

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sumber Potensi

Air merupakan sumber energi yang murah dan relatif mudah didapat, karena pada air tersimpan energi potensial (pada air jatuh) dan energi kinetic (pada air mengalir). Tenaga air (Hydropower) adalah energi yang di peroleh dari air yang mengalir. Energi yang dimiliki air dapat di manfaatkan dan digunakan dalam wujud energi 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 energi yang tersedia dari suatu reservoir air adalah merupakan



Dengan :

$v$  adalah kecepatan aliran air  $\frac{m}{s}$

Daya air yang tersedia dinyatakan sebagai berikut :

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \text{ Dengan } A \text{ adalah luas penampang aliran air ( } m^2 \text{ )}$$

## 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 mendapatkan pasokan listrik kerana daerah tersebut tidak dapat dijangkau untuk menyalurkan jaringan listrik dari pembangkit listrik pusat. Daerah tersebut memiliki potensi untuk didiikan pembangkit listrik tenaga air dengan daya yang dihasilkan dalam skala mikro, kurang dari 100KW, 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

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 skunder 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 sangat berpotensi karena Indonesia merupakan negara yang memiliki banyak sungai dan potensi prairan 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 Mikrohidro (PLTMH)**

Mikrohidro adalah istilah yang digunakan untuk instalasi pembangkit listrik 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 menghasilkan daya lebih rendah dari 100 W, sedangkan untuk mikrohidro 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

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 PLN. Tenaga air yang digunakan dapat berasal dari aliran air pada sistem irigasi sungai yang dibendung atau air

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

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air perdetik yang ada pada aliran air, saluran air, sungai atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan menghasilkan listrik.

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 di bangun bangunan pengambilan (*inteke*). Kemudian dilanjutkan dengan pembuatan saluran penghantar yang berfungsi mengalirkan air dari *inteke*. 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

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 mengerahkannya 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 di ubah menjadi energi kinetik yang akan memutar roda turbin. Biasanya terbuat dari pipa baja yang dirol lalu dilas. Untuk sambungan antara 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, tujuan 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 "*guid vane*" untuk mengatur pembukaan dan penutupan

terhadap jumlah air yang masuk ke "*runner/blade*"

