

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Potensi Energi Air

Air merupakan sumber energi yang murah dan relatif mudah didapat, karena pada air tersimpan energi potensial (pada air jatuh) dan energi kinetik (pada air mengalir). Tenaga air (Hydropower) adalah energi yang diperoleh dari air yang mengalir. Energi yang dimiliki air dapat dimanfaatkan 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. 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/turbin air. Total energi yang tersedia dari suatu reservoir air adalah merupakan energi potensial air yaitu merupakan energi potensial air

h adalah head (m)

g adalah percepatan gravitasi

Daya merupakan energi tiap satuan waktu (E/t), sehingga persamaan (1.1) dapat dinyatakan sebagai :

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

Dengan mensubsitusikan P terhadap (E/t) dan pQ terhadap (m/t) maka :

$$P = \rho Qgh$$

Dimana :

P : adalah daya potensial air (Watt)

Q adalah kapasitas aliran (m^3/s)

ρ adalah densitas air (kg/m^3)

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

$$E = \frac{1}{2} mv^2$$

Dimana

v adalah kecepatan aliran air m/s

Daya air yang tersedia dinyatakan sebagai berikut :

$$P = \frac{1}{2} \rho Q v^2$$

Atau dengan persamaan kontinuitas $Q = Av$ maka

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

Dimana A = luas penampang aliran air (m^2)

2.2 Mesin – Mesin Fluida

Mesin–mesin fluida adalah mesin–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 menjadi energi fluida, misalnya: Pompa, Kompresor, Blower, Fan, dan lain-lain.

b. Mesin Tenaga

Merupakan mesin fluida yang berfungsi mengubah energi fluida menjadi energi mekanis pada poros, misalnya: Turbin Air, Turbin Uap,

2.3 Klasifikasi Kincir Air

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

a. Menentukan kecepatan putaran kincir

Kecepatan putaran kincir dapat diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

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

di mana Q : debit air (m^3/s)

D : diameter (m)

(Sumber: M.M. Dandekar, K.N. Sharma. Pembangkit Listrik Tenaga Air 1991)

b. Menentukan daya kincir

Daya (P) yang timbul akibat Gaya tangensial pada rotor mempunyai jarak (lengan) tertentu pada sumbu putar (poros) dan hasil kali kedua besaran ini sering kali disebut torsi (T) . kemudian rotor ini berputar dengan

dimana $F = \text{gaya tangensial (N)}$

$R = \text{jari-jari kincir (m)}$

Maka diperoleh $F = m.v \Rightarrow As = fs * ts$

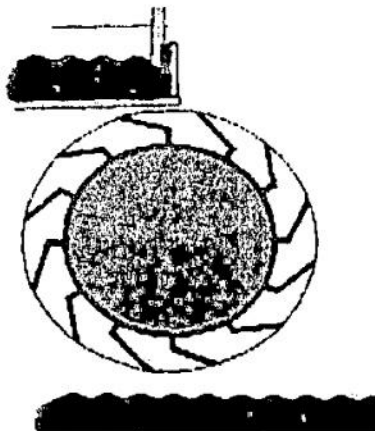
(Sumber: M.M. Dandekar, K.N. Sharma, Pembangkit Listrik Tenaga Air 1991)

Ada beberapa tipe kincir air yaitu :

- a. Kincir Air Overshot
- b. Kincir Air Undershot
- c. Kincir Air Breastshot

2.3.1 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 2.1 Kincir air overshot

Adapun keuntungan dan kerugian menggunakan kincir air overshoot adalah:

Keuntungannya :

- a. Tingkat efisiensi yang tinggi dapat mencapai 85%.
- b. Tidak membutuhkan aliran yang deras.
- c. Konstruksi yang sederhana.
- d. Mudah dalam perawatan.
- e. Teknologi yang sederhana mudah diterapkan di daerah yang terisolir.

Kerugian

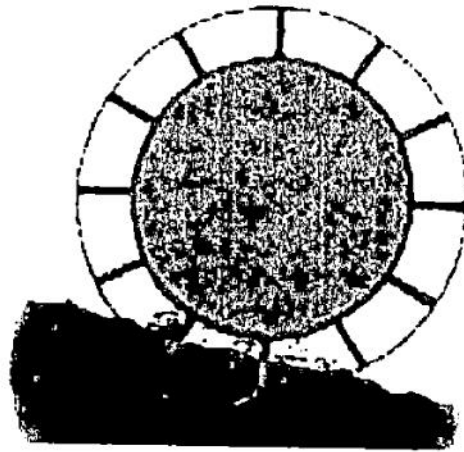
- a. Karena aliran air berasal dari atas maka biasanya reservoir air atau bendungan air, memerlukan investasi yang lebih banyak.
- b. Tidak dapat diterapkan untuk mesin putaran tinggi.
- c. Membutuhkan ruang yang lebih luas untuk penempatan.
- d. Daya yang dihasilkan relatif kecil.

