

BAB II

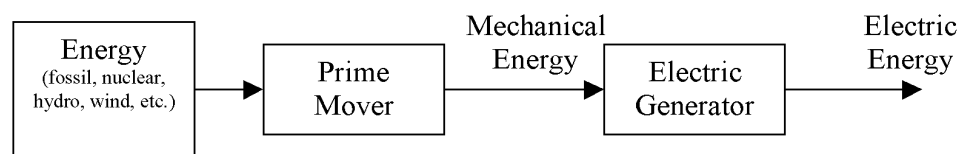
LANDASAN TEORI

2.1. Proses Pembangkitan Energi Listrik

Pembangkitan tenaga listrik sebagian besar dilakukan dengan cara memutar generator sinkron sehingga didapat tenaga listrik dengan tegangan bolak-balik tiga fasa. Energi mekanik yang diperlukan untuk memutar generator sinkron didapat dari mesin penggerak generator atau penggerak mula (*prime mover*). Mesin penggerak generator dalam praktiknya banyak digunakan : mesin diesel, turbin uap, turbin air dan turbin gas. Energi yang didapat mesin-mesin penggerak generator ini didapat dari

1. Proses pembakaran bahan bakar (untuk mesin-mesin termal)
2. Air terjun (untuk turbin air)

Dengan demikian mesin penggerak generator sesungguhnya melakukan konversi energi primer menjadi energi mekanik penggerak generator.



Gambar 2.1. Diagram alir proses pembangkitan energi listrik

2.2. Potensi Tenaga 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.

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 dengan muka air keluar dari kincir air/turbin air. Total energi yang tersedia dari suatu reservoir air adalah merupakan energi potensial air yaitu :

$$E = mgh \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan

m adalah massa air

h adalah head [m]

g adalah percepatan gravitasi [m/s^2]

Daya merupakan energi tiap satuan waktu $\left(\frac{E}{t}\right)$, sehingga persamaan (2.1) dapat dinyatakan sebagai :

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

Dengan mensubsitusikan P terhadap $\left(\frac{E}{t}\right)$ dan mensubsitusikan ρQ

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

$$P = \rho.Q.g.h \dots\dots\dots(2.2)$$

dengan :

P adalah daya [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

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan

v adalah kecepatan aliran air [m/s]

Daya air yang tersedia dinyatakan sebagai berikut :

$$P = \frac{1}{2}\rho Qv^2 \dots\dots\dots(2.4)$$

atau dengan menggunakan persamaan kontinuitas $Q = Av$ maka

$$P = \frac{1}{2}\rho Av^3 \dots\dots\dots(2.5)$$

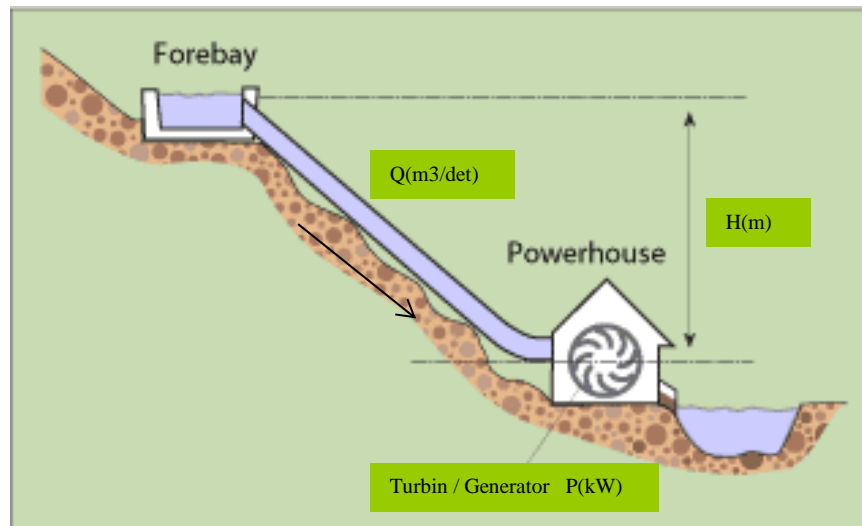
dengan

A adalah luas penampang aliran air [m^2]

2.3. Pembangkit Listrik Tenaga Air

Dalam PLTA, potensi air dikonversikan menjadi tenaga listrik, mula-mula potensi air dikonversikan menjadi tenaga mekanik dalam turbin air, kemudian turbin air memutar generator yang membangkitkan energi listrik.

Gambar 2.2. menggambarkan secara skematis bagaimana potensi tenaga air, yaitu sejumlah air yang terletak pada ketinggian tertentu diubah menjadi tenaga mekanik dalam turbin air.



Gambar 2.2.. Proses konversi energi dalam PLTA / PLTMH

Perhitungan daya yang dibangkitkan adalah :

$$\text{Daya teoritis} \quad P = k \cdot H \cdot Q \quad [\text{kW}] \dots \dots \dots (2.6)$$

$$\text{Daya turbin} \quad P = k \cdot \eta_t \cdot H \cdot Q \quad [\text{kW}] \dots \dots \dots (2.7)$$

$$\text{Daya generator} \quad P = k \cdot \eta_t \cdot \eta_g \cdot H \cdot Q \quad [\text{kW}] \dots \dots \dots (2.8)$$

dimana :

P = daya [kW]

H = tinggi jatuh efektif maksimum [meter]

Q = debit maksimum turbin [m^3/s]

η_t = efisiensi turbin

η_g = efisiensi generator

k = konstanta

Konstanta k dihitung berdasarkan pengertian bahwa 1 daya kuda = 75 kgm/detik dan 1 daya kuda = 0,736 kW sehingga apabila ingin dinyatakan dalam kW, sedangkan tinggi terjun H dinyatakan dalam meter dan debit air dinyatakan dalam m^3/s , maka,

$$\text{konstanta } k = \frac{m^3}{\text{det}} \times \frac{1000kg}{m^3} \times m \times \frac{1dk}{75 \frac{kgm}{\text{det}}} \times 0.736 \frac{kW}{dk} = 9,813 = 9,8$$

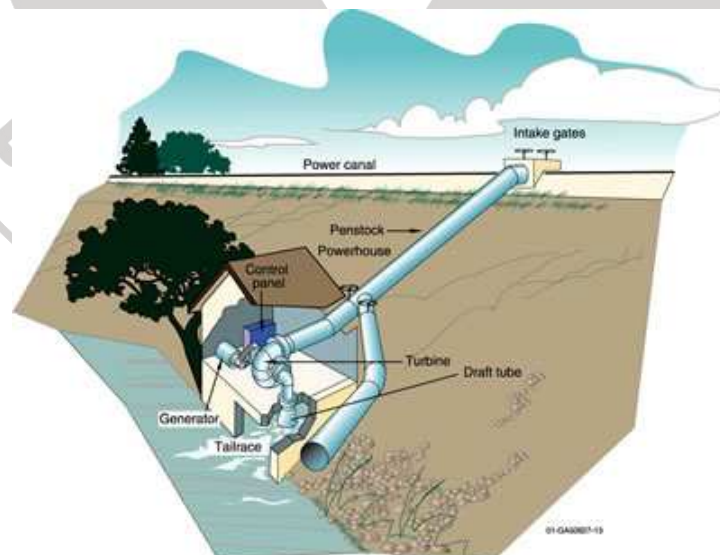
2.4. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro-Hidro (PLTMH)

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

Biasanya 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,

Seperti dikatakan di atas, 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 1 MW, sedangkan untuk minihidro daya keluarannya berkisar antara 1 sampai 5 MW. Secara teknis, Mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sumber energi), turbin dan generator. Air yang mengalir dengan kapasitas tertentu disalurkan dari ketinggian tertentu menuju rumah instalasi (rumah turbin / *power house*). Di rumah instalasi air tersebut akan menumbuk turbin dimana turbin sendiri, dipastikan akan menerima energi air tersebut dan mengubahnya menjadi energi mekanik berupa berputarnya poros turbin. Poros yang berputar tersebut kemudian ditransmisikan ke generator dengan menggunakan kopling. Dari generator akan dihasilkan energi listrik yang akan masuk ke sistem kontrol arus listrik sebelum dialirkan ke rumah-rumah atau keperluan lainnya (beban).



<http://hydropower.com>

Gambar 2.3. Skema PLTMH

Kebanyakan PLTMH dibangun dengan sistim *run off river*, tidak dengan kolam tando (*reservoir*) dimana air sungai dialihkan dengan menggunakan dam yang dibangun memotong aliran sungai, sehingga daya yang dibangkitkan tergantung dari debit air sungai. Akan tetapi biaya pembangunan *run off river* lebih ekonomis dibandingkan dengan sistim *reservoir* yang memerlukan bedungan yang besar dan area genangan yang luas.