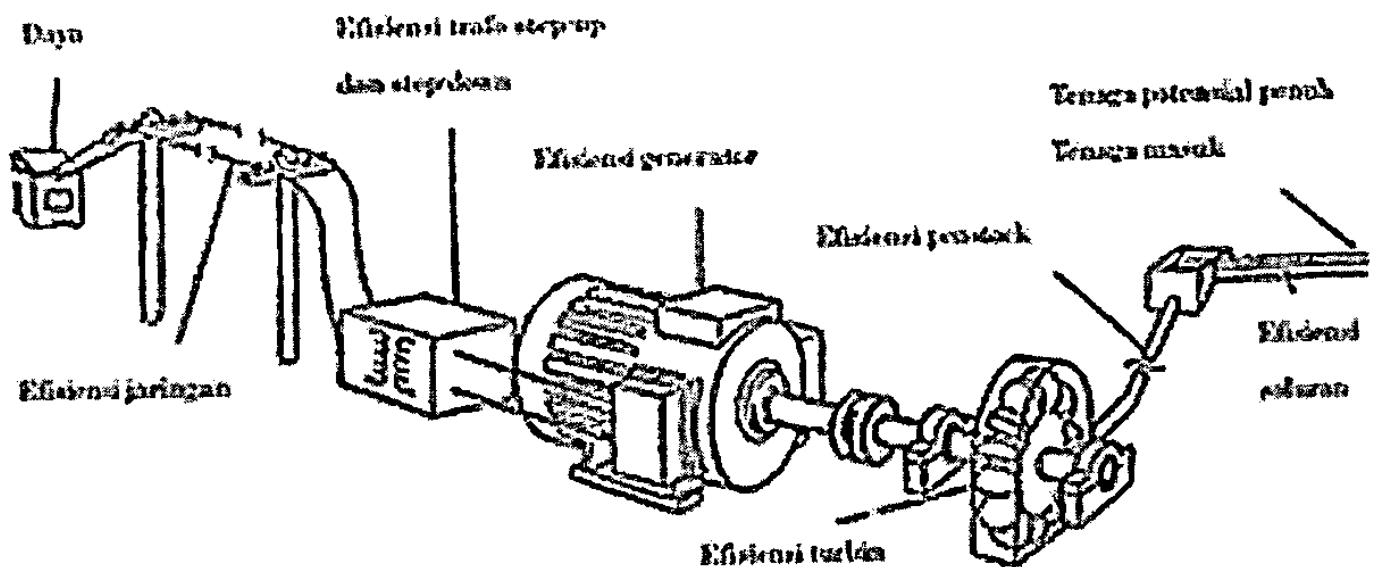


(komponen utama turbin). *Runner* terbuat dari baja dengan kekuatan tarik tinggi yang dilas pada dua buah piringan sejajar. Aliran air akan memutar "*runner*" dan menghasilkan energi kinetik yang akan memutar poros turbin. Energi yang timbul akibat putaran poros kemudian ditransmisikan ke generator. 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 ketidak lurusan sumbu dapat

*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 20kW. Komponen pendukung yang diperlukan pada sistem ini adalah *pulley*, bantalan dan kopling. Listrik yang dihasilkan oleh generator dapat langsung ditransmisikan lewat kabel pada tiang listrik menuju rumah konsumen.



#### 2.2.4 Komponen – komponen 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 dari instalasi maka semakin besar energi yang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Air dalam jumlah besar yang dapat menciptakan tinggi jatuh air karna turbin memerlukan pasokan air yang cukup dan stabil. Selain itu bendungan juga dapat digunakan untuk menyimpan energi.

##### 2. Turbin

Turbin adalah sebuah mesin berputar yang mengambil energi dari aliran fluida. Turbin sederhana memiliki satu bagian yang bergerak, “asemбли 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 gas, uap dan air biasanya memiliki “casing” sekitar baling-baling yang memfokus dan mengontrol fluid. “casing” dan baling-baling mungkin memiliki geometri variable yang dapat membuat operasi efisien untuk beberapa kondisi air 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 di gunakan 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

dibutuhkan semakin sedikit dan peralatan semakin kecil serta turbin bergerak dengan kecepatan tinggi.

### 3. 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 menjaga 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 : 50kVA sampai dengan 6250kVA
- Voltage : 415, 3300, 6600, dan 11000

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 20kW. 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 teralalu kecil dari debit air yang ada.

### **2.3. Mesin-Mesin Fluida**

Mesin-mesin fluida adalah mesin yang berfungsi untuk mengubah energi mekanis menjadi energi fluida kerja ( energi potensial dan energi kinetik ) atau sebaliknya. Secara umum mesin fluida dapat dibagi atas dua golongan utama, yaitu :

#### **a. Mesin kerja**

merupakan mesin fluida yang berfungsi mengubah energi mekanis

b. Mesin tenaga

Merupakan mesin fluida yang berfungsi mengubah energi fluida menjadi energi mekanis pada poros, misalnya : air, turbin uap, turbin gas, dan lain-lain.

#### 2.4. Klasifikasi Kincir Air

Kincir air merupakan sarana untuk energi air menjadi energi mekanik berupa putaran pada poros kincir.

a. Menentukan kecepatan putaran kincir

kecepatan putaran kincir dapat di peroleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$n = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot D}$$

Dimana :  $Q$  = debit air ( $m^3/s$ )