2.3.2 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 berlawanan dengan arah sudu yang memutar kincir.



Gambar 2.2 Kincir air undershot

Adapun keuntungan dan kerugian menggunakan kincir air undershot adalah :

Keuntungan

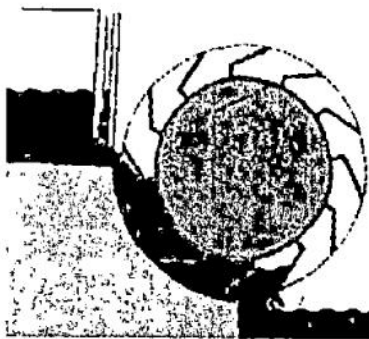
- a. Konstruksi lebih sederhana.
- b. Lebih ekonomis.
- c. Mudah untuk dipindahkan.

Kerugian

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

2.3.3 Kincir air Breastshot

Kincir air breastshot merupakan perpaduan antara tipe overshoot dan undershot 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 undershot.



Gambar 2.3 Kincir air breastshot

Adapun keuntungan dan kerugian menggunakan kincir air breastshot adalah :

Keuntungan

- Tipe ini lebih efisien dari tipe undershot.
- Dibandingkan tipe overshoot tinggi jatuhnya lebih pendek.
- Dapat diaplikasikan pada sumber air aliran datar.

Kerugian

- Sudu-sudu dari tipe ini tidak rata seperti tipe undershot (lebih rumit).
- Diperlukan dam pada arus aliran datar

c. Efisiensi lebih kecil dari pada tipe overshoot

2.4 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 *Head* (meter), debit air ($m^3/detik$), dan besarannya kecepatan putar turbin (n). Kecepatan putaran turbin diperoleh dengan mengetahui kecepatan air yang akan masuk sudu-sudu turbin, dengan merubah kecepatan linear menjadi kecepatan keliling (*sentrifugal*) pada poros turbin tersebut yang disebut dengan kecepatan keliling dengan persamaan :

$$U1 = D * \pi * n$$

Dimana:

$U1$ = Kecepatan Keliling (m/s)

D = Diameter Roda Turbin (m)

n = Putaran Turbin (rpm)

Dalam pemilihan kecepatan putaran sedapatnya ditentukan setinggi mungkin, karena dengan kecepatan putar yang tinggi akan didapat momen punter (kopel) yang kecil, poros yang kecil, dan diameter roda turbin yang kecil, sehingga akan membuat ukuran generator lebih kecil. Kecepatan keliling ($U1$) 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:

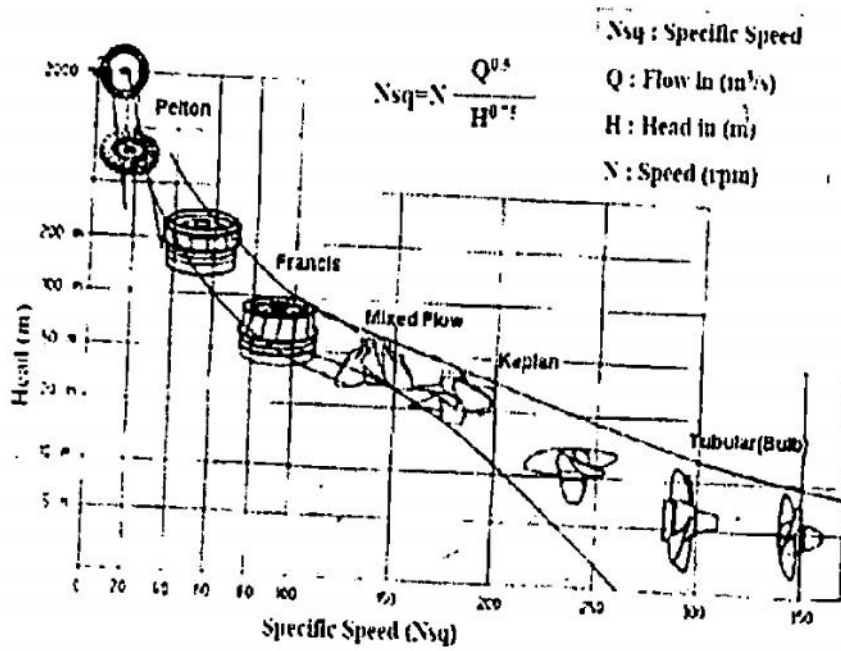
$$nq = n \frac{\sqrt{V}}{\sqrt[4]{H^3}} = n \frac{\sqrt{V}}{H^{3/4}} \text{ min}^{-1}$$

Dimana : n : jumlah putaran (rpm).

