sungai Bahu yang melintasi desa dengan debit air sekitar 350 liter/detik. Saat ini, banyak negara yang memakai prinsip mikrohidro untuk menghasilkan listrik diantaranya adalah Cina. Negara Cina sedang mengembangkan industri tenaga air yang dapat menghasilkan daya hingga 19 GW dan listrik keluaran tahunan hingga 64 TWh sehingga dapat menyalurkan listrik ke 300 juta orang.

### **2.2.2 Pengertian Pembangkit Listrik Tenaga Microhidro (PLTMH)**

Mikrohidro 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 dan instalasi. Semakin besar kapasitas aliran maupun ketinggiannya dari instalasi maka semakin besar energi yang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik.

Mikrohidro hanyalah sebuah istilah. Mikro artinya kecil sedangkan hidro artinya air. Dalam prakteknya, istilah ini tidak merupakan sesuatu yang baku namun bisa dibayangkan bahwa Mikrohidro pasti menggunakan air sebagai sumber energinya. Yang membedakan antara istilah Mikrohidro dengan Minihidro adalah output daya yang dihasilkan. Mikrohidro menghasilkan daya lebih rendah dari 100 W, sedangkan untuk minihidro daya keluarannya berkisar antara 100 sampai 5000 W. Secara teknis, Mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sumber energi), turbin dan generator.

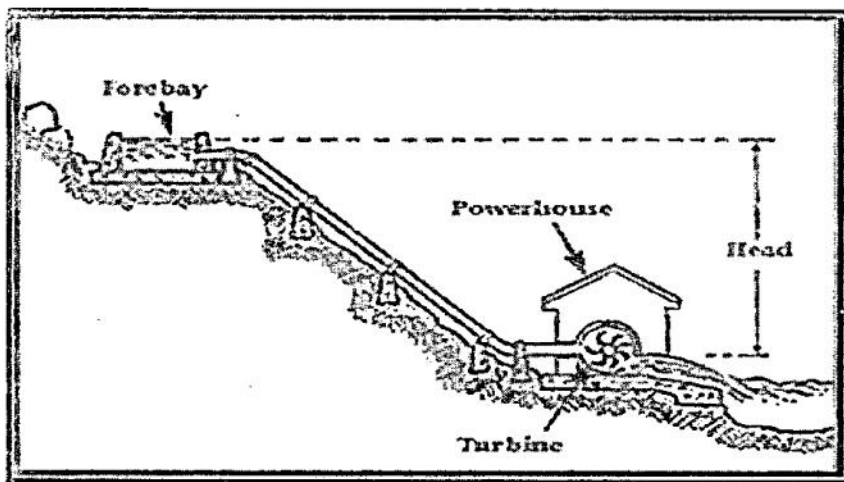
Mikrohidro dibangun berdasarkan kenyataan bahwa adanya air yang mengalir di suatu daerah dengan kapasitas dan ketinggian yang memadai. Istilah kapasitas mengacu kepada jumlah volume aliran air persatuan waktu (flow capacity) sedangkan beda ketinggian daerah aliran sampai ke instalasi dikenal dengan istilah head. Mikrohidro juga dikenal sebagai white resources dengan terjemahan bebas bisa dikatakan "energi putih". Dikatakan demikian karena instalasi pembangkit listrik seperti ini menggunakan sumber daya yang telah disediakan oleh alam dan ramah lingkungan. Suatu kenyataan bahwa alam memiliki air terjun atau jenis lainnya yang menjadi tempat air mengalir. Dengan teknologi sekarang maka energi aliran air beserta energi perbedaan ketinggiannya dengan daerah tertentu (tempat instalasi akan dibangun) dapat diubah menjadi energi listrik.

Sedangkan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik berskala kecil (kurang dari 200 kW), yang memanfaatkan tenaga (aliran) air sebagai sumber penghasil energi. PLTMH termasuk sumber energi terbarukan dan layak disebut "*clean energy*" karena ramah lingkungan. Dari segi teknologi, PLTMH dipilih karena konstruksinya sederhana, mudah dioperasikan, serta mudah dalam perawatan dan penyediaan suku cadang. Secara ekonomi, biaya operasi dan perawatannya relatif murah, sedangkan biaya investasinya cukup bersaing dengan pembangkit listrik lainnya.

Secara sosial, PLTMH mudah diterima masyarakat luas (bandingkan misalnya dengan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir). PLTMH biasanya dibuat dalam skala desa di daerah-daerah terpencil yang belum mendapatkan listrik dari PLN. Tenaga air yang digunakan dapat berupa aliran air pada sistem irigasi, sungai yang dibendung atau air terjun.

### 2.2.3 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro ( PLTMH )

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) 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 dan menghasilkan listrik.



Gambar 2.1 Tinggi jatuh (head) pada PLTMH

Pembangunan PLTMH perlu diawali dengan pembangunan bendungan untuk mengatur aliran air yang akan dimanfaatkan sebagai tenaga penggerak PLTMH. Bendungan ini dapat berupa bendungan beton atau bendungan beronjong. Bendungan perlu dilengkapi dengan pintu air dan saringan sampah untuk mencegah masuknya kotoran atau endapan lumpur.

Bendungan sebaiknya dibangun pada dasar sungai yang stabil dan aman terhadap banjir. Di dekat bendungan dibangun bangunan pengambilan (*intake*). Kemudian dilanjutkan dengan pembuatan saluran penghantar yang berfungsi mengalirkan air dari *intake*. Saluran ini dilengkapi dengan saluran pelimpah pada

setiap jarak tertentu untuk mengeluarkan air yang berlebih. Saluran ini dapat berupa saluran terbuka atau tertutup. Di ujung saluran pelimpah dibangun kolam pengendap. Kolam ini berfungsi untuk mengendapkan pasir dan menyaring kotoran sehingga air yang masuk keturbin relatif bersih. Saluran ini dibuat dengan memperdalam dan memperlebar saluran penghantar dan menambahnya dengan saluran penguras. Kolam penenang (*forebay*) juga dibangun untuk menenangkan aliran air yang akan masuk ke turbin dan mengarahkannya masuk ke pipa pesat (*penstok*).

Saluran ini dibuat dengan konstruksi beton dan berjarak sedekat mungkin ke rumah turbin untuk menghemat pipa pesat. Pipa pesat berfungsi mengalirkan air sebelum masuk ke turbin. Dalam pipa ini, energi potensial air di kolam penenang diubah menjadi energi kinetik yang akan memutar roda turbin. Biasanya terbuat dari pipa baja yang dirol lalu dilas. Untuk sambungan antar pipa digunakan *flens*. Pipa ini harus didukung oleh pondasi yang mampu menahan beban statis dan dinamisnya. Pondasi dan dudukan ini diusahakan selurus mungkin, karena itu perlu dirancang sesuai dengan kondisi tanah.

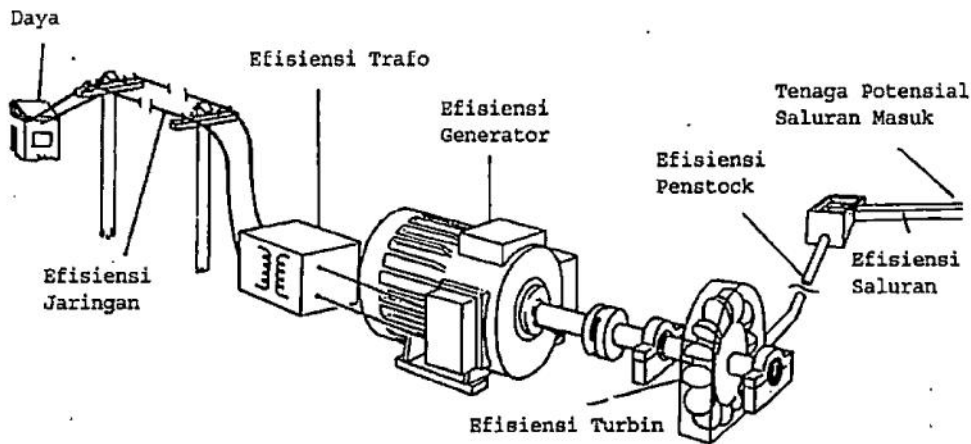
Turbin, generator dan sistem kontrol masing-masing diletakkan dalam sebuah rumah yang terpisah. Pondasi turbin generator juga harus dipisahkan dari pondasi rumahnya, tujuannya adalah untuk menghindari masalah akibat getaran. Rumah turbin harus dirancang sedemikian agar memudahkan perawatan dan pemeriksaan. Setelah keluar dari pipa pesat, air akan memasuki turbin pada bagian inlet. Di dalamnya terdapat "*guided vane*" untuk mengatur pembukaan dan penutupan turbin serta mengatur jumlah air yang masuk ke "*runner/blade*" (komponen utama turbin). *Runner* terbuat dari baja dengan kekuatan tarik tinggi yang dilas pada dua buah piringan sejajar. Aliran air akan memutar "*runner*" dan menghasilkan energi kinetik yang akan memutar poros turbin. Energi yang timbul akibat putaran poros kemudian ditransmisikan ke generator. Seluruh sistem ini harus "*balance*". Turbin perlu dilengkapi "*casing*" yang berfungsi mengarahkan air ke *runner*.