2.5. Komponen-komponen PLTMH

Komponen-komponen besar dari Skema PLTMH terdiri dari :

1. *Intake* (Bendungan Pengalih)

Bendungan pengalih berfungsi untuk mengalihkan air melalui sebuah pembuka di bagian sisi sungai ('*Intake*' pembuka) ke dalam sebuah bak pengendap (*Settling Basin*).

2. *Feeder Canal* (Saluran pembawa)

Saluran pembawa mengikuti kontur dari sisi bukit untuk menjaga elevasi dari air yang disalurkan.

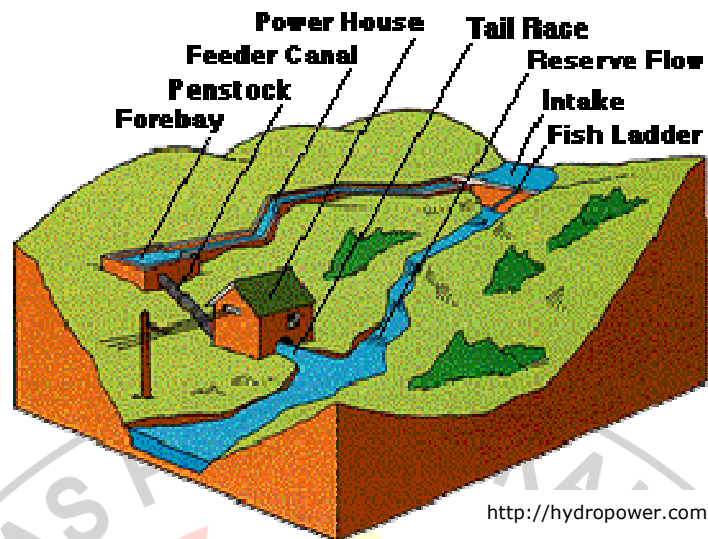
3. *Forebay* (Bak Penenang)

Fungsi dari bak penenang adalah untuk mengatur perbedaan keluaran air antara sebuah penstock dan headrace, dan untuk pemisahan akhir kotoran dalam air seperti pasir, kayu-kayuan.

4. *Penstock* (Pipa Pesat)

Pipa pesat (*penstock*) adalah pipa yang berfungsi untuk mengalirkan air dari bak penenang (*forebay tank*).

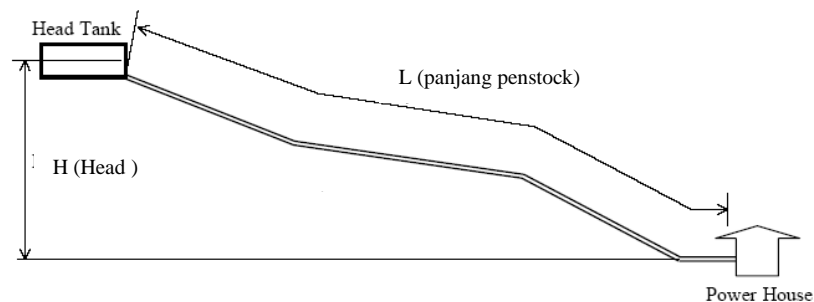
5. *Power House* (Rumah Pembangkit).



Gambar 2.4. Komponen-komponen utama PLTMH

2.6. Pipa pesat (*penstock*)

Perencanaan pipa pesat mencakup pemilihan material, diameter, tebal dan jenis sambungan (*coordination point*). Pemilihan material berdasarkan pertimbangan kondisi operasi, aksesibility, berat, sistem penyambungan dan biaya. Diameter pipa pesat dipilih dengan pertimbangan keamanan, kemudahan proses pembuatan, ketersediaan material dan tingkat rugi-rugi (*friction losses*) seminimal mungkin. Ketebalan penstock dipilih untuk menahan tekanan hidrolis dan *surge pressure* yang dapat terjadi.



Gambar 2.5. Pemasangan penstock

2.6.1. Rugi-rugi (*losses*) dan ketebalan Steel Penstock¹

Untuk mengetahui Tinggi jatuh efektif (*Head net*) dan efisiensi penstock maka dapat dipergunakan persamaan-persamaan empiris berikut :

Velocity in penstock :

$$V = 1273 \left(\frac{Q_t}{d^2} \right) \quad [\text{m/s}] \dots \dots \dots (2.9)$$

Friction head loss in penstock :

$$\delta H_f = 12,8 \times \left(\frac{V^2 \cdot L}{d} \right) \times \frac{1}{\left(\log \left[\frac{1}{37d} + \frac{1}{(93.8V \cdot d)^{0.9}} \right] \right)^2} \quad [\text{m}] \dots (2.10)$$

Net Head at end of pensctock :

$$H_n = H_g - (\delta H_f + \delta H_t) \quad [\text{m}] \dots \dots \dots (2.11)$$

δH_t adalah *turbulence losses*, dimana rugi ini tergantung pada material dan konstruksi pemasangan penstock.

Penstock efficiency :

$$\eta_{pen} = \frac{H_n}{H_g} \times 100 \quad [\%] \dots \dots \dots (2.12)$$

dimana :

Q_t = Discharge / Flow

H_g = Gross Head

L = Penstock length

d = Penstock internal diameter

¹ Sumber : <http://hydro.spec/ibex/version:pen.2feb98> PENSTOCK STEEL LOSSES & THICKNESS CALCULATION

Wave velocity in penstock :

$$V_{wave} = \sqrt{\frac{2,1 \times 10^8 \cdot t}{(100t + d)}} \quad [\text{m/s}] \dots \dots \dots (2.13)$$

Penstock critical time :

$$T_{crit} = \frac{2L}{V_{wave}} \quad [\text{s}] \dots \dots \dots (2.14)$$

Surge head for $T_{close} \leq T_{crit}$:

$$H_{surge} = \frac{V_{wave} \cdot z \cdot V}{980} \quad [\text{m}] \dots \dots \dots (2.15)$$

atau

untuk $T_{close} \geq T_{crit}$:

$$K_c = \left(\frac{L \cdot z \cdot V}{980 H_g \cdot T_{close}} \right)^2$$

Surge head for $T_{close} \geq T_{crit}$:

$$H_{surge} = H_g \cdot \left(\frac{K_c}{2} + \sqrt{K_c + \frac{K_c^2}{4}} \right) \quad [\text{m}] \dots \dots \dots (2.16)$$

Total head at surge :

$$H_{tot} = H_{surge} + H_g \quad [\text{m}] \dots \dots \dots (2.17)$$

Required penstock thickness :

$$t_{req} = \frac{H_{tot} \cdot d \cdot SF_{tot}}{83700} + t_{cor} \quad [\text{mm}] \dots \dots \dots (2.18)$$

dimana :

t = Penstock thickness

z = % o flow stopped

T_{close} = Valve closure time

t_{cor} = Corrosion allowance

SF_{tot} = Overall safety factor

Persamaan tersebut diatas megacu pada nilai konstanta sebagai berikut :

Grafity	[g]	9.8	m/s
Bulk modulus of water	[K_w]	2.1	KN/mm ²
Density of water	[ro]	1000	Kg/m ³
Kinematic viscosity of water (5 ⁰ C)	[nu]	1.53	cSt
Penstock roughness coefficient	[k]	0.1	mm
Penstock Young's Modulus	[E_p]	210	KN/mm ²
Penstock UTS	[σ_{ult}]	410	N/mm ²

2.6.2. Diameter Penstock

Diameter minimum pipa pesat dapat dihitung dengan persamaan

$$D = \left(\frac{10.3.n.2Q.2L}{H} \right) 0.1875 \text{ [mm]} \dots\dots\dots(2.19)$$

dimana:

n = koefisien kekasaran (*roughness*)

Q = debit desain sebesar [m³ / s]

L = panjang penstock [m]

H = tinggi jatuhan air (*gross head*) [m]

Tabel 2.1. Material Pipa Pesat

Material	Young's modulus of elasticity E (N/m ²)E9	linear expansion a (n/m QC)E6	Ultimate tensile strength (N/m ²)E6	n
Welded steel	206	12	400	0.012
Polyethylene	0.55	140	5	0.009
Polyvinyl chloride (PVC)	2.75	54	13	3,009
Asbestos cement	n.a	8.1	na	0.011
Cast iron	78.5	10	140	0.014
Ductile iron	16,7	11	340	0.015