V : kapasitas (debit) air (m^3/detik)

H : head / tinggi air jatuh (m)

Selain 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 yang akan digunakan. Apakah akan digunakan turbin propeller, pelton, cross flow atau yang lainnya. Penentuan jenis turbin untuk PLTMH juga dapat secara langsung melalui grafik dibawah berikut setelah diketahui nilai kecepatan spesifik dari cara perhitungan diatas



Sumber <http://europa.eu.int/en/comm/dg17/hydro/avman2.pdf>

Grafik 2.4 Pemilihan tipe turbin untuk PLTMH

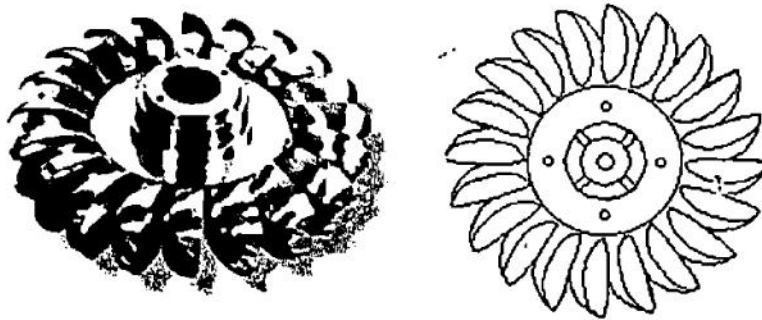
2.5 Sudu Turbin dan Jenis –jenis Sudu Turbin

Sudu (blade) merupakan bagian turbin yang berfungsi untuk menggerakkan roda turbin akibat adanya fluida kerja (air, angin, uap, dll) yang menggerakkannya, atau mengubah energi potensial menjadi energi kinetik, dimana bentuk sesuai dengan fluida kerja yang menggerakkannya dengan dimensi sesuai dengan kebutuhan untuk menggerakkan roda turbin.

2.5.1 Jenis – Jenis Sudu Turbin

2.5.1.1 Sudu Turbin Pelton

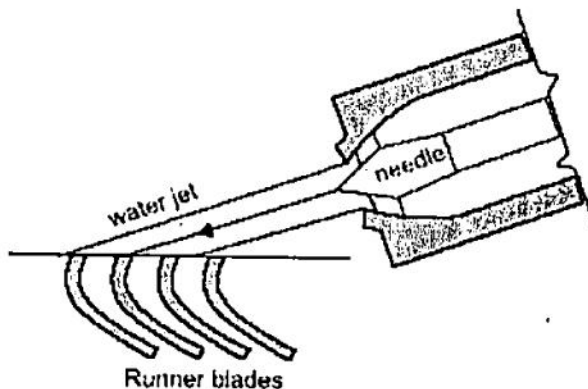
Bentuk sudu turbin terdiri dari dua bagian yang simetris. Sudu dibentuk sedemikian sehingga pancaran air akan mengenai tengah-tengah sudu dan pancaran air tersebut akan berbelok ke kedua arah sehingga bisa membalikkan pancaran air dengan baik dan membebaskan sudu dari gaya-gaya samping



Gambar 2.5 Sudu Turbin Pelton

2.5.1.2 Sudu Turbin Turgo

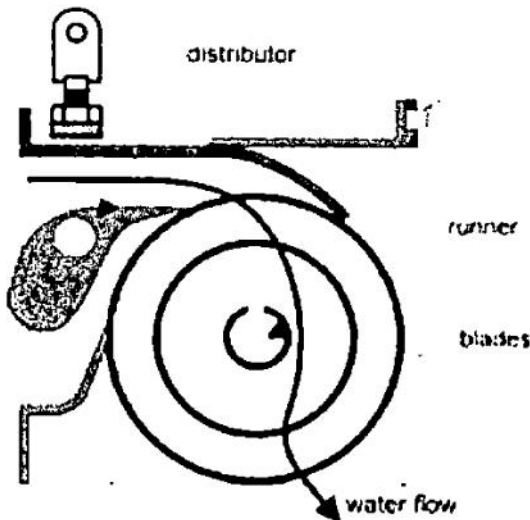
Bentuk sudu sama dengan turbin pelton namun pancaran air nosel membentur sudu pada sudut 20° .