Pada bagian bawah casing terdapat pengunci turbin. Bantalan (*bearing*) terdapat pada sebelah kiri dan kanan poros dan berfungsi untuk menyangga poros agar dapat berputar dengan lancar. Daya poros dari turbin ini harus ditransmisikan ke generator agar dapat diubah menjadi energi listrik. Generator yang dapat digunakan pada mikrohidro adalah generator sinkron dan generator induksi. Sistem transmisi daya ini dapat berupa sistem transmisi langsung (daya poros langsung dihubungkan dengan poros generator dengan bantuan kopling), atau sistem transmisi daya tidak langsung, yaitu menggunakan sabuk atau belt untuk memindahkan daya antara dua poros sejajar.

Keuntungan sistem transmisi langsung adalah lebih kompak, mudah dirawat, dan efisiensinya lebih tinggi. Tetapi sumbu poros harus benar-benar lurus dan putaran poros generator harus sama dengan kecepatan putar poros turbin. Masalah ketidaklurusan sumbu dapat diatasi dengan bantuan kopling fleksibel.

*Gearbox* dapat digunakan untuk mengoreksi rasio kecepatan putaran. Sistem transmisi tidak langsung memungkinkan adanya variasi dalam penggunaan generator secara lebih luas karena kecepatan putar poros generator tidak perlu sama dengan kecepatan putar poros turbin. Jenis sabuk yang biasa digunakan untuk PLTMH skala besar adalah jenis *flat belt*, sedang *V-belt* digunakan untuk skala di bawah 20 kW. Komponen pendukung yang diperlukan pada sistem ini adalah *pulley*, bantalan dan kopling. Listrik yang dihasilkan oleh generator dapat langsung ditransmisikan lewat kabel pada tiang tiang listrik menuju rumah konsumen.





Gambar 2.2. Prinsip Kerja Suatu PLTMH

#### 2.2.4 Kelebihan dan Kekurangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

Dalam Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro mempunyai beberapa kelebihan dan kekurangan. Adapun kelebihan dan kekurangan yang terdapat pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro adalah sebagai berikut :

- Kelebihan PLTMH
  - Indonesia kaya akan hutan sehingga kaya akan air.
  - Membangun PLTMH berarti melestarikan sumber air.
  - PLTMH bisa beroperasi sehari penuh karena air tidak tergantung siang dan malam hari. Sedangkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya hanya bisa beroperasi siang hari.
  - Alat-alat PLTMH sudah bisa diproduksi di dalam negeri dan peralatan pengganti bisa didapat di kota-kota besar seperti.
  - PLTMH lebih awet, jika dipelihara dengan baik, dibanding pembangkit yang lain seperti PLTS, PLTU dll.

- Pengoperasian PLTMH tidak memerlukan biaya yang mahal (dibandingkan dengan pengoperasian generator diesel).
- Penggunaan energi baik energi listrik maupun energi gerak dari PLTMH untuk kegiatan produktif bisa dilakukan. Seperti charge aki dengan energy listrik atau penggilingan menggunakan energy gerak yang tersedia langsung dari turbin.
- PLTMH teknologinya tidak begitu sulit sehingga mudah dioperasikan sebagai *base load* maupun *peak load* (dapat dengan cepat on/off), karena turbin air pada PLTMH dapat diberhentikan setiap saat.
- Mengurangi tingkat konsumsi energi fosil, langkah ini akan berperan dalam mengendalikan laju harga minyak di pasar internasional.
- Bersih Lingkungan.
- Energi yang terbaru.
- Produk sampingan seperti air keluaran bisa dimanfaatkan untuk keperluan irigasi. Selain itu panas yang dihasilkan juga bisa dipakai.

#### ➤ Kekurangan PLTMH

- Sering *dianggap belum kompetitif* dibandingkan dengan energi fosil, karena:
  - a) Kemampuan SDM yang masih rendah dalam mengelola PLTMH baik secara administrasi maupun teknis.
  - b) Terkadang biaya pembuatan bangunan sipilnya jauh lebih mahal dibandingkan dengan harga peralatan listriknya seperti turbin dan generator, sehingga biaya investasi pembangunan yang tinggi menimbulkan masalah finansial pada penyediaan modal awal.
  - c) PLTMH dapat beroperasi karena sumber yang membangkitkan berasal dari debit air dan ketinggian jatuh air (head), sehingga PLTMH hanya

dapat dibangun didaerah tertentu seperti di pegunungan dan di sumber mata air.

- Belum tersedianya data potensi sumber daya yang lengkap, karena masih terbatasnya kajian / studi yang dilakukan.
- Akses masyarakat terhadap energi masih rendah (DESDM, 2005).
- Peran Pemerintah yang kurang:
  - a) Belum terlihat adanya *sense of urgency*
  - b) Antar lembaga pemerintah kurang sinergis.
- Pada musim kemarau kemampuan PLTMH akan menurun karena jumlah air biasanya Berkurang.
- Jika pelanggan melebihi kemampuan PLTMH, maka kualitas listrik akan menurun.
- Semakin jauh jarak Pelanggan ke Pembangkit, maka kualitas listrik juga lebih buruk.

## **2.2.5 Komponen – Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)**

### **2.2.5.1 Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)**

Mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sumber energi), turbin dan generator. Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro antara lain:

#### **1. Air**

Air merupakan salah satu bagian utama dalam komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. Selain itu air sebagai sumber energi dan sebagai sumber penggerak mula dalam mikrohidro. 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. Air dalam jumlah besar yang dapat menciptakan tinggi jatuh air karena turbin memerlukan pasokan air yang cukup dan stabil. Selain itu bendungan juga dapat digunakan untuk menyimpan energi.

## 2. Generator

*Generator* adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengubah daya gerak menjadi daya listrik. Secara umum ada dua jenis generator yang digunakan pada PLTMH, yaitu generator sinkron dan generator induksi. Generator sinkron bekerja pada kecepatan yang berubah-ubah. Untuk dapat menjaga agar kecepatan generator tetap, digunakan speed governor elektronik. Generator jenis ini dapat digunakan secara langsung dan tidak membutuhkan jaringan listrik lain sebagai penggerak awal. Sangat cocok digunakan di desa terpencil dengan sistem isolasi (Modak, 2002). Pada generator jenis induksi tidak diperlukan sistem pengaturan tegangan dan kecepatan. Namun demikian, jenis generator ini tidak dapat bekerja sendiri karena memerlukan suatu sistem jaringan listrik sebagai penggerak awal (Modak, 2002). Generator jenis ini lebih cocok digunakan untuk daerah yang telah dilalui jaringan listrik (Grid System).

Batasan umum generator untuk mini-mikrohidro power (Modak, 2002) adalah

:

- Output : 50 kVA sampai dengan 6250 kVA
- Voltage : 415, 3300, 6600, dan 11000
- Volt Speed : 375 750 RPM

Hubungan antara turbin dengan generator dapat menggunakan jenis sambungan sabuk (belt) ataupun sistem gear box. Jenis sabuk yang biasa digunakan untuk PLTMH skala besar adalah jenis flat belt sedangkan V-belt digunakan untuk skala di bawah 20 kW. Yang perlu diperhatikan dalam merancang sebuah PLTMH adalah menyesuaikan antara debit air yang tersedia dengan besarnya generator yang

digunakan sehingga generator yang dipakai tidak terlalu besar atau terlalu kecil dari debit air yang ada

### 3. Turbin

Turbin adalah sebuah mesin berputar yang mengambil energi dari aliran fluida. Turbin sederhana memiliki satu bagian yang bergerak, "asembli rotor-blade". Fluida yang bergerak menjadikan baling-baling berputar dan menghasilkan energi untuk menggerakkan rotor. Contoh turbin awal adalah kincir angin dan roda air. Sebuah turbin yang bekerja terbalik disebut kompresor atau pompa turbo.

Turbin gas, uap dan air biasanya memiliki "casing" sekitar baling-baling yang memfokus dan mengontrol fluid. "Casing" dan baling-baling mungkin memiliki geometri variabel yang dapat membuat operasi efisien untuk beberapa kondisi aliran fluid. Energi diperoleh dalam bentuk tenaga "shaft" berputar.

Turbin air adalah sebuah mesin berputar yang mengambil energi kinetik dari arus air. Turbin air dikembangkan pada awal abad ke-19 dan digunakan secara luas untuk tenaga industri sebelum adanya jaringan listrik. Sekarang mereka digunakan untuk pembangkit tenaga listrik. Mereka mengambil sumber energi yang bersih dan terbarui.