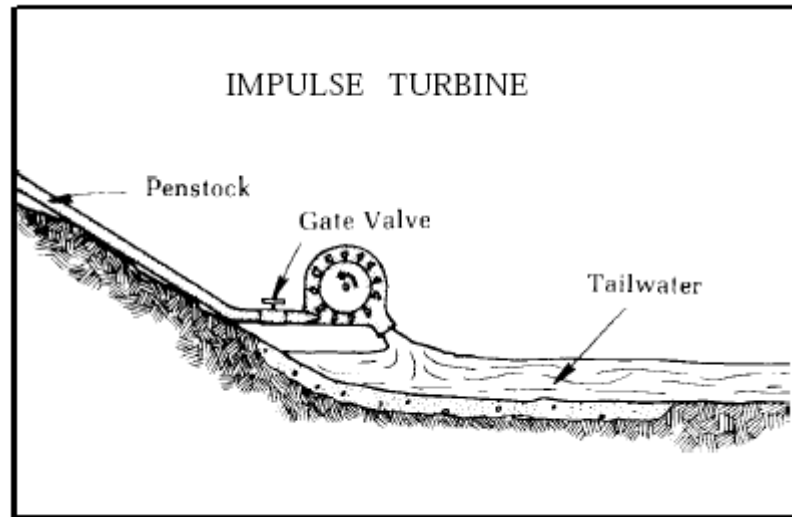
2.7. Turbin Air

Turbin air adalah turbin dengan air sebagai fluida kerja. Air mengalir dari tempat yang lebih tinggi menuju tempat yang lebih rendah. Dalam hal tersebut air memiliki energi potensial. Dalam proses aliran di dalam pipa, energi potensial berangsur-angsur berubah menjadi energi kinetik. Di dalam turbin energi kinetik air diubah menjadi energi mekanis, dimana air memutar roda turbin.

2.7.1. Jenis turbin

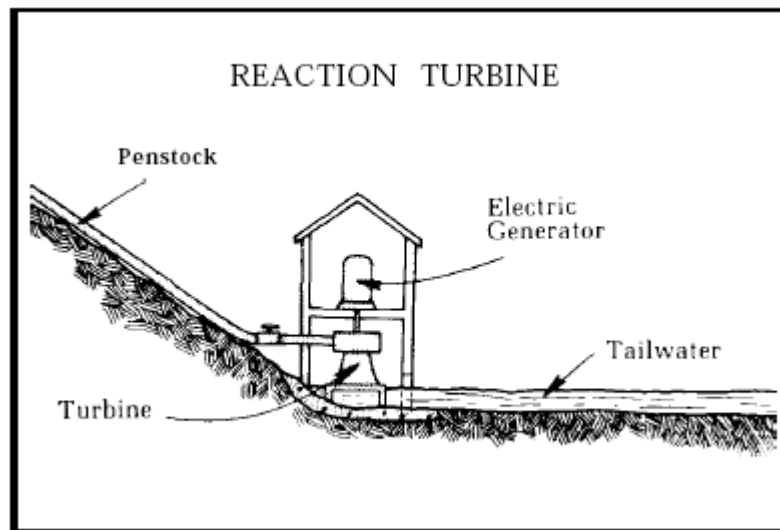
Turbin air dibedakan dalam dua golongan utama, yaitu dipandang dari segi pengubahan momentum fluida kerjanya,

1. Turbin impuls
2. Turbin reaksi



NRAFS- Small

Gambar 2.6. Cara kerja turbin Impuls

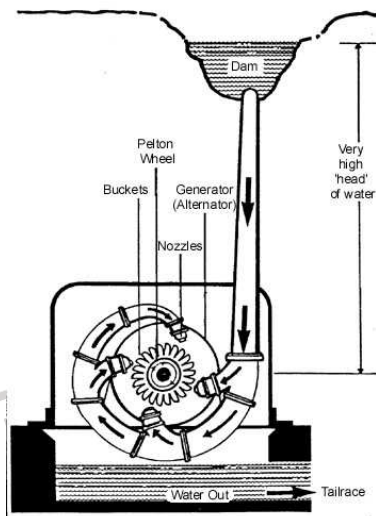


NRAFS- Small

Gambar 2.7. Cara kerja turbin Reaksi

2.7.1.1. Turbin Impuls

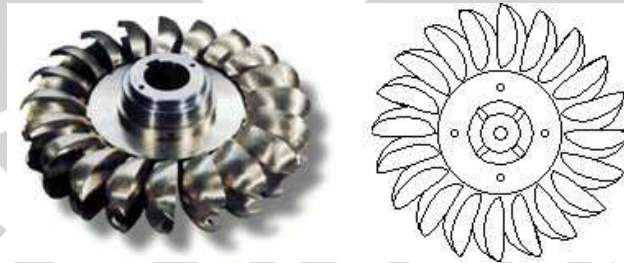
Turbin impuls adalah turbin air yang cara bekerjanya dengan merubah seluruh energi air (yang terdiri dari energi potensial + tekanan + kecepatan) yang tersedia menjadi energi kinetik untuk memutar turbin, sehingga menghasilkan energi puntir. Contoh turbin jenis impuls adalah turbin Pelton dan turbin Turgo.



Gambar 2.8. Turbin Pelton

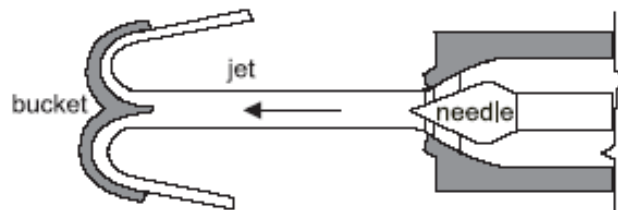
Sumber : <http://rise.org.au/info/tech/hydro/large.html>

Turbin Pelton terdiri dari satu set sudu jalan yang diputar oleh pancaran air yang disemprotkan dari satu atau lebih alat yang disebut nosel. Turbin Pelton adalah salah satu dari jenis turbin air yang paling efisien. Turbin Pelton adalah turbin yang cocok digunakan untuk head tinggi.



Gambar 2.8a. Nozle

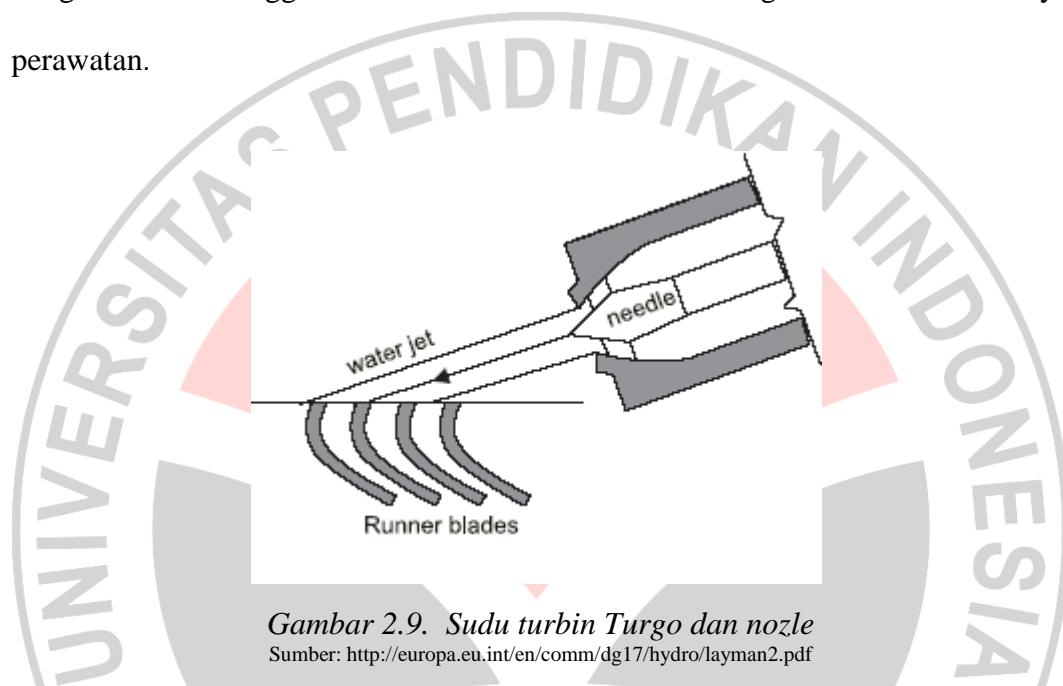
Sumber: <http://europa.eu.int/en/comm/dg17/hydro/layman2.pdf>



Gambar 2.8b. Nozle

Sumber: <http://europa.eu.int/en/comm/dg17/hydro/layman2.pdf>

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



Gambar 2.9. Sudu turbin Turgo dan nozle
 Sumber: <http://europa.eu.int/en/comm/dg17/hydro/layman2.pdf>