Gambar 2.6 Sudu Turbin Turgo

2.5.1.3 Sudu Turbin Crosflow

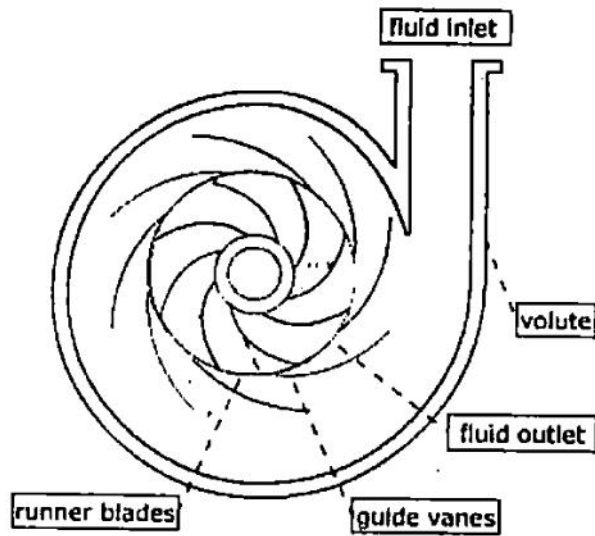
Pancaran air masuk turbin dan mengenai sudu sehingga terjadi konversi energi kinetik menjadi energi mekanis. Air mengalir keluar membentur sudu dan memberikan energinya (lebih rendah dibanding saat masuk) kemudian meninggalkan turbin. Runner turbin dibuat dari beberapa sudu yang dipasang pada sepasang piringan parallel.



Gambar 2.7 Sudu Turbin Crosflow

2.5.1.4 Sudu Turbin Francis

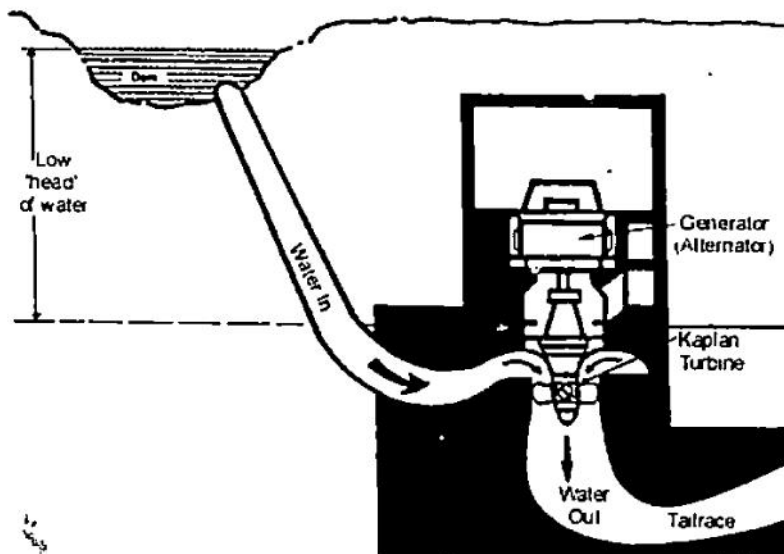
Turbin Francis menggunakan sudu pengarah. Sudu pengarah mengarahkan air masuk secara tangensial. Sudu pengarah pada Turbin Francis dapat merupakan suatu sudu pengarah yang tetap ataupun sudu pengarah yang dapat diatur sudutnya. Untuk penggunaan pada berbagai kondisi aliran air penggunaan sudu pengarah yang dapat diatur merupakan pilihan yang tepat



Gambar 2.8 Sudu Turbin Francis

2.5.1.5 Sudu Turbin Kaplan

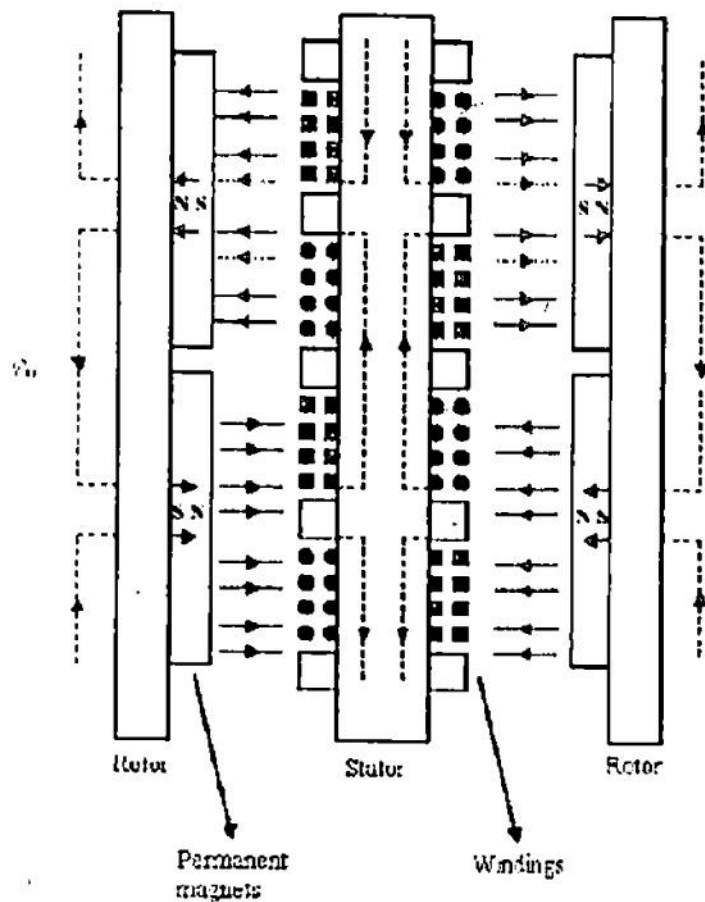
Turbin Kaplan dan propeller merupakan turbin rekasi aliran aksial. Turbin ini tersusun dari propeller seperti pada perahu.. Propeller tersebut biasanya mempunyai tiga hingga enam sudu.