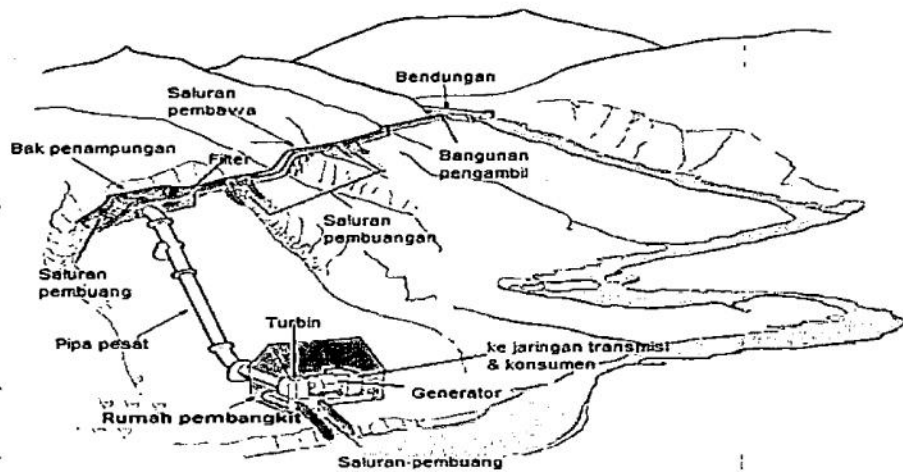
Turbin berfungsi untuk mengubah energi potensial menjadi energi mekanik. Air akan memukul sudu-sudu dari turbin sehingga turbin dapat berputar. Perputaran turbin ini dihubungkan ke generator.

Energi yang digunakan untuk menggerakkan turbin didapatkan dari dua cara:

- a. Dengan head: memanfaatkan beda ketinggian permukaan air (energi potensial sungai).
- b. Tanpa head: memanfaatkan aliran sungai (energi kinetik sungai).

Dimana head adalah jarak vertikal atau besarnya ketinggian jatuhnya air. Semakin besar head umumnya akan semakin baik karena air yang dibutuhkan semakin sedikit dan peralatan semakin kecil serta turbin bergerak dengan kecepatan tinggi..

### 2.2.5.2 Komponen Penunjang Air



Gambar 2.3. Komponen skema Pembangkit Listrik Mikrohidro

Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) antara lain:

1. *Bendungan Pengalihan (Diversion Weir)*

Terletak melintang aliran sungai yang berfungsi meninggikan permukaan air sungai agar aliran air yang masuk melalui *intake* ke dalam sistem penyaluran PLTMH lebih lancar dan sesuai dengan kebutuhannya.



Gambar 2.4. DAM

## 2. *Intake (Saluran Pemasukan)*

Lubang *Intake* merupakan pintu masuk menuju saluran pembawa. Lubang *Intake* berada di samping bendung atau di bibir sungai ke arah hulu sungai. Pintu *Intake* mengatur aliran air masuk dari sungai ke sistem pembawa air. Pintu *Intake* juga memungkinkan untuk menutup sama sekali aliran masuk selama periode perawatan dan selama banjir. Pada pintu *Intake* biasanya terdapat perangkap sampah.

## 3. *Bak Pengendap (Sand Trap)*

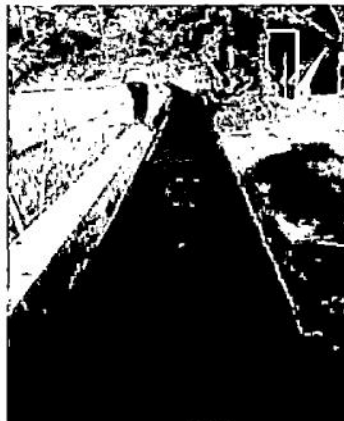
Merupakan saluran yang terletak sesudah pintu *Intake*. Bagian dasar bak pengendap secara membujur dibuat lebih miring agar kecepatan aliran air menurun. Penurunan ini akan mengendapkan kerikil, pasir dan sedimen sehingga tidak ikut masuk ke saluran pembawa, dan yang terpenting tidak masuk ke dalam turbin. Pada bagian akhir bak pengendap terdapat pintu penguras untuk membersihkan sand trap dari endapan pasir, kerikil dan sedimen. Pada PLTMH kecil bak pengendap juga berfungsi sebagai bak penenang.



Gambar 2.5 Bak Pengendap

#### 4. *Saluran Pembawa (Head Race Channel)*

Adalah saluran yang membawa air mulai dari saluran pemasukan (Intake) hingga ke bak penenang. Bagian dasar saluran dibuat miring (landai) agar tidak ada air yang terjebak di dalam saluran. Kemiringan dibuat sedemikian rupa agar hilangnya ketinggian (Head Lose) dapat dibuat seminimal mungkin.



Gambar 2.6. Saluran Pembawa



#### 5. *Saluran Pelimpah (Spillway)*

Berfungsi untuk mencegah aliran air berlebih yang tidak terkontrol dengan cara mengembalikan kelebihan air dalam saluran ke sungai melalui saluran pelimpah. Kelebihan air terjadi ketika debit air di dalam saluran melebihi batas atau saringan di dalam bak penenang tersumbat sampah. Spillway kemungkinan terletak pada bak pengendap, saluran pembawa, dan bak penenang. Dengan adanya sistem pelimpah air dapat mencegah erosi dan tanah longsor pada sistem saluran air yang diakibatkan air meluber kemana-mana.

#### 6. *Bak Penenang (Forebay)*

Membentuk transisi dari saluran pembawa ke pipa pesat. Dalam beberapa kasus baknya diperbesar yang bertujuan sebagai bak penampung pada beban puncak dan bak akhir untuk mencegah pengisapan udara (air suction) oleh penstock . Bak penenang ini pun merupakan bak pengendap dan penyaring terakhir sebelum air masuk ke dalam pipa pesat (penstock).



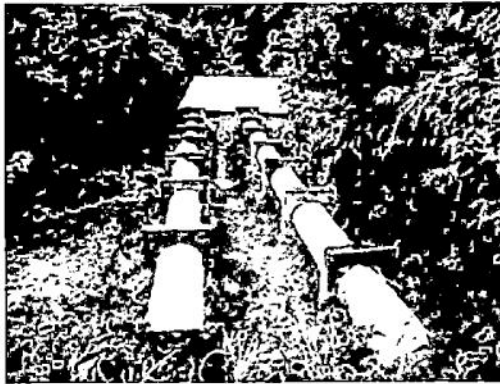
Gambar 2.7. Bak Penenang

#### 7. *Saringan*

Menyaring sampah dalam air agar tidak masuk ke dalam pipa pesat. Saringan terletak pada bagian depan intake, setelah bak pengendap, dan ujung depan pipa pesat di dalam bak penenang. Saringan harus diperiksa dan dibersihkan secara teratur.

#### 8. *Pipa Pesat (Penstock)*

Adalah pipa yang menghubungkan bak penenang dengan turbin di rumah pembangkit yang membawa air jatuh ke turbin. Umumnya pipa pesat terbuat dari pipa baja yang dilas untuk menyambungkannya. Namun demikian ada juga pipa pesat terbuat beton atau plastik (PE, PVC, HDPE). Pipa pesat didukung oleh sliding blocks dan angkor serta (sambungan) untuk mengatasi pemuaian pipa secara memanjang akibat pengaruh temperatur.



Gambar 2.8. Pipa Pesat

#### 9. *Rumah Pembangkit (Power House)*

Adalah bangunan tempat semua peralatan mekanik dan elektrik PLTMH dipasang secara aman baik dari pengaruh cuaca buruk maupun akses masuk orang-orang yang tidak berkepentingan. Peralatan mekanik seperti turbin dan alternator berada di dalam rumah pembangkit, demikian pula peralatan elektrik, seperti controller.



Gambar 2.9. Rumah Pembangkit

#### 10. Saluran Pembuang (*Trailrace channel*)

Terpasang dibagian dasar rumah pembangkit yang berfungsi mengalirkan air kembali ke sungai setelah melalui turbin.



Gambar 2.10. Saluran Buang

#### 2.2.5.3 Komponen Mekanikal & Elektrikal

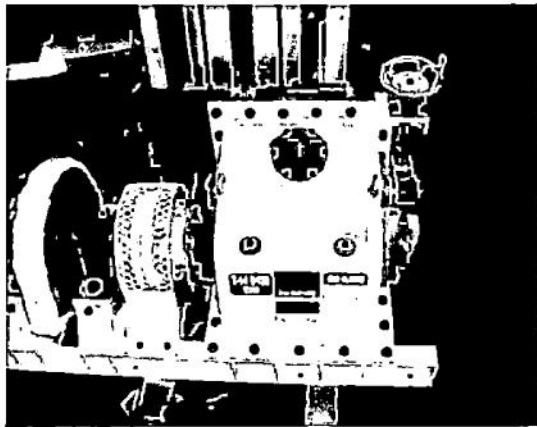


Gambar 2.11. Komponen mekanikal elektrik pada PLTMH

Peralatan elektro-mekanikal adalah semua peralatan yang dipergunakan untuk merubah energi potensial air menjadi energi listrik. Peralatan utamanya terdiri dari :

### 1. Turbin

Merupakan peralatan mekanik yang mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik (putaran). Air yang memiliki tekanan dan kecepatan tertentu menumbuk sudu sudu turbin dan memutar turbin sehingga berputar dengan daya yang sebanding dengan daya dari potensi air.