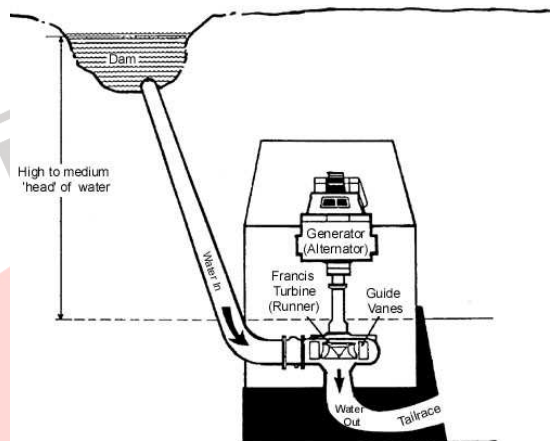
2.7.1.2. Turbin Reaksi

Yang dimaksud dengan turbin reaksi adalah turbin air dengan cara kerjanya merubah seluruh energi air yang tersedia menjadi energi puntir. Turbin air reaksi dibagi menjadi dua jenis yaitu :

1. Jenis Francis, contoh : Turbin Francis
2. Jenis Propeller
 - a. Sudu tetap (*fixed blade*), turbin jenis ini merupakan turbin generasi pertama dari jenis ini. Karena sudu tidak dapat diatur, maka efisiensinya berkurang jika digunakan pada kisaran debit yang lebar. Oleh karena itu

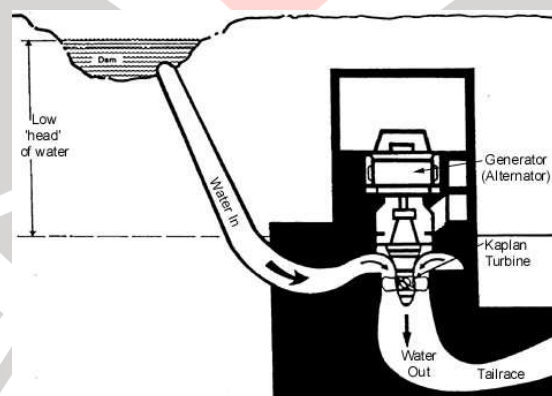
dikembangkan jenis dengan sudu yang dapat diatur agar efisiensi tetap tinggi walaupun kisaran debitnya lebar.

- b. Sudu dapat diatur (*adjustable blade*), contoh turbin ini : Turbin Kaplan, Nagler, Bulb, Moody.



Gambar 2.10. Turbin Francis

Sumber : <http://rise.org.au/info/tech/hydro/large.html>



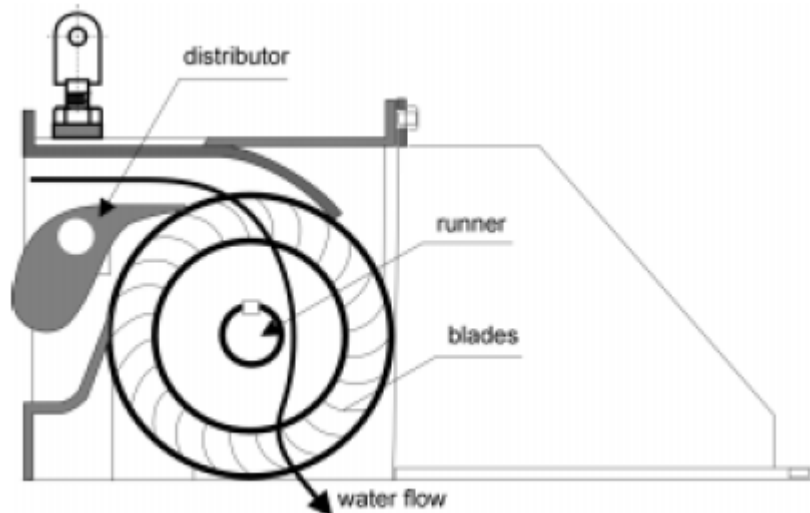
Gambar 2.11. Turbin Kaplan

Sumber : <http://rise.org.au/info/tech/hydro/large.html>

2.7.1.3. Turbin Crossflow

Turbin crossflow adalah turbin jenis impuls, juga dikenal dengan nama Turbin Michell-Banki yang merupakan penemunya. Selain itu juga disebut Turbin

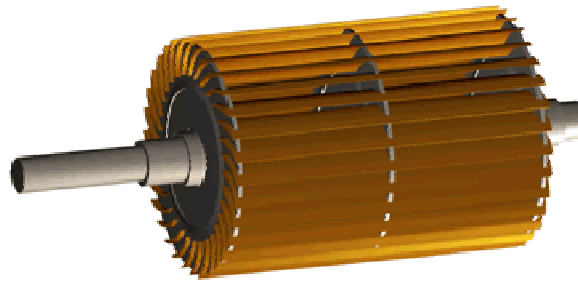
Osberger yang merupakan perusahaan yang memproduksi turbin crossflow. Turbin crossflow dapat dioperasikan pada debit 20 liter/detik hingga 10 m³/detik dan head antara 1 s/d 200 m.



Gambar 2.12. Turbin Crossflow

Sumber: <http://europa.eu.int/en/comm/dg17/hydro/layman2.pdf>

Turbin crossflow menggunakan nozle persegi panjang yang lebarnya sesuai dengan lebar runner. Pancaran air masuk turbin dan mengenai sudu sehingga terjadi konversi energi kinetik menjadi energi mekanis. Air mengalir keluar membentur sudu dan memberikan energinya (lebih rendah dibanding saat masuk) kemudian meninggalkan turbin. Runner turbin dibuat dari beberapa sudu yang dipasang pada sepasang piringan paralel.



Gambar 2.13. Sudu Turbin Crossflow

Sumber: <http://home.carolina.rr.com/microhydro>

Tabel 2.2. Pengelompokan Turbin

	High head	Medium head	Low head
Impulse turbines	<u>Pelton</u> <u>Turgo</u>	<u>Cross-flow</u> <u>Multi-jet Pelton</u> <u>Turgo</u>	<u>Cross-flow</u>
Reaction turbines		<u>Francis</u>	<u>Propeller</u> <u>Kaplan</u>

2.7.2. Karakteristik turbin

Karakteristik suatu turbin dinyatakan secara umum oleh enam buah konstanta yaitu :

1. Rasio Kecepatan (ϕ)
2. Kecepatan Satuan (Nu)
3. Debit satuan (Qu)
4. Daya satuan (Pu)
5. Kecepatan spesifik (Ns)
6. Diameter spesifik (Ds)

2.7.2.1 Rasio Kecepatan (ϕ)

Rasio Kecepatan (ϕ) adalah perbandingan antara kecepatan keliling linier turbin pada ujung diameter nominalnya dibagi dengan kecepatan teoritis air melalui curat dengan tinggi terjun sama dengan tinggi terjun (H_{netto}) yang bekerja pada turbin.

$$\phi = \frac{V_{linier}}{\sqrt{2gH}} \quad V_{linier} = \frac{N\pi D}{60}$$

maka :

$$\phi = \frac{ND}{84.6\sqrt{H}} \dots\dots\dots(2.20)$$

dimana :

N adalah putaran turbin [rpm]

D adalah diameter karakteristik turbin [m], umumnya diameter nominal

H adalah tinggi terjun netto/sfektif [m]

2.7.2.2. Kecepatan satuan (Nu)

Kecepatan satuan (Nu) adalah kecepatan putar turbin yang mempunyai putar turbin yang mempunyai diameter (D) satu satuan panjang dan bekerja pada tinggi terjun (H_{netto}) satu satuan panjang.

Dari persamaan rasio kecepatan diperoleh korelasi :

$$N = 84.6\phi \frac{\sqrt{H}}{D}$$

Dengan memasukan nilai $D = 1$ m dan $H = 1$ m, maka :

$$Nu = 84.6\phi$$

dan didapat persamaan :

$$Nu = \frac{ND}{\sqrt{H}} \dots\dots\dots(2.21)$$

2.7.2.3 Debit satuan (Qu)

Debit yang masuk turbin secara teoritis dapat diandaikan sebagai debit yang melalui suatu curat dengan tinggi terjun sama dengan tinggi terjun (H_{netto}) yang bekerja pada turbin. Oleh karena itu debit yang melalui turbin dapat dinyatakan sebagai :

$$Q = C_d \frac{1}{4} \pi D^2 \sqrt{2gH}$$

$$= C_d D^2 \sqrt{H}$$

C_d = koefisien debit

Debit satuan (Qu) adalah debit turbin yang mempunyai diameter (D) satu satuan panjang dan bekerja pada tinggi terjun (H_{netto}) satu satuan panjang.

$$Qu = C_d \frac{1}{4} \pi \sqrt{2g}$$

maka :

$$Qu = \frac{Q}{D^2 \sqrt{H}} \dots\dots\dots(2.22)$$

2.7.2.4. Daya satuan (Pu)

Daya (P) yang dihasilkan turbin dapat dinyatakan sebagai

$$P = \eta.Q.H\gamma$$

$$= \eta Q u D^2 \sqrt{H.H\gamma} \quad \text{dimana : } Q u D^2 \sqrt{H} \text{ adalah } Q$$

maka :

$$P = \eta \gamma Q u D^2 H^{\frac{3}{2}} \quad \text{dimana : } \eta \gamma Q u \text{ adalah } P_u$$