Gambar 2.9 Sudu Turbin Kaplan

2.6 Teori Generator

Generator adalah alat yang dipergunakan untuk merubah energi mekanik putaran poros menjadi energi listrik. Konversi tersebut berlangsung melalui medium medan magnet. Secara garis besar generator terdiri dari 2 bagian yaitu stator dan rotor yang menentukan jenis dan karakteristik generator.

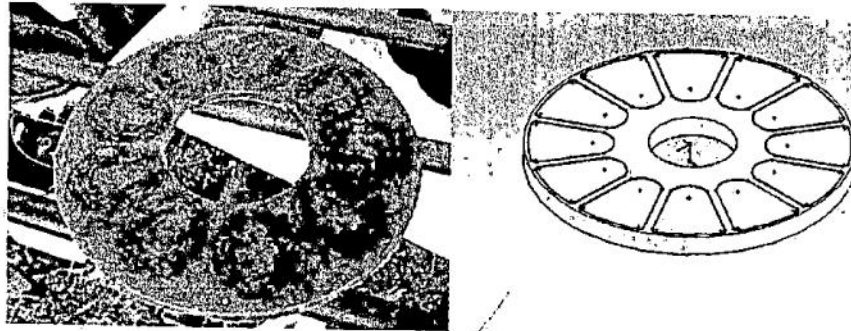


Gambar 2.10 Konsep Generator

2.6.1 Stator

Stator adalah bagian yang diam dari suatu generator terbuat dari terdiri dari beberapa *coil* atau kumparan dari kawat tembaga yang dilapisi oleh bahan

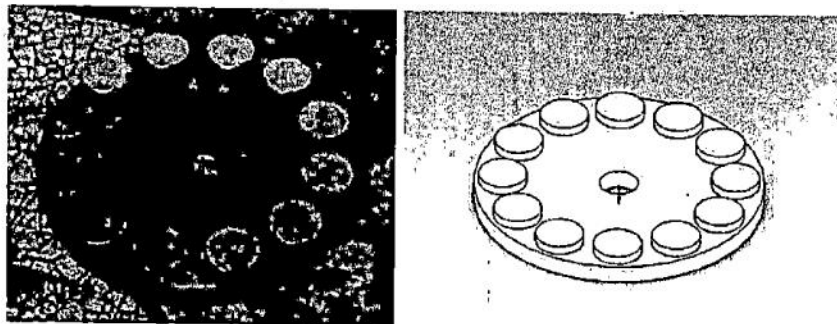
isolator. Jumlah kumparan menentukan tegangan yang bisa dikeluarkan oleh generator tersebut.



Gambar 2.11 Contoh stator

2.6.2 Rotor

Rotor terbuat dari besi karbon yang ditempatkan magnet permanent (NdFeB) pada permukaannya dengan jumlah tertentu. Pada generator ini terdapat 2 buah rotor yang mengapit stator dengan polaritas medan magnet yang berlawanan sehingga fluks magnet yang melewati kumparan bisa diperkuat. Antara 2 rotor tersebut disambungkan dengan poros yang kemudian poros inilah yang diputar oleh tenaga penggerak, baik itu kincir angin/air ataupun sumber penggerak yang lain.



Gambar 2.12 Contoh Rotor

2.6.3 Prinsip kerja generator sinkron

Pada generator sinkron kutub-kutub pembangkit medan magnet (rotor) berputar terhadap jangkar (stator). Selama rotor berputar terjadi perubahan fluks magnet yang membangkitkan tegangan listrik yang lebih dikenal dengan Gaya Gerak Listrik (GGL).

Untuk menghasilkan fluks pada kumparan medan magnet dapat diperoleh dengan 2 cara :

- a. Rotor generator sinkron adalah magnet permanen
- b. Mengalirkan arus searah (DC) ke rotor untuk membangkitkan medan magnet pada kumparan medan (eksitasi) yang biasanya diberikan terpisah oleh sumber lain

Output dari generator adalah tegangan dan frekuensi. Untuk tegangan sangat dipengaruhi oleh adanya eksitasi yang diberikan . Sedangkan frekuensi dipengaruhi oleh putaran generator.