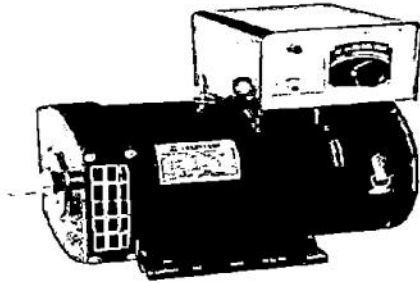


Gambar 2.12. Contoh turbin Crossflow

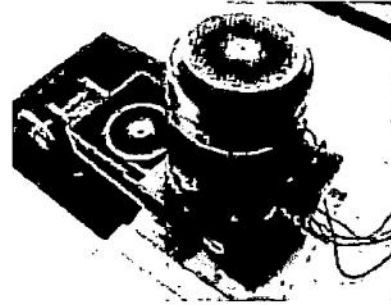
Ada beberapa jenis turbin yang digunakan dalam pemanfaatan PLTMH yang disesuaikan dengan besarnya debit air dan tinggi jatuh. Turbin yang paling banyak digunakan untuk PLTMH di Indonesia adalah :

- Turbin crossflow: cocok untuk aplikasi tinggi jatuh medium 10 – 100 meter, daya 1kW– 250kW.
- Turbin propeller (open flume): cocok untuk tinggi jatuh yang rendah 2 – 10 meter dengan debit air yang besar.
- Turbin Pelton : cocok untuk tinggi jatuh yang tinggi lebih dari 80 meter.

## 2. Generator



Gambar 2.13. Contoh Generator Sinkron



Gambar 2.14. Generator Induksi/Motor sebagai Generator

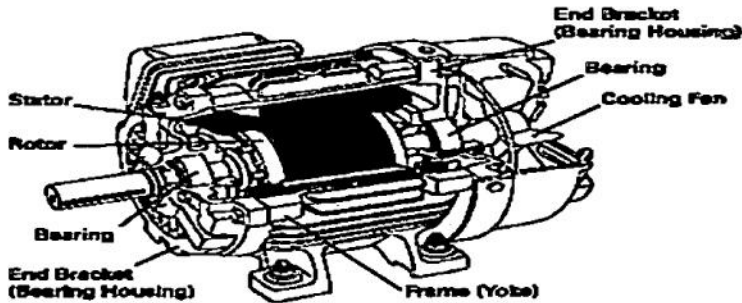
Generator berfungsi untuk mengubah energi mekanis dari turbin menjadi energi listrik. Komponen utama dari generator adalah rotor dan stator. Rotor adalah bagian yang berputar, yang dikopel dengan poros turbin sebagai tenaga pemutarnya. Dengan memberi penguatan atau magnetisasi kepada rotor tersebut, tegangan akan ditimbulkan ke bagian generator yang tidak bergerak, yang disebut stator.

Generator merupakan komponen yang berfungsi merubah energy mekanik berupa putaran menjadi energi listrik. Generator yang digunakan biasanya jenis arus bolak balik (AC) dengan frekuensi 50 hz pada putaran 1500 rpm. Energi listrik yang dihasilkan dapat berupa 1 fasa (2 kabel) atau 3 fasa (4 kabel) dengan tegangan 220/380 Volt. Generator diputar oleh turbin melalui kopel langsung atau melalui puley dan sabuk (belt). Ada dua jenis generator yang banyak digunakan untuk PLTMH yaitu generator sinkron dan motor induksi sebagai generator (generator induksi).

### 2.1 Klasifikasi Generator

Secara garis besar generator diklasifikasikan menjadi dua, yaitu generator arus searah dan generator arus bolak-balik. Untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro biasanya menggunakan generator arus bolak-balik, yakni generator sinkron (alternator). Generator sinkron merupakan suatu mesin pembangkit tenaga listrik,

dimana besar frekuensi tegangan yang dihasilkan berbanding langsung dengan kecepatan putaran rotornya.

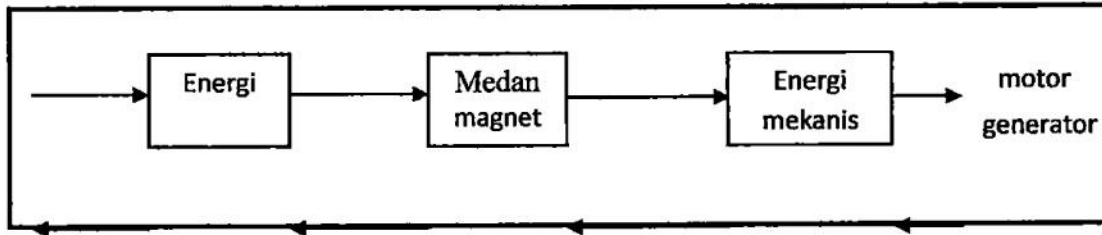


**Gambar 2.15** Bagian-Bagian Generator Serempak

## 2.2 Konversi Energi Elektromekanik

Konversi energi baik dari energi listrik menjadi energi mekanik (motor) maupun sebaliknya dari energi mekanik menjadi energi listrik (generator) berlangsung melalui medium medan magnet.

Energi yang akan diubah dari satu ke lain sistem, sementara akan tersimpan pada medium medan magnet untuk kemudian dilepaskan menjadi energi sistem lainnya. Dengan demikian medan magnet di sini selain berfungsi sebagai tempat penyimpanan energi juga sekaligus sebagai medium untuk mengkopel proses perubahan energi.



**Gambar 2.16** Bagan Proses Konversi Energi

### 2.3 Efisiensi Generator

Efisiensi generator dapat ditentukan dengan pengukuran langsung masukan dan keluaran atau dengan perhitungan setelah rugi-rugi ditentukan. Efisiensi generator umumnya berkisar 85% - 90%.

### 2.4 Kapasitas Generator

Kapasitas generator dinilai dalam kilovoltampere (kVA) dan biasanya dalam kilowatt (kW) pada faktor daya tertentu. Data lain pada plat nama (*name plate*) generator termasuk nilai tegangan, arus, frekuensi, jumlah fasa, arus penguatan, dan temperatur kerja. Pada sistem satu fasa, besarnya daya listrik yang disalurkan dapat dihitung dengan persamaan :

$$P = V_p I_p \cos \varphi \text{ (Watt)}$$

$$S = V_p \cdot I_p \text{ (VA)}$$

Keterangan :

P : Daya (Watt)

$V_p$  : Tegangan fasa (V)

$I_p$  : Arus fasa (A)

$\cos \varphi$  : Faktor daya

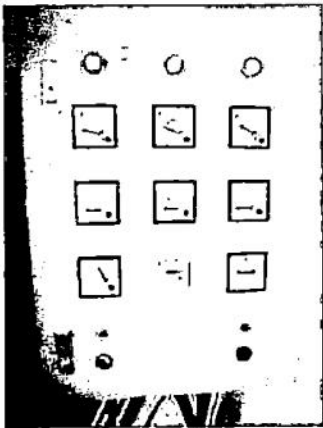
S : Daya Semu (VA)

## 3. Panel Listrik dan Alat Kontrol

Panel listrik merupakan tempat dimana sambungan kabel (terminal) dan peralatan pengaman listrik (MCB) serta meter listrik ditempatkan. Berikut fungsi panel listrik dan alat kontrol :

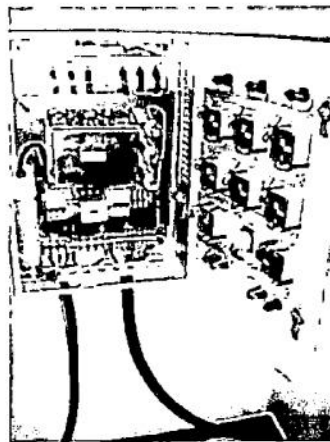
- Memonitor parameter dan besaran listrik seperti tegangan generator, arus beban, frekuensi, indikator lampu, jam operasional dan lain lain.

- Sebagai alat pengaman generator dan peralatan listrik dari hubung singkat, arus beban lebih, tegangan lebih/kurang (over/under voltage), frekuensi lebih/kurang (over/under frequency) dan lain- lain.
- Sebagai alat pengendali/kontrol generator supaya tegangan dan frekuensi generator stabil pada saat terjadi perubahan beban di konsumen. Ada dua jenis kontrol yaitu ELC (electronic load controller) untuk generator sinkron dan IGC (induction generator controller) untuk generator induksi/motor. Pada prinsipnya kedua jenis kontrol ini adalah sama, hanya berbeda parameter yang di kontrol, dimana frekuensi pada ELC dan tegangan pada IGC. Cara paling mudah untuk membedakannya adalah adanya kapasitor pada IGC dan sedangkan pada ELC tidak ada.