Dengan η adalah efisiensi turbin, γ adalah berat jenis air [lb/ft³] $\approx 62,5$ lb/ft³

Daya satuan (P_u) adalah daya turbin yang mempunyai diameter (D) satu satuan panjang dan bekerja pada tinggi terjun (H_{netto}) satu satuan panjang.

maka :

$$P_u = \frac{P}{D^2 H^{\frac{3}{2}}} \dots \dots \dots (2.23)$$

2.7.2.5 Kecepatan spesifik (N_s)

Elimiasi diameter (D) dari N_u dan P_u menghasilkan korelasi :

$$N = \sqrt{P_u N_u} \frac{H^{\frac{5}{4}}}{\sqrt{P}} \quad \text{dimana } \sqrt{P_u N_u} \text{ adalah } N_s$$

maka :

$$N_s = \frac{N \sqrt{P}}{H^{\frac{5}{4}}} \dots \dots \dots (2.24)$$

Kecepatan spesifik (N_s) adalah kecepatan putar turbin yang menghasilkan daya sebesar satuan daya pada tinggi terjun (H_{netto}) satu satuan panjang.

Kecepatan spesifik (N_s) dapat dinyatakan dalam sistim metrik maupun sistim Inggris, korelasi dari kedua sistem tersebut dinyatakan dalam

$$N_s (\text{metrik}) = N_s (\text{Inggris}) \times 4.42$$

Catatan : Satuan daya yang digunakan dalam persamaan di atas adalah daya kuda (DK) atau horse power (HP).

Kecepatan spesifik (ns), menunjukkan bentuk dari turbin itu dan tidak berhubungan dengan ukurannya. Hal ini menyebabkan desain turbin baru yang diubah skalanya dari desain yang sudah ada dengan performa yang sudah diketahui. Kecepatan spesifik merupakan kriteria utama yang menunjukkan pemilihan jenis turbin yang tepat berdasarkan karakteristik sumber air.

Kecepatan spesifik dari sebuah turbin juga dapat diartikan sebagai kecepatan ideal, persamaan geometris turbin, yang menghasilkan satu satuan daya tiap satu satuan head.

Kecepatan spesifik turbin diberikan oleh perusahaan (dengan penilaian yang lainnya) dan selalu dapat diartikan sebagai titik efisiensi maksimum. Perhitungan tepat ini menghasilkan performa turbin dalam jangkauan head dan debit tertentu.

2.7.2.6. Diameter spesifik (D_s)

Dari persamaan P_u diperoleh korelasi :

$$D = \frac{1}{\sqrt{P_u}} \frac{\sqrt{P}}{H^{\frac{3}{4}}} \quad \text{dimana } \frac{1}{\sqrt{P_u}} \text{ adalah } D_s$$

Diameter spesifik (D_s) adalah diameter turbin yang menghasilkan daya sebesar satuan daya pada tinggi terjun (H_{netto}) satu satuan panjang.

maka :

$$D_s = \frac{DH^{\frac{3}{4}}}{\sqrt{P}} \dots\dots\dots(2.25)$$

Rumus empiris² untuk menghitung diameter spesifik dari diameter debit (discharge diameter, D_3) untuk turbin reaksi adalah sebagai berikut :

$$\text{Turbin Francis} \quad D_{3s} = \frac{567.85}{N_s^{0.37}} \text{ [cm]}$$

$$\text{Turbin propeller} \quad D_{3s} = \frac{475.72}{N_s^{0.34}} \text{ [cm]}$$

Untuk turbin reaksi, jika diameter spesifiknya telah dihitung dengan persamaan-persamaan di atas, maka diameter debit dapat dihitung dari persamaan

$$D = \frac{1}{\sqrt{Pu}} \frac{\sqrt{P}}{H^{\frac{3}{4}}} \dots\dots\dots(2.26)$$

Diameter debit sangat berguna untuk penentuan dimensi pipa spiral dan pipa isap.

2.7.3. Seleksi awal jenis turbin

Seleksi awal dari jenis turbin yang cocok untuk suatu kecepatan paling tepat dilakukan dengan menggunakan kecepatan spesifik (N_s). Dalam tabel 2.3. disajikan nilai kecepatan spesifik (N_s) untuk berbagai jenis turbin. Tabel 2.3. dapat digunakan sebagai panduan awal pemilihan jenis turbin yang tepat untuk nilai NS tertentu. Nilai N_s yang tercantum dalam tabel bukan nilai eksak.

Untuk setiap jenis turbin terdapat suatu nilai kisaran tinggi terjun dan kecepatan spesifik yang sesuai. Menurut Moody³ korelasi empiris antara tinggi terjun (H) dan kecepatan spesifik (NS) sebagaimana disajikan di bawah ini :

Turbin Francis,

² Dikutip dari buku Hydro Power Engineering, A Textbook for Civil Engineers, James J. Donald, D.Sc., The Ronald Press company, New York, 1984, hal.77.

³ Dikutip dari buku Hydroelectric Handbook, William P. Creager and Joel D. Justin, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1959, hal.826.

$$N_s = \frac{6803}{H + 9.75} + 84 \dots\dots\dots(2.27)$$

Turbin Propeller,

$$N_s = \frac{9431}{H + 9.75} + 155 \dots\dots\dots(2.28)$$

Untuk turbin Francis dapat juga mempergunakan korelasi empiris sebagai mana disarankan White⁴ :

$$N_s = \frac{1542}{\sqrt{H}} \dots\dots\dots(2.29)$$

Dengan H adalah tinggi terjun netto (m) dan N_s adalah kecepatan spesifik metrik.

Tabel 2.3. Jenis Turbin Air dan Kisaran Kecepatan Spesifiknya (N_s)

Jenis Turbin		N_s (metrik)
1. Turbin Impuls	a. Satu jet (turbin Pelton)	4-30
	b. Banyak jet (turbin Doble)	30-70
2. Turbin Reaksi	a. Francis	
	N_s rendah	50-125
	N_s normal	125-200
	N_s tinggi	200-350
	N_s Express	350-500
	b. Propeller	
	Sudu tetap (turbin Nagler)	400-800
	Sudu dapat diatur (turbin Kaplan)	500-1000

Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air selalu diusahakan agar generator dikopel langsung dengan turbin. Atau dengan kata lain putaran turbin terbatas pemilihannya agar dapat dikopel dengan generator. Putaran turbin berhubungan

⁴ Dikutip dari buku Water Power Engineering, H.K. Barrows, S.B., Third Edition, Fourth Impression, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York and London, 1943, hal.244.

dengan spesifik sebagaimana persamaan 2.24 di atas, atau menurut referensi yang lain :

$$ns = \frac{n \cdot P^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{5}{4}}} \quad [\text{rpm}] \dots \dots \dots (2.30)$$

dimana :

ns = putaran spesifik [rpm]

n = putaran turbin [rpm]

P = daya turbin [Bhp]

H = tinggi terjun efektif [m]

Dari nilai spesifik ini dapat ditentukan jenis turbin yang digunakan yang dapat dijelaskan sebagai berikut :

$ns = 4 \div 7$ jenis turbin Pelton

$ns = 80 \div 430$ jenis turbin Perancis

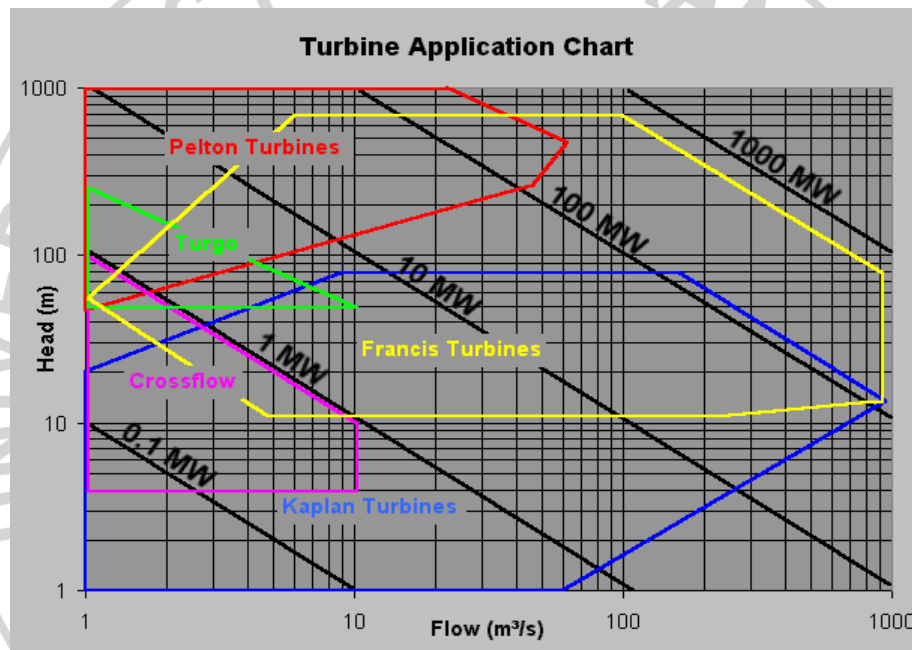
$ns = 300 \div 1000$ jenis turbin Kaplan atau Propeler

Pemilihan putaran spesifik ini sangat berhubungan dengan dimensi peralatannya, yang berarti juga mempengaruhi konstruksi dan harga.