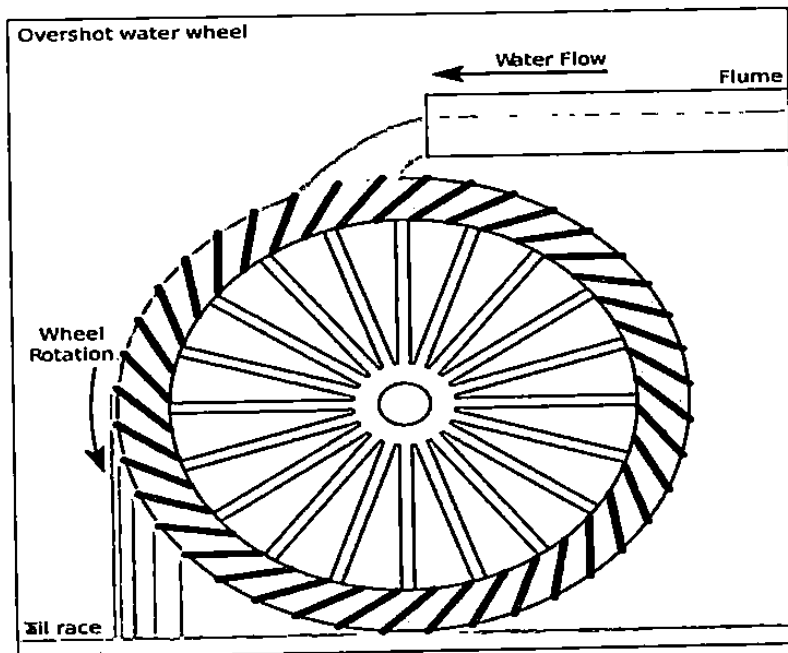
$D$  = diameter (m)

b. Menentukan daya kincir

Daya ( $P$ ) yang timbul akibat gaya tangensial pada rotor mempunyai

## 2.4.1 Kincir Air Overshot

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



*Gambar 2.2 kincir air overshot*

Adapun keuntungan dan kergian menggunakan kincir air overshot adalah :

Keuntungan :

- a. Tingkat efisien yang tinggi dapat mencapai 85%
- b. Tidak membutuhkan aliran air yang deras
- c. Konstruksi sederhana



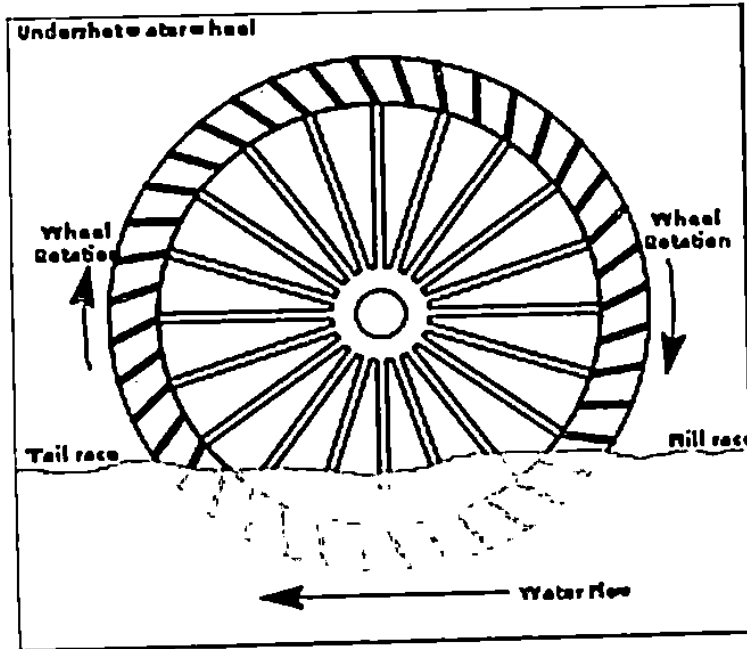
- e. Teknologi yang sederhana mudah diterapkan di daerah yang terisolir.

Kerugian :

- a. Karena aliran air 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.