Gambar 2.17.

Panel kontrol ELC (electronic load controller)



Gambar 2.18.

Panel kontrol IGC dengan kapasitor



#### 4. **Beban Ballast (Ballast Load)**

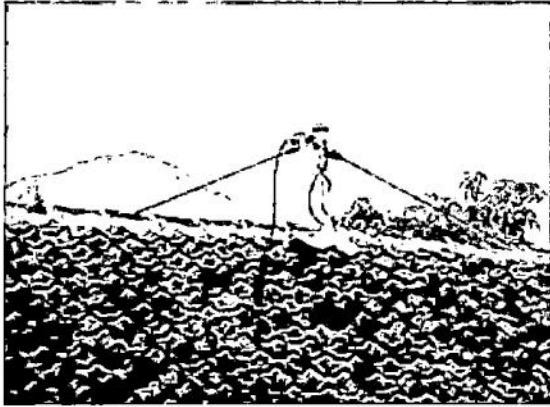
Beban *Ballast* hanya digunakan pada PLTMH dengan pemakaian control beban (ELC/IGC) sedangkan pada PLTMH tanpa kontrol tidak menggunakan beban *Ballast*. Pada PLTMH tanpa menggunakan kontrol, tegangan dan frekuensi akan naik dan turun sesuai dengan perubahan beban konsumen, hal ini akan mengakibatkan lampu dan peralatan elektronik akan cepat rusak. Beban *Ballast* digunakan untuk membuang energi listrik yang dibangkitkan oleh generator tetapi tidak terpakai oleh konsumen. Sehingga daya yang dihasilkan generator dengan daya yang dipakai akan seimbang, hal ini dimaksudkan untuk menjaga tegangan dan frekuensi generator tetap stabil.



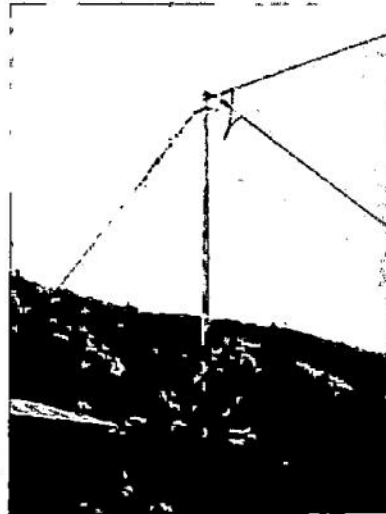
Gambar 2.19. Beban ballast berupa elemen pemanas udara

#### 5. **Jaringan Kabel Listrik**

Biasanya kabel yang menyalurkan listrik dari rumah pembangkit ke pelanggan.



2.20 Contoh jaringan listrik pada sambungan rumah



2.21 Contoh jaringan kabel listrik pada tiang jaringan

### 2.3 Pemanfaatan Energi Mikrohidro dengan menggunakan Kincir Air

Pemanfaatan kincir air dalam pembuatannya paling banyak ditiru yang bekerja memanfaatkan tinggi air jatuh dan kapasitas air. Faktor yang harus diperhatikan pada kincir air selain memperoleh energi potensial dari berat air yang ada pada tiap sudu yang aktif, juga terdapat energi kinetik yang berasal hantaman air terhadap sudunya.

Air yang mengalir ke dalam dan ke luar kincir tidak mempunyai tekanan lebih, tetapi hanya tekanan atmosfer saja. Kecepatan air yang mengalir ke dalam kincir harus kecil, karena bila kecepatannya besar maka ketika air melalui sudu, air akan melimpah ke luar atau energi yang ada hilang percuma tidak bias dimanfaatkan. Pada kondisi yang tertentu dimana kemungkinan-kemungkinan lain tidak ada, maka kincir air tetap merupakan salah satu pilihan yang tepat untuk digunakan.

Tinggi jatuh air yang bisa digunakan kincir antara 0,1 m sampai dengan 12 m dan kapasitas airnya adalah 0,05 m<sup>3</sup>/s sampai dengan 5 m<sup>3</sup>/s. Pemakaian kincir air adalah di daerah yang aliran airnya tidak tentu, berubah-ubah dan tinggi air jatuhnya kecil. Bila perubahan kecepatan putaran kincir air tidak diperhitungkan dan kecepatan putarannya kecil yaitu 2 putaran/menit sampai dengan 12 putaran/menit, maka daya pada poros transmisi masih bisa digunakan. Kincir air memiliki rendemen antara 20% sampai dengan 80%. Kincir air dengan kecepatan putaran pelan maka bahannya dapat dibuat dari kayu, tetapi apabila kecepatan putar tinggi dan air jatuh yang besar maka kincir air dibuat dari besi (Dietzel, 1990:15).

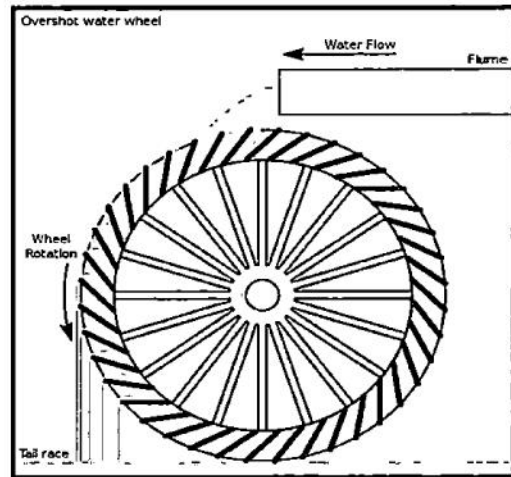
### **2.3.1 Jenis – Jenis Kincir Air**

Secara umum terdapat tiga jenis kincir air berdasarkan sistem aliran airnya yaitu:

- Kincir Air Overshot.
- Kincir Air Undershot.
- Kincir Air Breastshot.

#### **2.3.1.1 Kincir Air *Over-Shot***

Kincir air *over-shot* bekerja bila air yang mengalir jatuh ke dalam sudu-sudu bagian atas dan karena gaya berat air roda kincir berputar. Kincir air over-shot adalah kincir air yang paling banyak digunakan dibandingkan dengan jenis kincir air yang lain.



**Gambar 2.22 Kincir Air *Over-Shot***

Sumber : Soto, 1994: 197

Adapun keuntungan menggunakan kincir air *over-shot* adalah sebagai berikut :

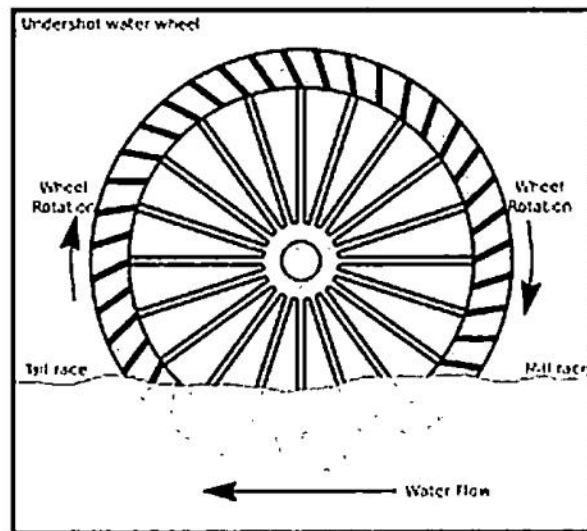
- a. Tingkat efisiensi yang tinggi
- b. Tidak membutuhkan aliran yang deras.
- c. Konstruksi yang sederhana.
- d. Mudah dalam perawatan.
- e. Teknologi yang sederhana mudah diterapkan di daerah yang terisolir.

Sedangkan kerugiannya adalah sebagai berikut :

- a. Karena aliran air yang berasal dari atas, maka biasanya reservoir air atau bendungan air, memerlukan investasi yang lebih banyak.
- b. Tidak dapat diterapkan untuk mesin putaran tinggi.
- c. Membutuhkan ruang yang lebih luas untuk penempatan.
- d. Daya yang dihasilkan relatif kecil.

### 2.3.1.2 Kincir Air *Under-Shot*

Kincir air *under-shot* bekerja bila air yang mengalir, menghantam dinding sudu yang terletak pada bagian bawah dari kincir air. Kincir air tipe undershot tidak mempunyai tambahan keuntungan dari head. Tipe ini cocok dipasang pada perairan dangkal pada daerah yang rata. Tipe ini disebut juga dengan "Vitruvian". Disini aliran air berlawanan dengan arah sudu yang memutar kincir.