Pemilihan turbin kebanyakan didasarkan juga pada head air yang didapatkan dan kurang lebih pada rata-rata alirannya. Umumnya, turbin impuls digunakan untuk tempat dengan head tinggi, dan turbin reaksi digunakan untuk tempat dengan head rendah. Turbin Kaplan baik digunakan untuk semua jenis debit dan head, efisiensinya baik dalam segala kondisi aliran.

Turbin kecil (umumnya dibawah 10 MW) mempunyai poros horisontal, dan kadang dipakai juga pada kapasitas turbin mencapai 100 MW. Turbin Francis

dan Kaplan besar biasanya mempunyai poros / sudu vertikal karena ini menjadi penggunaan paling baik untuk head yang didapatkan, dan membuat instalasi generator lebih ekonomis. Poros Pelton bisa vertikal maupun horisontal karena ukuran turbin lebih kecil dari head yang di dapat atau tersedia. Beberapa turbin impuls menggunakan beberapa semburan air tiap semburan untuk meningkatkan kecepatan spesifik dan keseimbangan gaya poros.



Gambar 2.14. Grafik beberapa aplikasi turbin (H vs Q)

2.7.4. Dimensi dasar Turbin Cross Flow⁵

Dimensi dasar dari turbin cross flow selain batasan H_{net} dan Q seperti pada gambar grafik 2.14, juga tergantung pada *runner inlet width* (B_r) dan *runner diameter* (D_r).

⁵ Study on Rural Energy Supply with Utilization of Renewable Energy in Rural Areas in the republic of Indonesia. Manual for Micro-hydro power Development, chapter 6 ANNEX 1.

Persamaan untuk mencari runner inlet width :

$$B_r = \frac{1}{q_{11\max} \cdot D} \cdot \frac{Q}{\sqrt{H_{nett}}} \dots\dots\dots(2.31)$$

dimana :

B_r = runner inlet width [m]

$q_{11\max}$ = unit discharge (flow)

Sedangkan untuk kecepatan putar dapat mempergunakan persamaan :

$$n = \frac{n_{11}}{D} \cdot \sqrt{H_{nett}} \dots\dots\dots(2.32)$$

dimana :

n = Kecepatan putar (rotational speed) [rpm]

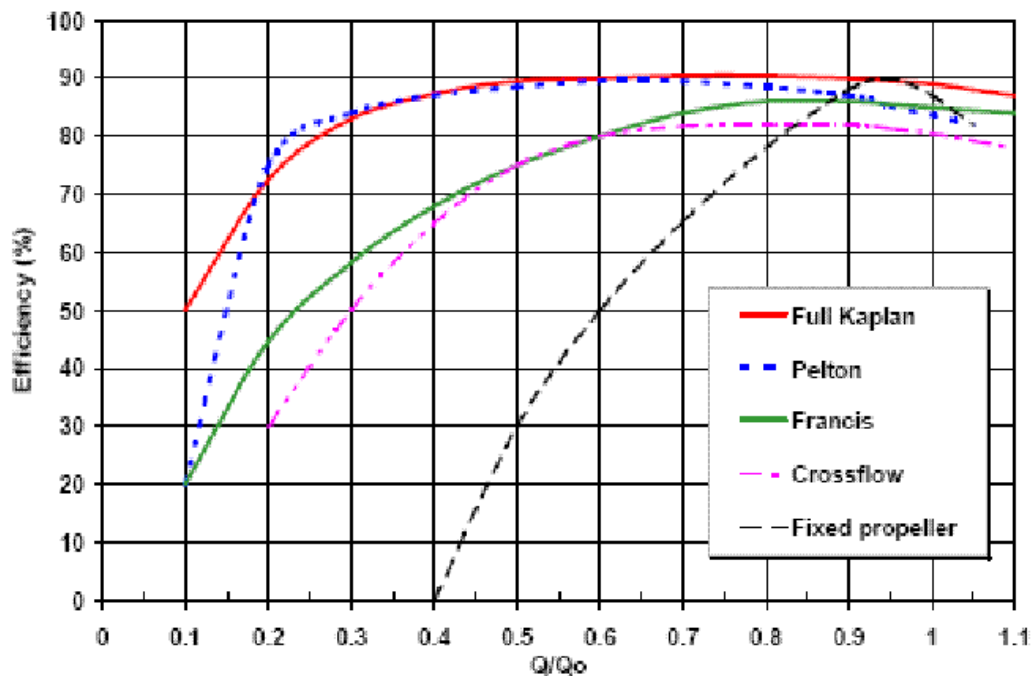
n_{11} = Unit speed [rpm]

2.7.5. Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin tidak tetap nilainya, tergantung dari keadaan beban dan jenis turbinnya. Kinerja dari suatu turbin dapat dinyatakan dalam beberapa keadaan, yaitu : tinggi terjun maksimum, tinggi terjun minimum, tinggi terjun normal, tinggi terjun rancangan. Pada tinggi terjun rancangan turbin akan memberikan kecepatan terbaiknya sehingga efisiensinya mencapai maksimum. Dalam tabel 2.2 disajikan efisiensi turbin untuk berbagai kondisi sebagai gambaran mengenai kisaran nilai efisiensi terhadap beban dan jenis turbin.

Tabel 2.4. Efisiensi turbin untuk berbagai kondisi beban⁶

Jenis Turbin	Ns	% efisiensi pada beberapa kondisi beban					% beban pada efisiensi maximum
		0.25	0.50	0.75	1.00	max	
Impuls (Pelton)	22	81	86	87	85	87.1	70
Francis	75	62	83	88	83	88	75
Francis	110	60	85	90	84	90.2	80
Francis	220	59	83	90	85	91.5	85
Francis	335	54	82	91	86	91.0	87.5
Francis	410	47	71.5	85	87	91.5	92.5
Francis	460	55	74.5	86.5	86	92.5	92
Propeller (sudu tetap)	690	45	70	84.5	82	91.5	92
Propeller (sudu tetap)	800	32	59	78	84	88	96
Propeller (sudu dapat di atur)	750	83.5	91	91.5	87	91.6	70



Gambar 2.15. Grafik efisiensi beberapa jenis turbin terhadap debit air

2.8. Generator Sinkron

Hampir semua energi listrik dibangkitkan dengan menggunakan mesin sinkron. Generator sinkron (sering disebut alternator) adalah mesin sinkron yang digunakan untuk mengubah daya mekanik menjadi daya listrik. Generator sinkron

⁶ Dikutip dari buku Hydroelectric Handbook, William P. Creager and Joel D. Justin, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1950, hal.832.

dapat berupa generator sinkron tiga fasa atau generator sinkron AC satu fasa tergantung dari kebutuhan.

2.8.1. Konstruksi Generator Sinkron

Pada generator sinkron, arus DC diterapkan pada lilitan rotor untuk menghasilkan medan magnet rotor. Rotor generator diputar oleh prime mover menghasilkan medan magnet berputar pada mesin. Medan magnet putar ini menginduksi tegangan tiga fasa pada kumparan stator generator.

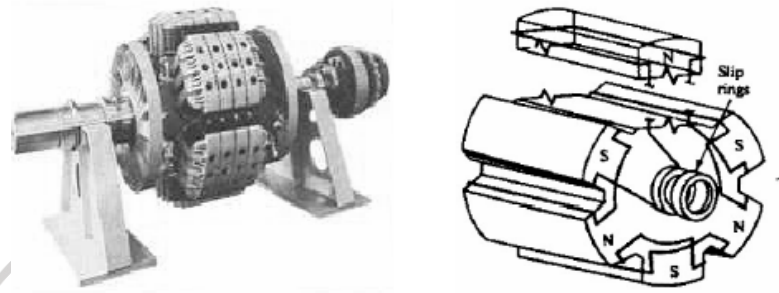
Rotor pada generator sinkron pada dasarnya adalah sebuah elektromagnet yang besar. Kutub medan magnet rotor dapat berupa *salient* (kutub sepatu) dan *non salient* (rotor silinder). Pada kutub *salient* kutub magnet menonjol keluar dari permukaan rotor sedangkan pada kutub *non salient* konstruksi kutub magnet rata dengan permukaan rotor. Rotor silinder umumnya digunakan untuk rotor dua kutub dan empat kutub, sedangkan rotor kutub sepatu digunakan untuk rotor dengan empat atau lebih kutub.