#### **2.4.2 Kincir Air Undershot**

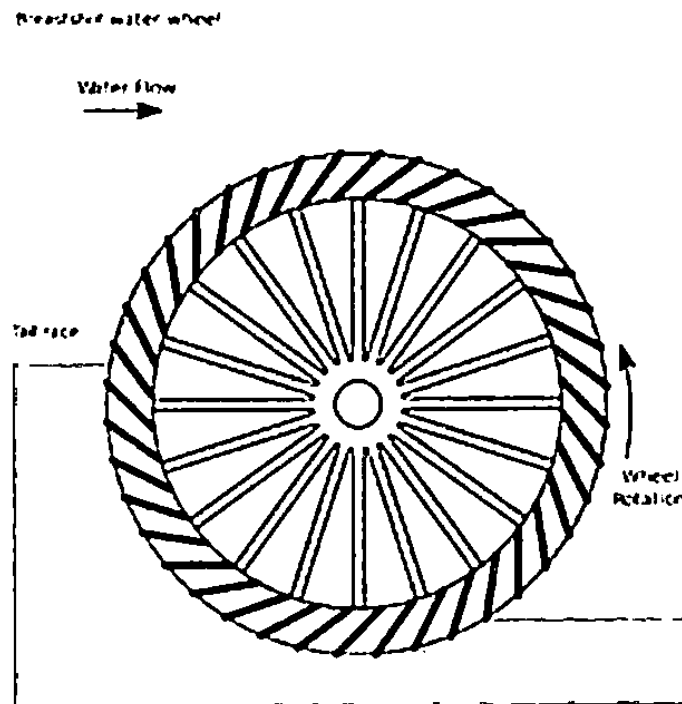
Kincir air undershot bekerja bila air yang mengalir, menghantam dinding sudu yang terletak pada bagian bawah dari kincir air. Kincir air tipe undershot tidak mempunyai tambahan keuntungan dari head. Tipe ini cocok dipasang pada perairan dangkal pada daerah yang rata. Tipe ini disebut juga dengan "Vitruvian".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



*Gambar 2.3 kincir air undershot*

### 2.4.3 Kincir Air Breastshot

Kincir air breastshot merupakan perpaduan antara tipe overshot dan undershot dilihat dari energi yang diterimanya. Jarak tinggi jatuhnya tidak melebihi diameter kincir, arah aliran air yang menggerakkan kincir air disikitar sumbu poros dari kincir air. Kincir air jenis ini memperbaiki kinerja dari kincir air tipe undershot.



Gambar 2.4 Kincir Air Breastshot

Adapun keuntungan dan kerugian menggunakan kincir air breastshot adalah :

Keuntungan :

- a. Tipe ini jauh lebih efisien dari tipe undershot
- b. Dibandingkan tipe overshot tinggi jatuhnya lebih pendek

Kekurangan :

- a. Sudu-sudu dari tipe ini tidak rata seperti tipe undershot (lebih rumit)
- b. Diperlukan dam pada arus aliran datar
- c. Efisiensi lebih kecil dari pada tipe overshoot.

#### 2.4.4 Kincir Air Tub

Kincir air tub merupakan kincir air yang kincirnya diletakkan secara horisontal dan sudu-sudunya miring terhadap garis vertikal, dan tipe ini dapat dibuat lebih kecil dari pada tipe overshoot maupun undershoot. Karena arah pancuran air menyampaikan maka, energi yang diterima oleh kincir yaitu energi potensial dan kinetik.

Adapun keuntungan dan kerugian menggunakan air tub adalah :

Keuntungan

- a. Memiliki konstruksi yang lebih ringkas
- b. Kecepatan putarannya lebih cepat

Kerugian

- a. Tidak menghasilkan daya yang besar

## 2.5 Pemilihan Tipe Turbin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro.

Pada dasarnya pemilihan tipe turbin untuk PLTMH sama seperti pemilihan tipe turbin pada PLTA konvensional yang pernah ada. Dasar pemilihan tipe turbin sebagai penggerak generator pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) terlebih dahulu harus diketahui besaran-besaran Head (meter), debit air (m<sup>3</sup>/detik), dan besarnya kecepatannya putar turbin (n). Kecepatan putaran turbin diperoleh dengan mengetahui kecepatan air yang akan masuk sudu-sudu turbin, dengan merubah kecepatan liner menjadi kecepatan keliling (sentrifugal) pada poros turbin tersebut yang disebut dengan keliling dengan persamaan :

$$UI = D * \pi * n$$

Dimana :