**Gambar 2.23 Kincir Air *Under-Shot***

Sumber : Soto, 1994: 197

Adapun keuntungan menggunakan kincir air *under-shot* adalah sebagai berikut :

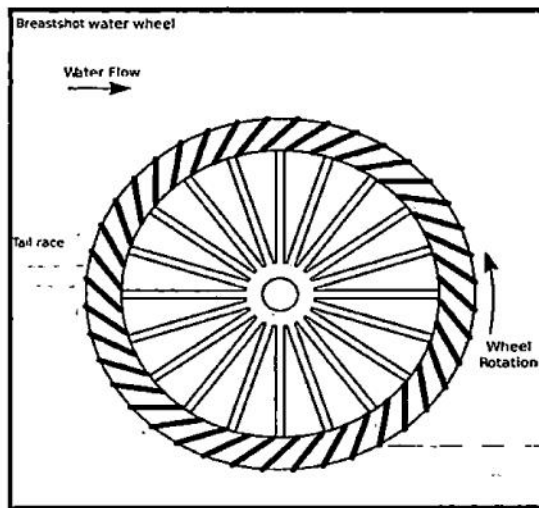
- a. Konstruksi lebih sederhana.
- b. Lebih ekonomis.
- c. Mudah untuk dipindahkan.

Sedangkan kerugiannya adalah sebagai berikut :

- a. Efisiensinya kecil.
- b. Daya yang dihasilkan relatif kecil.

### 2.3.1.3 Kincir Air *Breast-Shot*

Kincir air *breast-shot* merupakan perpaduan antara *over-shot* dan *under-shot*, dilihat dari energi yang diterimanya. Jarak tinggi jatuhnya tidak melebihi diameter kincir, arah aliran air yang menggerakkan kincir air disekitar sumbu poros dari kincir air. Kincir air jenis ini memperbaiki kinerja dari kincir air tipe *under-shot*.



**Gambar 2.24 Kincir Air *Breast-Shot***

Sumber : Soto, 1994: 197

Adapun keuntungan menggunakan kincir air *breast-shot* adalah sebagai berikut:

- a. Tipe ini lebih efisien dari tipe *under-shot*.
- b. Dibandingkan tipe *over-shot* tinggi jatuhnya lebih pendek.
- c. Dapat diaplikasikan pada sumber air aliran datar.

Sedangkan kerugiannya adalah sebagai berikut :

- a. Sudu-sudu dari tipe ini tidak rata seperti tipe *under-shot* (lebih rumit).
- b. Diperlukan dam pada arus aliran datar.
- c. Efisiensi lebih kecil daripada tipe *over-shot*.

**Tabel 2.1 Spesifikasi Teknis Tiga Jenis Kincir Air**

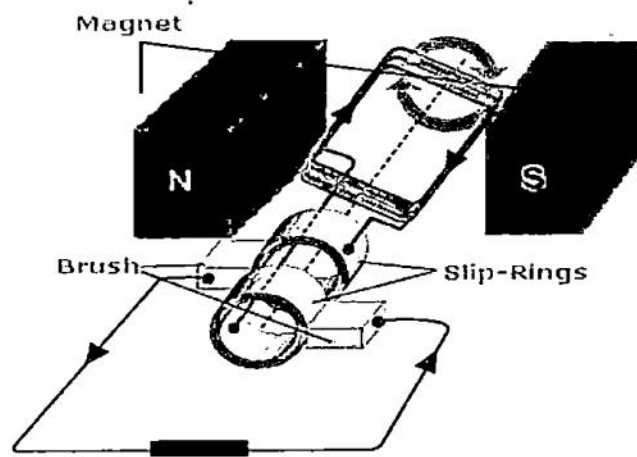
Spesifikasi	<i>Over-shot</i>	<i>Breast-shot</i>	<i>Under-shot</i>
Ketinggian jatuh air (m)	3 - 12	2 - 5	0.4 - 3.0
Debit air (m <sup>3</sup> /s)	0.1 - 1.0	0.3 - 3.0	0.2 - 5.0
Diameter kincir D (m)	2.0 - 10	5.5 - 8.5 (D = H+3.5)	2 - 9 D = (3h s/d 5h)
Kecepatan Peripheral	1.5 - 2.0	1.4 - 2.0	1.0 - 2.0
RPM	3 - 25	3 - 7	2 - 12
Efisiensi Maksimum (%)	25 - 80	20 - 75	

## 2.4 Gaya Gerak Listrik Induksi

### 2.4.1 Hukum Faraday

Michael Faraday (1791-1867), seorang ilmuwan berkebangsaan Inggris, membuat hipotesis (dugaan) bahwa medan magnet seharusnya dapat menimbulkan arus listrik. Untuk membuktikan kebenaran hipotesis Faraday. Berdasarkan percobaan, ditunjukkan bahwa gerakan magnet di dalam kumparan menyebabkan jarum galvanometer menyimpang. Jika kutub utara magnet digerakkan mendekati kumparan, jarum galvanometer menyimpang ke kanan. Jika magnet diam dalam kumparan, jarum galvanometer tidak menyimpang. Jika kutub utara magnet digerakkan menjauhi kumparan, jarum galvanometer menyimpang ke kiri. Penyimpangan jarum galvanometer tersebut menunjukkan bahwa pada kedua ujung kumparan terdapat arus listrik. Peristiwa timbulnya arus listrik seperti itulah yang disebut induksi elektromagnetik. Adapun beda potensial yang timbul pada ujung kumparan disebut gaya gerak listrik (GGL) induksi.

Terjadinya GGL induksi dapat dijelaskan seperti berikut. Jika kutub utara magnet didekatkan ke kumparan. Jumlah garis gaya yang masuk kumparan makin banyak. Perubahan jumlah garis gaya itulah yang menyebabkan terjadinya penyimpangan jarum galvanometer. Hal yang sama juga akan terjadi jika magnet digerakkan keluar dari kumparan. Akan tetapi, arah simpangan jarum galvanometer berlawanan dengan penyimpangan semula. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penyebab timbulnya GGL induksi adalah perubahan garis gaya magnet yang dilingkupi oleh kumparan.



**Gambar 2.25 Generator AC**

Menurut Faraday, besar GGL induksi pada kedua ujung kumparan sebanding dengan laju perubahan fluks magnetik yang dilingkupi kumparan. Artinya, makin cepat terjadinya perubahan fluks magnetik, makin besar GGL induksi yang timbul. Adapun yang dimaksud fluks magnetik adalah banyaknya garis gaya magnet yang menembus suatu bidang.

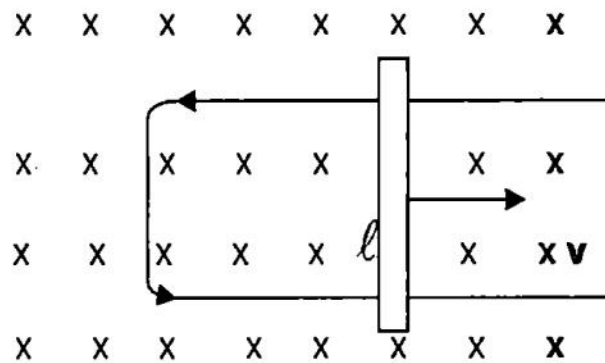
Generator atau pembangkit listrik yang sederhana dapat ditemukan pada sepeda. Pada sepeda, biasanya dinamo digunakan untuk menyalakan lampu. Caranya ialah bagian atas dinamo (bagian yang dapat berputar) dihubungkan ke roda sepeda.



Pada proses itulah terjadi perubahan energi gerak menjadi energi listrik. Generator (dinamo) merupakan alat yang prinsip kerjanya berdasarkan induksi elektromagnetik. Alat ini pertama kali ditemukan oleh Michael Faraday. Berkebalikan dengan motor listrik, generator adalah mesin yang mengubah energi kinetik menjadi energi listrik.

### 2.4.2 Gaya Gerak Listrik (GGL)

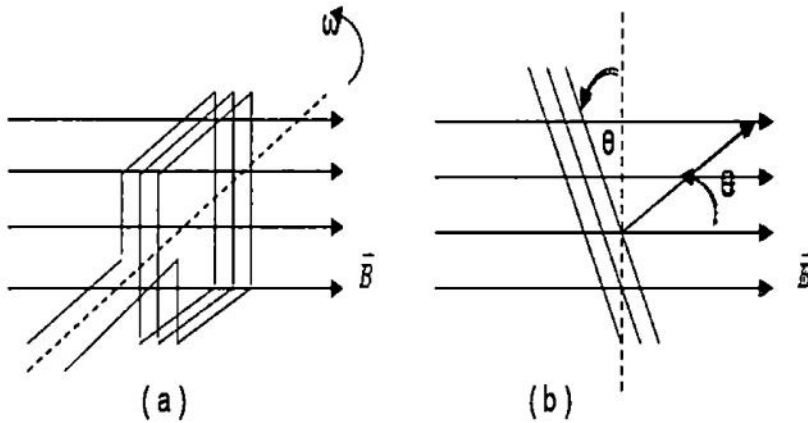
Jika suatu konduktor berbentuk dalam medan magnet  $B$  diletakkan konduktor lain yang dapat bergerak dengan kecepatan  $v$  lihat Gambar 2.13 dan menempuh jarak  $x = v.t$  dalam waktu  $t$  dan luas bertambah  $A = l.x = l.v.t$  dalam waktu  $t$  maka timbul GGL induksi sebesar  $\mathcal{E} = B.l.v$



Gambar 2.26 GGL induksi pada konduktor bergerak

### 2.4.3 Generator Bolak balik dan Searah

Generator bolak-balik terdiri dari kumparan yang berputar relatif terhadap medan magnet luar. Akibat putaran tersebut, fluks magnet yang melalui kumparan berubah terhadap waktu sehingga dihasilkan GGL induksi kumparan tersebut lihat Gambar 2.26.