Pemilihan konstruksi rotor tergantung dari kecepatan putar prime mover, frekuensi dan rating daya generator. Generator dengan kecepatan 1500 rpm ke atas pada frekuensi 50 Hz dan rating daya sekitar 10MVA menggunakan rotor 130 silinder. Sementara untuk daya dibawah 10 MVA dan kecepatan rendah maka digunakan rotor kutub sepatu.

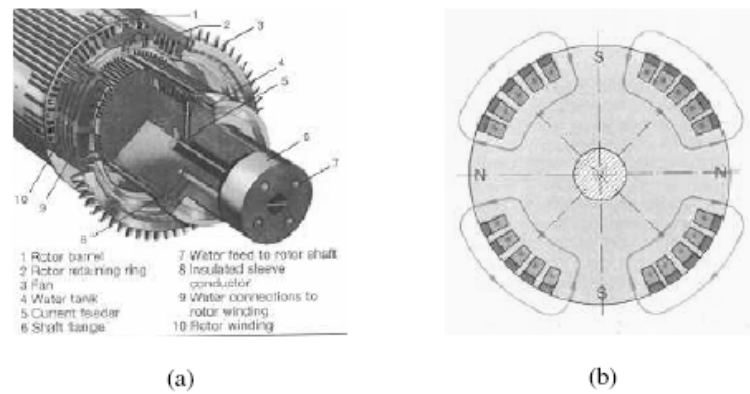
Arus DC disuplai ke rangkaian medan rotor dengan dua cara:

1. Menyuplai daya DC ke rangkaian dari sumber DC eksternal dengan sarana *slip ring* dan sikat.

2. Menyuplai daya DC dari sumber DC khusus yang ditempelkan langsung pada batang rotor generator sinkron.



Gambar Rotor *salient* (kutub sepatu)



(a)

(b)

Gambar 2.16. (a) rotor *Non-salient* (rotor silinder), (b) penampang rotor

2.8.2. Prinsip Kerja Generator Sinkron

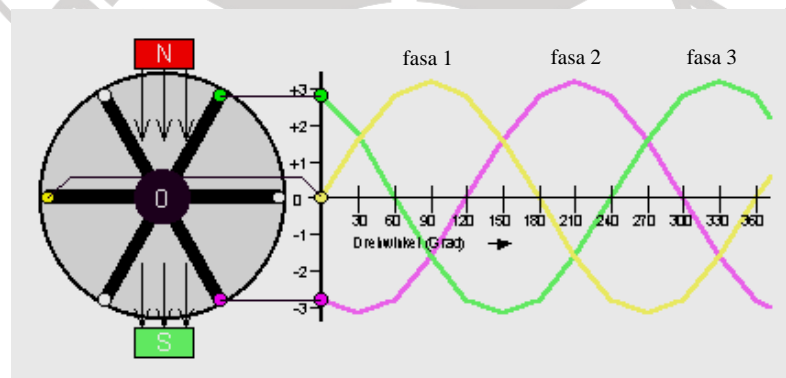
Jika sebuah kumparan diputar pada kecepatan konstan pada medan magnet homogen, maka akan terinduksi tegangan sinusoidal pada kumparan tersebut. Medan magnet dihasilkan oleh kumparan yang dialiri arus DC atau oleh magnet tetap. Pada tipe mesin ini medan magnet diletakkan pada stator (disebut generator kutub eksternal / *external pole generator*). Pada generator tipe ini, energi listrik dibangkitkan pada rotor kumparan rotor. Hal ini menyebabkan kerusakan pada

slip ring dan karbon sikat, sehingga menimbulkan permasalahan pada pembangkitan daya tinggi.

Untuk mengatasi permasalahan ini, digunakan tipe generator dengan kutub internal (*internal pole generator*). Pada tipe ini, medan magnet dibangkitkan oleh kutub rotor. Kemudian tegangan AC dibangkitkan pada rangkaian stator. Tegangan yang dihasilkan akan sinusoidal jika rapat fluks magnet pada celah udara terdistribusi sinusoidal dan rotor diputar pada kecepatan konstan. Pada rotor kutub sepatu, fluks terdistribusi sinusoidal didapatkan dengan mendesain bentuk sepatu kutub. Sedangkan pada rotor silinder, kumparan rotor disusun secara khusus untuk mendapatkan fluks terdistribusi sinusoidal ini.

Suplai DC yang dihubungkan ke kumparan rotor melalui slip ring dan sikat untuk menghasilkan medan magnet merupakan eksitasi daya rendah. Jika rotor menggunakan magnet permanen, maka tidak slip ring dan sikat karbon tidak begitu diperlukan.

Tegangan AC tiga fasa dibangkitkan pada mesin sinkron kutub internal dengan tiga kumparan stator yang diset pada sudut 120° .



Gambar 2.17. Pembangkitan tegangan 3 fasa

2.8.3. Kecepatan Putar Generator Sinkron

Frekuensi listrik yang dihasilkan generator sinkron adalah sinkron dengan kecepatan putar generator. Rotor generator sinkron terdiri atas rangkaian elektromagnet dengan suplai arus DC. Medan magnet rotor bergerak pada arah putaran rotor. Hubungan antara kecepatan putar medan magnet pada mesin dengan frekuensi listrik pada stator adalah :

$$f_e = \frac{n_m \cdot P}{120} \dots\dots\dots(2.33)$$

dimana :

f_e = frekuensi listrik [Hz]

n_m = kecepatan medan magnet = kecepatan putar rotor [rpm]

P = jumlah kutub

Oleh karena rotor berputar pada kecepatan yang sama dengan medan magnet, persamaan diatas juga menunjukkan hubungan antara kecepatan putar rotor dengan frekuensi listrik yang dihasilkan. Daya listrik dibangkitkan pada 50 atau 60 Hz, maka generator harus berputar pada kecepatan tetap tergantung pada jumlah kutub mesin. Sebagai contoh untuk membangkitkan 60 Hz pada mesin dua kutub rotor harus berputar dengan kecepatan 3600 rpm. Untuk membangkitkan daya 50 Hz pada mesin empat kutub rotor harus berputar pada 1500 rpm.

2.8.4. Alternator tanpa beban

Dengan memutar alternator pada kecepatan sinkron dan rotor diberi arus medan (I_f), tegangan (E_a) akan terinduksi pada kumparan jangkar stator.

$$E_a = cn\Phi \dots\dots\dots(2.34)$$

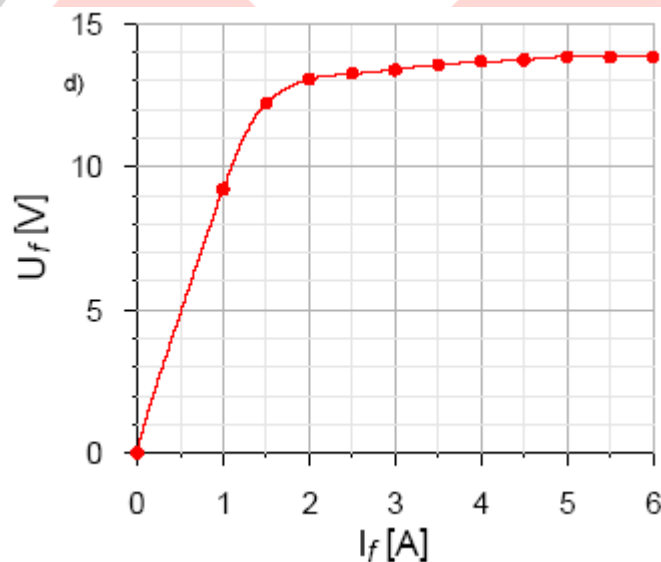
dimana :

c = konstanta mesin

n = putaran sinkron

Φ = 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 harga E_a seperti yang terlihat pada kurva sebagai berikut.