UI = Kecepatan Keliling (m/s)

D = Diameter Roda Turbin (m)

n = Putaran Turbin (rpm)

Dalam pemilihan kecepatan putaran sedapatnya ditentukan setinggi mungkin, karena dapat kecepatan putar yang tinggi akan didapat

(1) dan (2) pada hasil poros yang kecil dan diameter roda

turbin yang kecil, sehingga akan membuat ukuran generator lebih kecil. Kecepatan keliling ( $U_1$ ) meningkat dengan membesarnya putaran. Selanjutnya yang sangat penting untuk diketahui dalam merencanakan turbin adalah menentukan kecepatan spesifik ( $nq$ ) yang akan sangat menentukan dalam perencanaan tipe turbin yang akan digunakan dalam PLTMH. Besar kecepatan spesifik ( $nq$ ) dapat diperoleh dengan rumus :

$$nq = n \frac{\sqrt{v}}{\sqrt[4]{H^3}} = n \frac{\sqrt{v}}{H^{\frac{3}{4}}} \text{ min}^{-1}$$

Dimana :  $n$  = jumlah putaran (rpm)

$V$  = kapasitas (debit) air ( $m^3/\text{detik}$ )

$H$  = head/tinggi air jatuh (m)

Selain itu dengan menggunakan rumus diatas, nilai dapat juga diperoleh dengan menggunakan grafik kecepatan spesifik dibawah ini setelah diketahui besar nilai head, putaran turbin, dan kapasitas air. Setelah mengetahui kecepatan spesifik tersebut dapat ditentukan jenis turbin

## 2.6 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 didalam negeri dan peralatan pengganti bisa didapat di kota-kota besar.
- PLTMH lebih awet, jika dipelihara dengan baik, dibandingkan 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 listrik maupun energi gerak dari PLTMH untuk kegiatan produktif bisa dilakukan. Seperti charge aki dengan energi listrik atau penggilingan

didaerah tertentu seperti di pegunungan dan 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).
- Pada musim kemarau kemampuan PLTMH akan menurun karena jumlah air biasanya berkurang.
- Semakin jauh jarak pelanggan ke pembangkit, maka kualitas listrik juga lebih buruk.

## 2.7 Generator Sinkron

Generator sinkron berfungsi mengubah tenaga mekanis menjadi tenaga listrik bolak-balik. Generator sinkron sering disebut juga sebagai alternator, generator AC (*alternating current*), atau generator arus bolak-balik. Dikatakan generator sinkron karena jumlah putaran rotornya sama dengan jumlah putaran medan magnet pada statornya. Kecepatan sinkron ini dihasilkan dari kecepatan putar rotor dengan kutub-kutub magnet yang berputar dengan kecepatan yang sama dengan medan putar pada stator. Mesin ini tidak dapat dijalankan sendiri karena kutub-



Generator arus bolak-balik dibagi menjadi dua jenis, yaitu :

- a. Generator arus bolak-balik 1 phasa
- b. Generator arus bolak-balik 3 phasa

### 2.7.1 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 :

$$E = -N \frac{d\phi}{dt}$$

#### a. 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,

putaran turbin rendah maka putaran pada generator juga akan rendah. Putaran pada generator selalu dijaga konstan agar frekuensi dan tegangan yang dihasilkan oleh generato dapat dicari berdasarkan besarnya jumlah putaran dan banyaknya jumlah pasang kutub pada generator sinkron, sehingga diperoleh hubungan :

$$F = \frac{P.n}{120}$$

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.