Selangka hubungan antara frekuensi dengan kecepatan generator dapat dilihat dari rumus :

$$n = \frac{120f}{p} \quad (\text{Sumber : Dioko Achvanto Mesin-Mesin Listrik 1984})$$

2.7 Kabel

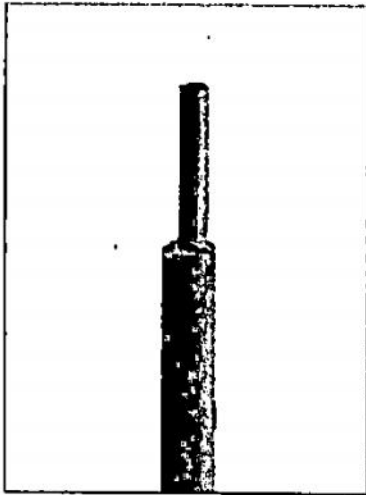
Kabel yang digunakan dalam elektro teknik banyak sekali ragamnya. Karena bahan –bahan isolasi plastik masih terus berkembang, selalu ada saja tambahan jenis-jenis kabel baru.

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

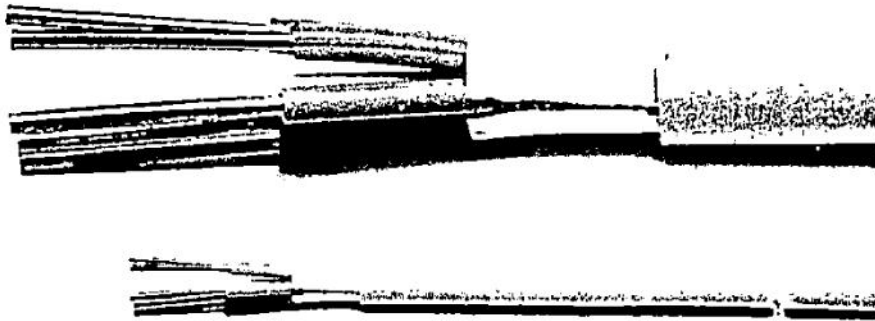


Gambar 2.13 Kabel NYA

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

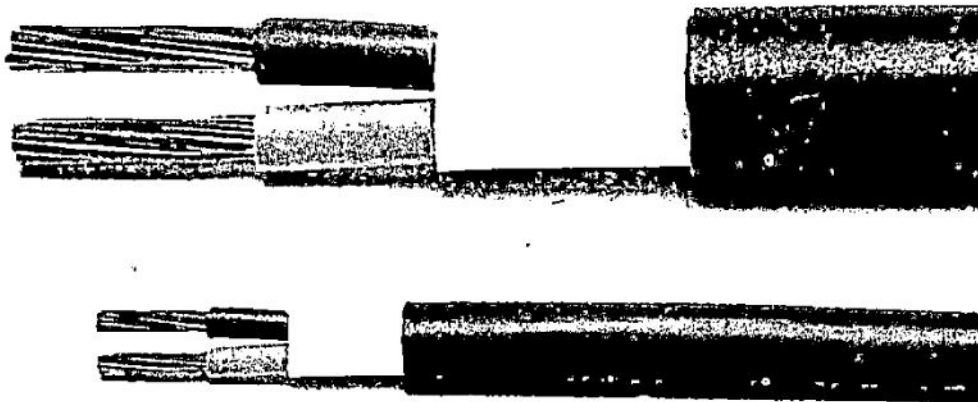
Memiliki lapisan isolasi PVC (**biasanya warna putih atau abu-abu**), ada yang berinti 2, 3 atau 4. Kabel NYM memiliki lapisan isolasi dua lapis, sehingga tingkat keamanannya lebih baik dari kabel NYA (harganya lebih mahal dari NYA) Kabel ini dapat ditempatkan di lingkungan yang kering dan basah namun



Gambar 2.14 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 2.15 Kabel NYY

2.8 Teori Kumparan dan Magnet

2.8.1 Hukum Faraday

Jika suatu batang magnet digerakkan mendekati atau menjauhi kumparan pada sebuah galvanometer, maka jarum galvanometer akan menyimpang dengan pola yang sama. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa gerak relative antara batang magnet dan kumparan menimbulkan arus (arus induksi) dan GGL (Gaya Gerak Listrik) induksi pada kumparan. Pernyataan tersebut lebih dikenal dengan hukum Faraday.