2.26(a) Dasar kerja generator listrik

2.26(b) Kumparan dilihat dari samping.

Jika kumparan dengan kecepatan angular konstan  $\omega$  maka sudutnya adalah

$$\Theta = \omega \cdot t$$

Dan fluks yang berubah terhadap waktu adalah

$$\Phi = B \cdot A \cos \omega t.$$

Bila kumparan adalah N buah lilitan, maka GGL imbas yang dihasilkan yaitu:

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi}{dt} = N \cdot B \cdot A \cdot \omega \cdot \sin \omega t = \varepsilon_{maks} \sin \omega t$$

$$\mathcal{E} = N \cdot B \cdot A \cdot \omega \sin \omega t$$

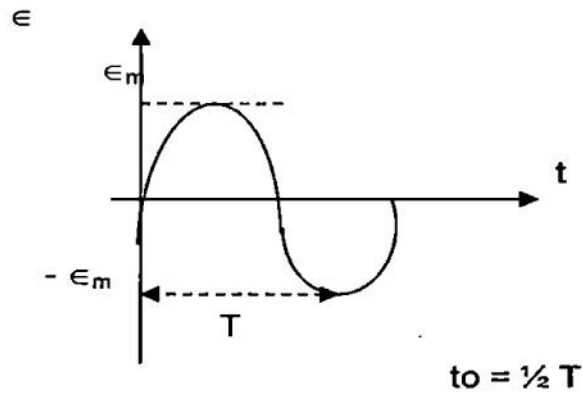
Jika harga maksimum (amplitudo)  $\mathcal{E}$  yaitu  $NBA \omega$  dinyatakan dengan  $\mathcal{E}_m$  maka persamaan dinyatakan :

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_m \sin \omega t$$

GGL induksi yang dihasilkan generator bolak-balik berubah setiap selang waktu  $t_0$  yang memenuhi hubungan sebagai  $\omega t = \pi$  atau

$$t_0 = \frac{\pi}{\omega} = \frac{1}{2} T$$

T adalah periode, yaitu waktu yang diperlukan untuk melakukan sekali gerak putar penuh lihat Gambar 2.27



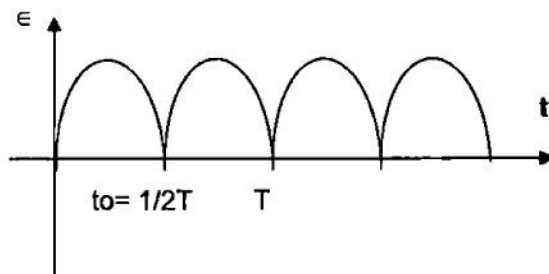
Gambar 2.27 Grafik GGL yang dihasilkan oleh generator bolak-balik

Perbedaan generator searah dengan bolak-balik adalah pada bentuk cincin terminalnya. Pada generator searah terminal dari kumparannya berupa separuh cincin yang disebut komutator. Generator searah tidak pernah berubah tanda, meskipun besarnya berubah dengan hubungan sebagai berikut :

$$\epsilon = N \cdot B \cdot A \cdot \omega |\sin \omega t|$$

$$\text{Atau } \epsilon = \epsilon_m |\sin \omega t|$$

Grafik GGL induksi pada generator searah



Gambar 2.28 Grafik GGL induksi pada generator searah

## **2.5 Kabel Instalasi**

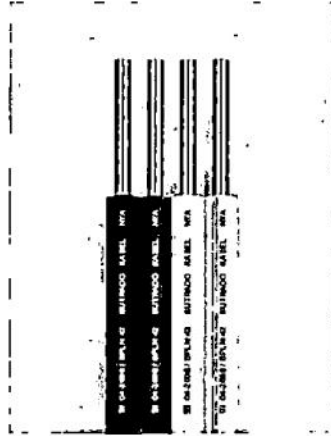
Kabel yang digunakan dalam elektro teknik banyak sekali ragamnya. Karena bahan –bahan isolasi plastik masih terus berkembang, selalu ada saja tambahan jenis-jenis kabel baru.

Jenis kabel dinyatakan dengan singkatan –singkatan, terdiri dari sejumlah huruf dan kadang –kadang juga angka. Karena banyaknya jenis yang ada sering tidak mudah untuk mengenali konstruksi suatu kabel hanya dari nama singkatannya saja tanpa keterangan tambahan, sekalipun nama singkatan itu disusun menurut suatu sistem tertentu.

Berikut adalah beberapa contoh kabel yang digunakan dalam instalasi arus kuat :

### **1. Kabel NYA**

Berinti tunggal, berlapis bahan isolasi PVC, untuk instalasi luar/kabel udara. Kode warna isolasi ada warna merah, kuning, biru dan hitam. Kabel tipe ini umum dipergunakan di perumahan karena harganya yang relatif murah. Lapisan isolasinya hanya 1 lapis sehingga mudah cacat, tidak tahan air (NYA adalah tipe kabel udara) dan mudah digigit tikus.

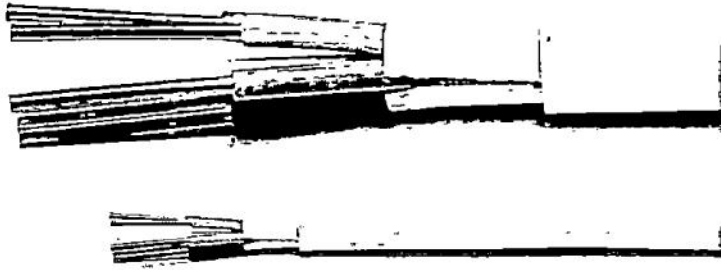


Gambar 2.29 Kabel NYA

Agar aman memakai kabel tipe ini, kabel harus dipasang dalam pipa/conduit jenis PVC atau saluran tertutup. Sehingga tidak mudah menjadi sasaran gigitan tikus, dan apabila ada isolasi yang terkelupas tidak tersentuh langsung oleh orang.

## 2. Kabel NYM

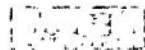
Memiliki lapisan isolasi PVC (biasanya warna putih atau abu-abu), ada yang berinti 2, 3 atau 4. Kabel NYM memiliki lapisan isolasi dua lapis, sehingga tingkat keamanannya lebih baik dari kabel NYA (harganya lebih mahal dari NYA). Kabel ini dapat dipergunakan dilingkungan yang kering dan basah, namun tidak boleh ditanam.



Gambar 2.30 Kabel NYM

### 3. Kabel NYY

Memiliki lapisan isolasi PVC (**biasanya warna hitam**), ada yang berinti 2, 3 atau 4. Kabel NYY dieprgunakan untuk instalasi tertanam (kabel tanah), dan memiliki lapisan isolasi yang lebih kuat dari kabel NYM (harganya lebih mahal dari NYM). Kabel NYY memiliki isolasi yang terbuat dari bahan yang tidak disukai tikus.



Gambar 2.31 Kabel NYY

## 2.6 Pandangan Terhadap Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) dilihat dari berbagai segi antara lain:

1. Pandangan PLTMH dari segi teknologi, dipilih karena konstruksinya sederhana, mudah dioperasikan, mudah dalam perawatan dan penyediaan suku cadang.
2. Pandangan PLTMH dari segi ekonomi, biaya operasi dan perawatannya relatif murah sedangkan biaya investasinya cukup bersaing dengan pembangkit listrik lainnya.
3. Pandangan PLTMH dari segi sosial, mudah diterima masyarakat luas.

PLTMH biasanya dibuat dalam skala desa di daerah-daerah yang belum mendapatkan listrik dari PLN. Tenaga air yang digunakan dapat berupa aliran air pada sistem irigasi, sungai yang dibendung atau air terjun.

PLTMH memang tidak memerlukan bahan bakar apapun. Masukan energi primer berupa aliran massa air **tidak dikurangi, tetapi hanya dimanfaatkan energinya** dalam jarak ketinggian tertentu atau diambil energi potensialnya saja.

Pengembangan pembangkit listrik dengan energi nonfosil akan memberikan kontribusi pada penghematan BBM nasional. Banyak sekali yang bisa dihemat, dengan mengembangkan PLTMH ini di desa dan peluang penghematan triliunan rupiah ketika output energi PLTMH dikonversi dalam penghematan BBM dan CER (certified emission reduction).