Untuk menjaga frekuensi yang dihasilkan generator sinkron sebesar 50 Hz dan untuk generator sinkron yang mempunyai jumlah kutub pada rotornya sinkron yang mempunyai jumlah kutub pada rotornya lebih dari satu pasang maka jumlah putaranya ini disesuaikan dengan persamaan di atas. Kecepatan putaran juga sangat berpengaruh terhadap tegangan generator sinkron. Jika putarannya turun, maka

bertambah maka akan mengakibatkan bertambahnya generator sinkron bertambahnya kemampuan membangkit daya dari generator sinkron. Tetapi biasanya dalam pengoperasiannya jumlah putaran generator sinkron dijaga konstan dan yang diatur biasanya adalah arus penguat medannya.

**b. Daya yang dihasilkan Generator Sinkron**

generator untuk pembangkit listrik tenaga air skala piko menggunakan generator sinkron 1 phasa. Generator ini memiliki kecepatan rata-rata antara 70 – 1500 rpm. Daya yang dihasilkan oleh generator 1 phasa dihitung dengan persamaan :

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (2.9)$$

Dimana :

P = daya yang dihasilkan generator (watt)

V = tegangan terminal generator (volt)

I = arus (ampere)

Cos  $\varphi$  = faktor daya

### 2.7.2 Generator sinkron Tanpa Beban

Dengan memutar generator sinkron diputar pada kecepatan sinkron dan rotor diberi arus medan ( $I_f$ ), maka tegangan ( $E_o$ ) akan terinduksi pada kumparan jangkar stator. Bentuk hubungannya diperlihatkan pada persamaan berikut :

$$E_o = c.n.\phi$$

Dimana :

C = konstan mesin

N = putaran sinkron

$\phi$  = fluks yang dihasilkan oleh  $I_f$

Dalam keadaan tanpa beban arus jangkar tidak mengalir pada stator, karenanya tidak terdapat pengaruh reaksi jangkar. Fluks hanya dihasilkan oleh arus medan ( $I_f$ ). Apabila arus medan ( $I_f$ ) diubah-ubah harganya, akan diperoleh  $E_o$ , bila besarnya arus medan dinaikan, maka

.....

### 2.7.3 Generator Sinkron Berbeban

Bila generator diberi beban yang diubah-ubah maka besarnya tegangan terminal  $V_t$  akan berubah\_ubah pula. Hal ini disebabkan adanya :

- a. Jatuh tegangan karena resistansi jangkar ( $R_a$ )
- b. Jatuh tegangan karena reaktansi bocor jangkar ( $X_L$ )
- c. Jatuh tegangan karena reaksi jangkar

Persamaan tegangan pada generator berbeban adalah :

$$E_a = V_\phi + I_a R_a + j I_a X_s$$

$$X_s = X_L + X_a$$

Dimana :

$E_a$  = tegangan induksi pada jangkar per fasa (volt)

$V_\phi$  = tegangan terminal output per fasa (volt)

$R_a$  = resistansi jangkar fasa (ohm)

$X_s$  = reaksi sinkron per fasa (ohm)

$X_L$  = reaktansi bocor per fasa (ohm)

## 2.8 Gaya Gerak Listrik Induksi

### 2.8.1 Hukum Faraday

Micheal faraday (1791-1867), seorang ilmuwan berkebangsaan inggris, membuat hipotesis (dugaan) bahwa medan magnet seharusnya dapat menimbulkan arus listrik. Untuk membuktikan kebenaran itu hipotesis Faraday. Berdasarkan percobaan, ditunjukkan bahwa gerakan magnet di dalam kumparan menyebabkan jarum galvanometer tidak menyimpang. Jika kutub utara magnet digerakan mendekati kumparan, jarum gulvanometer menyimpang kekanan. jika magnet diam dalam kumparan, jarum galvanometer tidak menyimpang. Jika kutub utara magnet digerakan menjauhi kumparan, jarum galvanometer mnyimpang ke kiri. Penyimpangan jarum galvanometer tersebut menunjukkan bahwa pada kedua ujung kumparan terdapat arus listrik. Pristiwa timbulnya arus listrik seperti iyulah 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

dengan penyimpangan semula. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa penyebab timbulnya GGL induksi adalah perubahan garis gaya magnet yang dilingkupi oleh kumparan.