Gaya Gerak Listrik (GGL) sebanding terhadap perubahan fluks magnetic yang bergerak melintasi loop seluas A yang dinyatakan sebagai berikut:

$$\Phi_B = BA \cos \theta$$

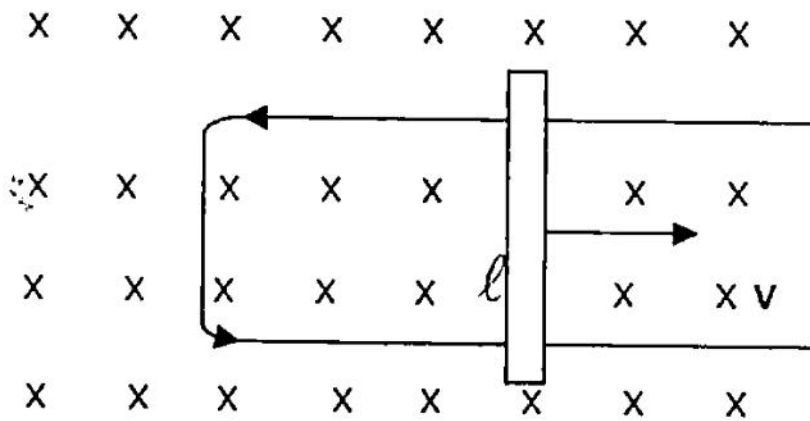
Dimana Φ_B = Fluks magnet (Tesla)

B = Kerapatan medan magnet

A = Luas penampang (m^2)

2.8.2 Gaya Gerak Listrik (GGL)

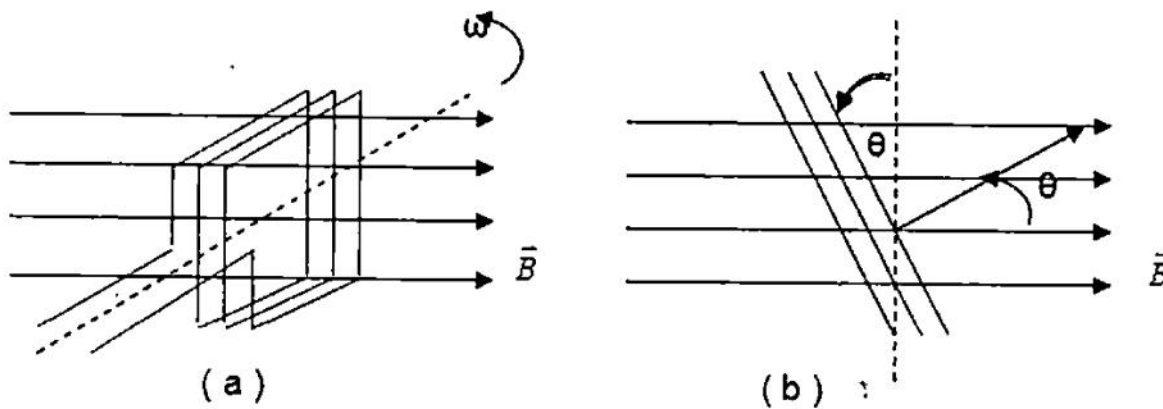
Jika suatu konduktor berbentuk dalam medan magnet B diletakkan konduktor lain yang dapat bergerak dengan kecepatan v lihat Gambar 2.16 dan menempuh jarak $x = v.t$ dalam waktu t dan luas bertambah $A = l.x = l.v.t$ dalam waktu t maka timbul GGL induksi sebesar



Gambar 2.16 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 kumparan tersebut lihat Gambar 2.17.



Gambar 2.17 (a) Dasar kerja generator listrik

(b) Kumparan dilihat dari samping.

Jika kumparan dengan kecepatan angular konstan ω maka sudutnya adalah

Dan fluks yang berubah terhadap waktu adalah $\Phi = B.A \cos \omega t$.

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

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

$$\varepsilon = N.B.A.\omega \sin \omega t$$

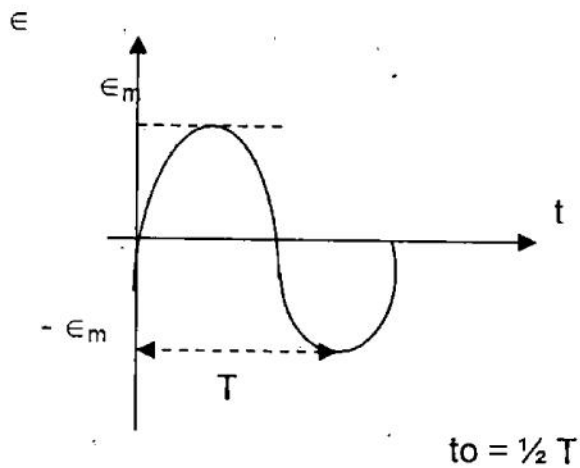
Jika harga maksimum (amplitudo) ε yaitu $NBA \omega$ dinyatakan dengan ε_m maka persamaan dinyatakan :