Agar praktik pembangkitan energi yang selaras dengan pemberdayaan masyarakat, sebaiknya juga menekankan perlunya model keenergian baru dalam pengembangan PLTMH yang tidak terpusat dan memanfaatkan potensi desa.

Pembangunan apapun tanpa dukungan masyarakat tidak akan bertahan lama atau malah mubazir. Dari praktik yang ada, pengembangan PLTMH tidak sekadar membangun pembangkit listrik, tetapi berpeluang menjadi salah satu upaya

membangun kemandirian desa. Pengembangan PLTMH yang berbasis masyarakat ditujukan untuk menciptakan pusat pertumbuhan di desa.

## 2.7 Perhitungan Mikrohidro

### ➤ *Perhitungan untuk Menentukan Debit Air*

Debit air dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = A \times V$$

Dimana:

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

$$A = \text{luas penampang (m)}$$

$$V = \text{kecepatan (m}^2/\text{s)}$$

### ➤ *Perhitungan untuk Menentukan Daya Hidrolik Tenaga Air / Daya Potensial Air.*

Daya hidrolik tenaga air / daya potensial air dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P_{\text{air}} = \rho \times g \times Q \times H$$

Dimana:

$$P_{\text{air}} = \text{daya hidrolik (watt).}$$

$$\rho = \text{kerapatan masa air (1000 kg/m}^3\text{).}$$

$$g = \text{konstanta gravitasi (9,81 m/det}^2\text{).}$$

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

$$H = \text{tinggi jatuh efektif (m).}$$



➤ *Perhitungan untuk Menentukan Daya Listrik.*

Potensi Daya Listrik dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P = g \times Q \times H$$

Dimana:

P = daya teoritis (kW).

g = konstanta gravitasi (9,81 m/det<sup>2</sup>).

Q = debit aliran (m<sup>3</sup>/s).

H = head net (m).

Bagaimanapun, tidak ada sistem yang sempurna sehingga selalu terjadi kehilangan energi sewaktu energi potensial air diubah menjadi energi listrik.

Besarnya energi yang hilang ini dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya yaitu:

- Efisiensi turbin.
- Efisiensi generator.
- Efisiensi trafo.
- Efisiensi jaringan.
- Efisiensi sistem kontrol.
- Efisiensi-efisiensi lainnya.

Sehingga persamaan di atas menjadi:

$$P_{\text{netto}} = g \times Q \times H \times E_t$$

Dimana:

P<sub>netto</sub> = daya listrik yang dapat dimanfaatkan (kW).

g = konstanta gravitasi (9,81 m/det<sup>2</sup>).

Q = debit aliran (m<sup>3</sup>/s).

H = head net (m).

Et = Efisiensi total sistem.

Beberapa referensi dapat diketahui bahwa untuk sistem pembangkit kecil, sebagai acuan kasar dapat digunakan harga Et = 50% (<http://www.itdg.com>).

➤ *Perhitungan untuk Menentukan Daya Output Turbin.*

Daya output turbin dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P = g \times Q \times H \times E_T$$

Dimana:

P = daya output turbin (kW).

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

Q = debit air (m<sup>3</sup>/s).

H = efektif head (m).

E<sub>T</sub> = efisiensi turbin.

= 0.8 - 0.85 untuk turbin pelton.

= 0.8 - 0.9 untuk turbin francis.

= 0.7 - 0.8 untuk turbin crossfiow.

= 0.8 - 0.9 untuk turbin propeller / kaplan.

Atau bisa menggunakan rumus:

$$P_T = E_T \times P_{air}$$

Dimana:

$P_T$  = daya turbin (kW).

$E_T$  = Efisiensi Turbin.

$P_{air}$  = daya hidraulik (kW).

➤ *perhitungan untuk Menentukan Kecepatan spesifikasi Turbin.*

Kecepatan spesifikasi turbin dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$N_s = 3.65 * n * \frac{\sqrt{Q}}{H^{\frac{3}{4}}}$$

Dimana:

$N_s$  = specific speed.

$n$  = putaran turbin (rpm).

$Q$  = debit aliran air (m<sup>3</sup>/s).

$H$  = besar head (m).

Atau bisa menggunakan rumus sebagai berikut:

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

Dimana:

$N_s$  = kecepatan putar turbin.

$n$  = putaran turbin.

$H$  = tinggi terjun.

$P$  = daya turbin.

➤ *Perhitungan untuk Menentukan Daya Teoritis Turbin.*

Daya teoritis turbin dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Ne = \frac{c \cdot Q \cdot H}{75} E.t$$

Dimana:

Ne = daya teoritis turbin (Hp), 1 HP = 734 watt.

c = massa jenis air (1000 kg/ m<sup>3</sup>).

Q = debit aliran air (m<sup>3</sup>/s).

H = besar head (m).

E.t = efisiensi turbin.

➤ *Perhitungan untuk Menentukan Kecepatan Air Masuk Turbin.*

Kecepatan air yang masuk Turbin dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$V = C_v \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

Dimana:

V = kecepatan air masuk turbin (m/s).

Cv = koefisien kecepatan air, antara 0.96-0.985.

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

H = head aliran (m).

➤ *Perhitungan untuk Menentukan Kecepatan Runner dan Diameter Runner.*

Kecepatan Tangensial Runner dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$U = \phi \times V \times \cos. \alpha$$

Dimana:

$\phi$  = speed factor, antara 0.44-0.46, diambil 0.45.

$V$  = kecepatan air masuk turbin (m/s).

$\alpha$  = Sudut masuk yang dibentuk oleh kecepatan absolut dan tangensial, diambil  $16^{\circ}$ .

Sedangkan diameter runner dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$D = \frac{60 * U}{\pi * n}$$

Dimana:

$D$  = diameter runner (m).

$U$  = kecepatan tangensial runner (m/s).

$n$  = putaran turbin (rpm).

Sedangkan diameter dalam runner dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$d = 2/3 \cdot D$$

Dimana:

d = diameter dalam runner (cm).

D = diameter runner (m).

➤ *Perhitungan untuk Debit Satuan*

Debit satuan dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q_u = \frac{Q}{D^2 \sqrt{H}}$$

Dimana:

Q = debit turbin (m<sup>3</sup>/s).

D = diameter (m).

H = tinggi terjun (m).

➤ *Perhitungan untuk Rasio Kecepatan*

Rasio Kecepatan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\varphi = \frac{N D}{84,6 \sqrt{H}}$$

Dimana:

N = putaran turbin (rpm = rotasi permenit).

D = diameter karakteristik turbin (m), umumnya digunakan diameter nominal.

H = tinggi terjun netto / efektif (m).

➤ *Perhitungan untuk Kecepatan Satuan*

Kecepatan satuan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Nu = \frac{N D}{\sqrt{H}}$$

Dimana:

N = putaran turbin (rpm = rotasi permenit).

D = diameter karakteristik turbin (m), umumnya digunakan diameter nominal.

H = tinggi terjun netto / efektif (m).

➤ *Perhitungan untuk Menentukan Panjang Sudu Turbin.*

Panjang sudu turbin dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$b = 0,006 \frac{n \times Q}{k \times H}$$

Dimana:

n = putaran turbin (rpm).

Q = debit air (m<sup>3</sup>/s).

H = ketinggian (m).

k = koefisien tebal semburan air terhadap diameter runner, ditentukan (0,075-1,50).

- *Perhitungan untuk Menentukan Dimensi Penampang Nozel dan Tinggi Penampang Nozel.*

Dimensi penampang nozel dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$A = \frac{Q}{v}$$

Dimana:

A = luas penampang turbin (m<sup>2</sup>).

Q = debit air (m<sup>3</sup>/s).

v = kecepatan (m/s).

Sedangkan lebar nozel adalah sama dengan lebar sudu turbin sehingga dapat dicari tinggi penampang nozel yaitu:

$$t = \frac{A \cdot 10000}{b}$$

Dimana:

t = tinggi penampang nozel (cm).

A = luas penampang turbin (m<sup>2</sup>).

b = lebar sudu turbin (cm).



- *Perhitungan untuk Menentukan Faktor Daya Generator.*

Faktor Daya Generator dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$N_g = N_e \cdot \eta_g$$

Dimana:

$N_g$  = faktor daya generator (watt).

$N_e$  = daya teoritis turbin (Hp).

$\eta_g$  = asumsi nilai faktor daya sebuah generator berkisar antara 0.75-0.9

- *Perhitungan untuk Menentukan Kecepatan Sinkron Generator.*

Kecepatan sinkron untuk generator arus bolak-balik dinyatakan dengan

persamaan :

$$N = 120 \cdot f \cdot P$$

Di mana :

$N$  = kecepatan putar (rpm)

$f$  = frekuensi tegangan (Hz)

$P$  = jumlah kutub