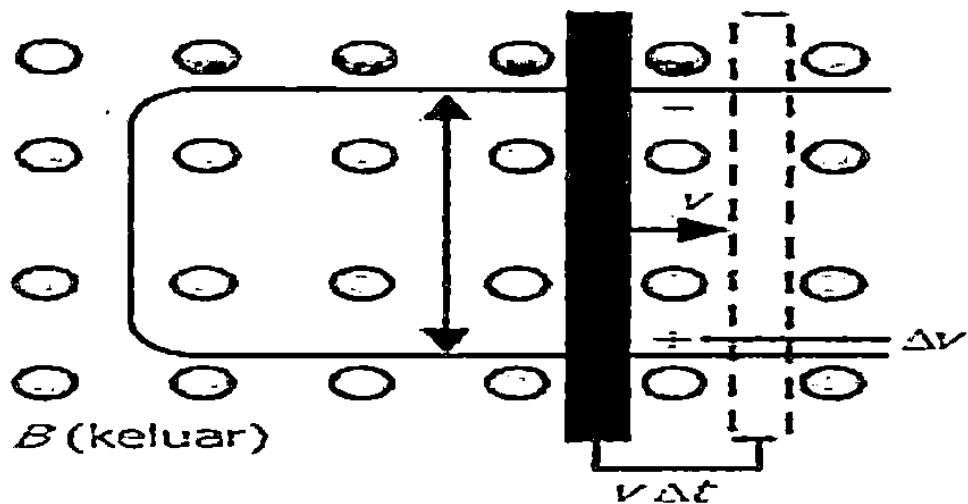
Menurut Faraday, besar GGL induksi pada kedua ujung kumparan sebanding dengan laju perubahan fluks magnetik yang dilingkupi kumparan. Artinya, makin cepat terjadinya perubahan fluks magnetik, makin besar GGL induksi yang timbul. Adapun yang dimaksud fluks magnetik adalah banyak garis gaya magnet yang menebus 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 berutar) dihubungkan ke roda sepeda. Pada prosesnya itulah terjadinya 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

1.1. energi kinetik menjadi energi listrik

### 2.8.2 Gaya Gerak Listrik (GGL)

Jika suatu konduktor berbentuk dalam magnet  $B$  diletakkan konduktor lain yang dapat bergerak dengan kecepatan  $v$  lihat gambar 2.5 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  $\mathcal{E} = B.l.v$