$$\varepsilon = \varepsilon_m \sin \omega t$$

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



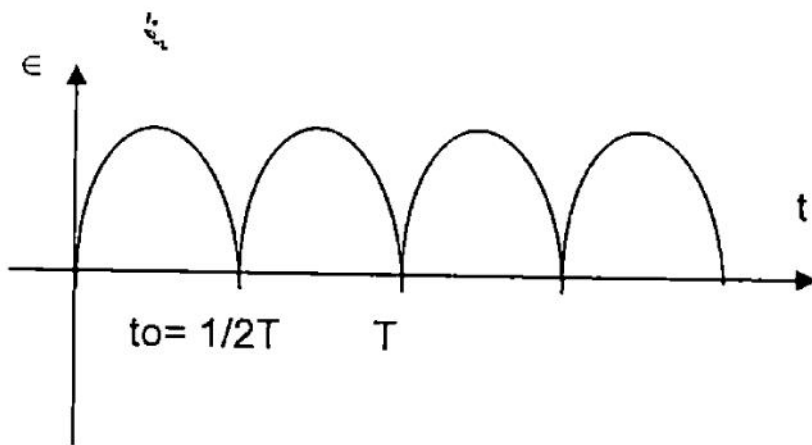
Gambar 2.18 Grafik GGL yang dihasilkan oleh generator bolak-balik

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 :

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

$$\text{Atau } E = E_m |\sin \omega t|$$

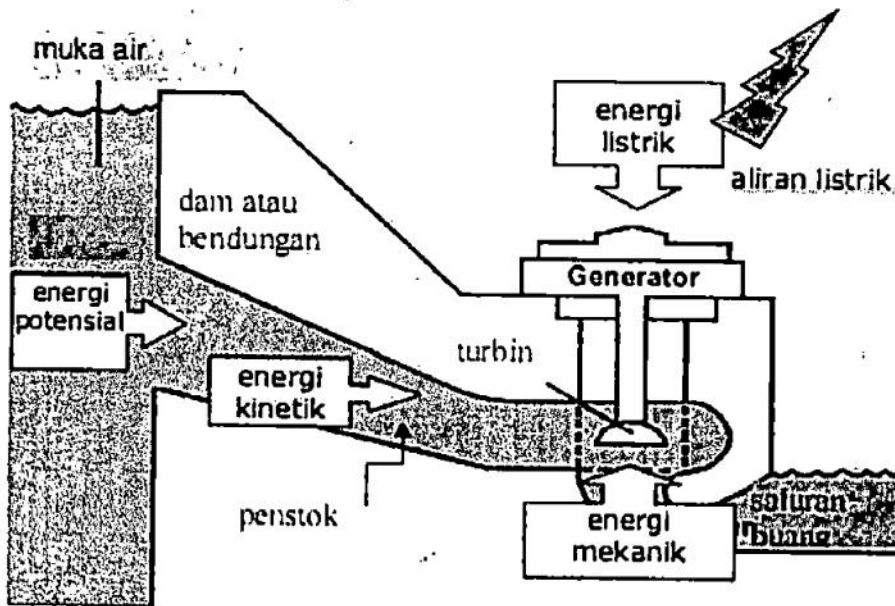
Grafik GGL induksi pada generator searah



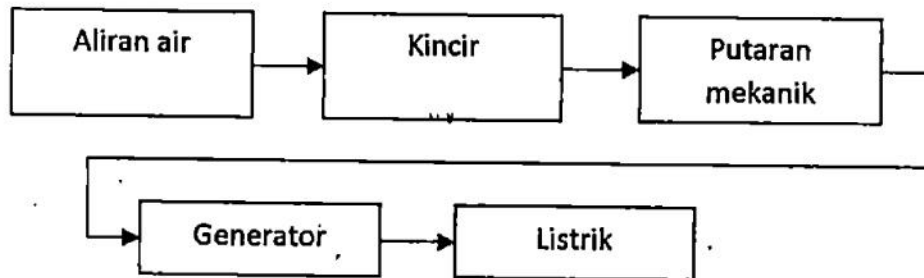
Gambar 2.19 Grafik GGL induksi pada generator searah

2.9 Proses 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 perubahan energi adalah disebut dengan efisiensi. Proses konversi energi dalam sistem Pembangkit Mikrohidro dapat dilihat pada gambar blok dibawah ini:



Gambar 2.20a Proses konversi Energi



Gambar 2.20b Proses konversi Energi Aliran air menjadi Listrik

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 poros generator listrik, maka energi mekanik diubah menjadi energi listrik, yang kemudian listrik ini dapat digunakan untuk menggerakkan bermacam-macam beban. (Sumber : Drs. Winarno Dr,M.Pd, Buku Ajar Mesin Konversi Energi UNS 2008)