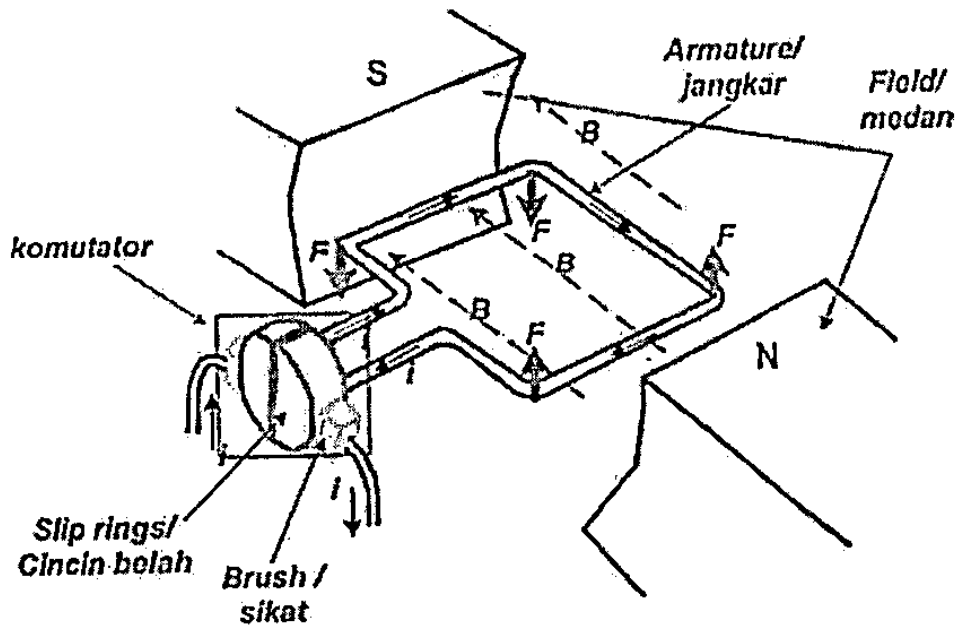


Gambar 2.5 GGL induksi pada konduktor bergerak

### 2.8.3 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 lajuannya tersebut





Gambar 2.6 Dasar kerja generator listrik

## 2.9 Arus Listrik

Arus Listrik adalah mengalirnya elektron secara kontinyu pada konduktor akibat perbedaan jumlah elektron pada beberapa lokasi yang jumlah elektronnya tidak sama. Satuan arus listrik adalah *Ampere*.

1 Ampere arus adalah mengalirnya elektron sebanyak  $624 \times 10^{16}$  atau sama dengan 1 *coloumb* per detik melewati suatu

Dimana :

I = Besarnya arus listrik yang mengalir, Ampere

Q = Banyaknya muatan listrik, coluomb

t = Waktu, detik

### 2.9.1 Kuat Arus Listrik

Adalah arus yang tergantung pada banyak sedikitnya elektron bebas yang pindah melewati suatu penampang kawat dalam satuan waktu.

Definisi : *“Ampere adalah satuan kuat arus listrik yang dapat memisahkan 1,118 miligram perak dari nitrat perak murni dalam satu detik”.*

Rumus-rumus untuk menghitung banyaknya muatan listrik, kuat arus, adalah :

$$Q = I \times t$$

$$I = \frac{Q}{t}$$

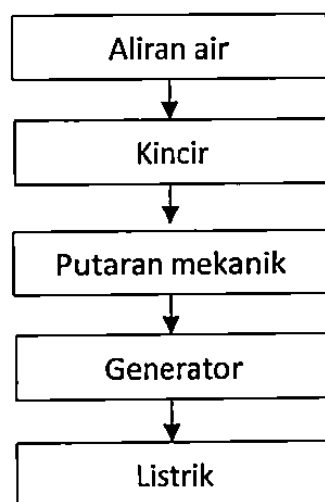
Muatan Listrik memiliki muatan positif dan muatan negatif.

elektron. Satuan muatan “coloumb (C)”, muatan proton  $+1,6 \times 10^{-19}C$ , sedangkan muatan elektron  $-1,6 \times 10^{-19}C$ . Muatan yang bertanda sama saling tolak menolak, muatan bertanda berbeda saling tarik menarik.

## 2.10 Konversi Energi

energi di alam adalah kekal artinya energi tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan tetapi hanya bisa diubah dari energi satu ke energi lainnya ( Hukum kekekalan energi ). Ilmu yang mempelajari perubahan energi dari energi satu ke lainnya adalah disebut dengan ilmu konversi energi. Tingkat keberhasilan energi adalah disebut dengan efisiensi.

Proses konversi energi dalam sistem Pembangkit mikrohidro dapat dilihat dibawah ini :



### 2.10.1

#### Proses Konversi

Air yang tersimpan dalam waduk, aliran sungai maupun saluran irigasi merupakan energi potensial yang dapat menggerakkan kincir/turbin. Air yang memiliki daya aliran yang deras mempunyai energi kinetik yang dapat menggerakkan sudu-sudu kincir (turbin), sehingga terjadi proses perubahan dari energi aliran air (kinetik) menjadi energi mekanik (putaran roda kincir), kemudian setelah roda kincir dihubungkan dengan proses generator listrik, maka energi mekanik diubah menjadi energi listrik, yang kemudian listrik ini dapat digunakan untuk