Gambar 2.18. Karakteristik generator sinkron tanpa beban

2.8.5. Alternator Berbeban

Dalam keadaan berbeban arus jangkar akan mengalir dan mengakibatkan terjadinya reaksi jangkar. Reaksi jangkar bersifat reaktif karena itu dinyatakan sebagai reaktansi, dan disebut reaktansi magnetisasi (X_m). Reaktansi pemagnet

(X_m) ini bersama-sama dengan reaktansi fluks bocor (X_a) dikenal sebagai reaktansi sinkron (X_s) Persamaan tegangan pada generator adalah:

$$E_a = V + I.R_a + jIX_s \dots\dots\dots(2.35)$$

$$X_s = X_m + X_a \dots\dots\dots(2.36)$$

yang mana:

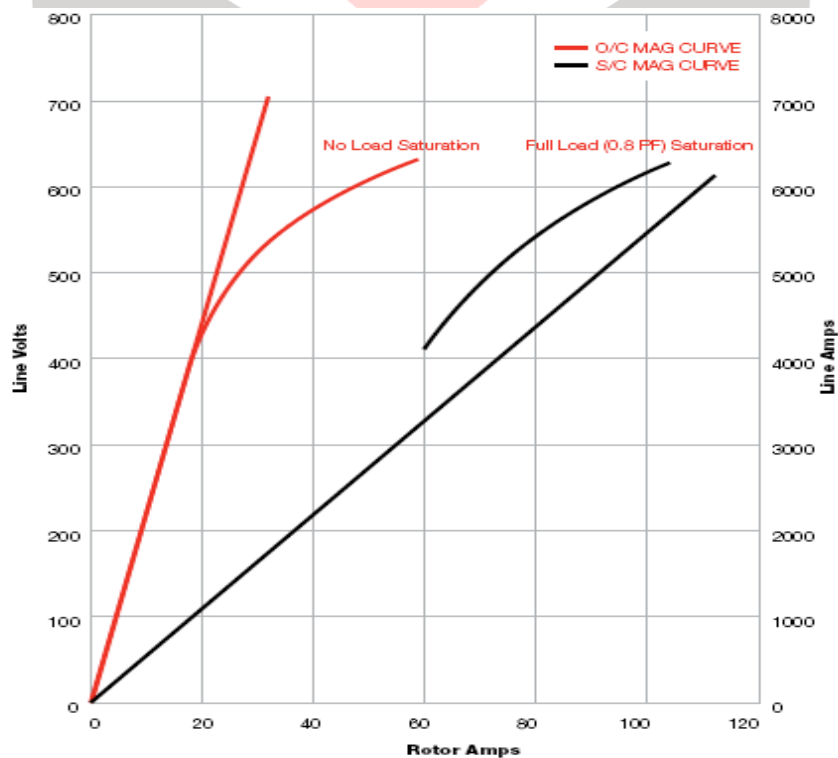
E_a = tegangan induksi pada jangkar

V = tegangan terminal output

R_a = resistansi jangkar

X_s = reaktansi sinkron

Karakteristik eksitasi alternator tanpa beban dan beban penuh pada faktor kerja 0,8 terbelakang dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.19. Karakteristik eksitasi alternator

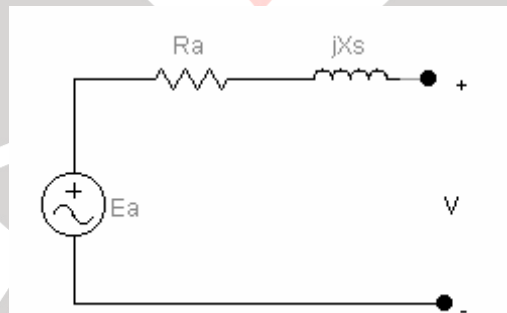
Sumber : Power topic #6004 | Technical information from Cummins Power Generation

2.8.6. Rangkaian Ekuivalen Generator Sinkron

Tegangan induksi E_a dibangkitkan pada fasa generator sinkron. Tegangan ini biasanya tidak sama dengan tegangan yang muncul pada terminal generator. Tegangan induksi sama dengan tegangan output terminal hanya ketika tidak ada arus jangkar yang mengalir pada mesin. Beberapa faktor yang menyebabkan perbedaan antara tegangan induksi dengan tegangan terminal adalah:

1. Distorsi medan magnet pada celah udara oleh mengalirnya arus pada stator, disebut reaksi jangkar.
2. Induktansi sendiri kumparan jangkar.
3. Resistansi kumparan jangkar.
4. Efek permukaan rotor kutub sepatu.

Rangkaian ekuivalen generator sinkron perfasa ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.20. Rangkaian ekuivalen generator sinkron perfasa

2.8.7. Daya Elektromagnetik dan Torsi

Jika mesin sinkron dioperasikan sebagai generator dengan diputar oleh prime mover, dalam keadaan steady state torsi mekanik pada prime mover

seimbang dengan torsi elektromagnetik yang dihasilkan generator ditambah rugi-rugi torsi mekanik (rugi gesek dan rugi angin) :

$$T_{pm} = T + T_{loss} \dots\dots\dots(2.37)$$

Dengan persamaan torsi di atas, maka diperoleh persamaan daya :

$$P_{pm} = P_{em} + P_{los} \dots\dots\dots(2.38)$$

dimana :

$$P_{pm} = T_{pm} \omega_{syn} \quad (\text{ daya mekanik prime mover })$$

$$P_{em} = T \omega_{syn} \quad (\text{ daya elektromagnetik generator })$$

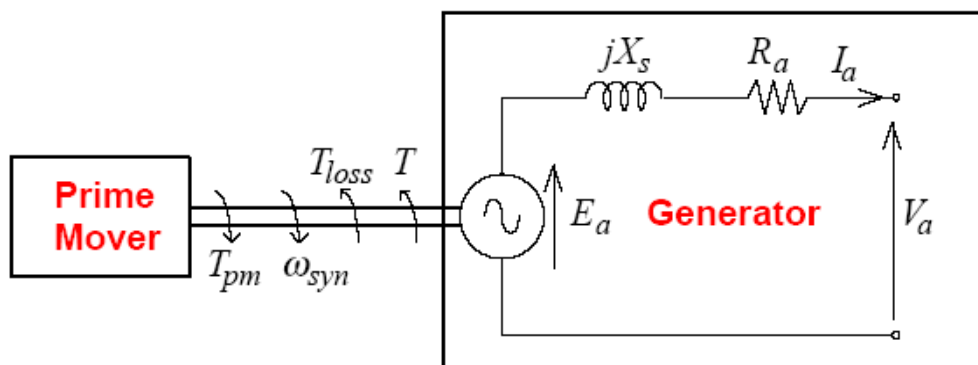
$$P_{loss} = T_{loss} \omega_{syn} \quad (\text{ rugi-rugi daya dalam sistem })$$

Sedangkan untuk konversi daya elektromagnetik menjadi daya listrik dalam lilitan stator tiga fasa adalah :

$$P_{em} = T \omega_{syn} = 3E_a I_a \cos \varphi_{E_a I_a} \dots\dots\dots(2.39)$$

dimana :

$\varphi_{E_a I_a}$ adalah sudut phasor E_a dan I_a

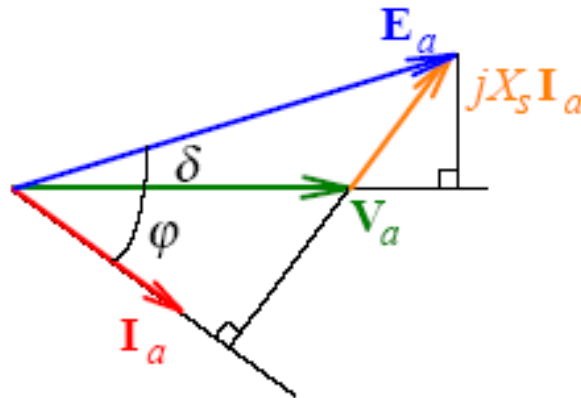


Gambar2.21. Mesin sinkron yang beroperasi sebagai generator

Pada generator sinkron, jika R_a diabaikan karena sangat kecil, maka berlaku hubungan :

$$V_a = E_a - jX_s I_a \dots\dots\dots(2.40)$$

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada diagram fasor di bawah ini :



Gambar 2.22. Diagram fasor generator

Dari diagram di atas diperoleh persamaan :

$$E_a \sin \delta = X_s I_a \cos \varphi \dots\dots\dots(2.41)$$

Jika resistansi lilitan fasa diabaikan, daya output sama dengan daya elektomagnetik, atau :

$$P_{em} = P_{out} = 3V_a I_a \cos \varphi \dots\dots\dots(2.42)$$

Sehingga,

$$P_{em} = \frac{3E_a V_a}{X_s} \sin \delta$$

dan

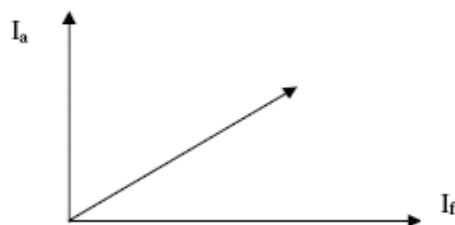
$$T = \frac{P_{em}}{\omega_{syn}} = \frac{3E_a V_a}{\omega_{syn} X_s} \sin \delta \dots\dots\dots(2.43)$$

dimana δ adalah sudut antara tegangan V_a dan $emf(E_a)$.

2.8.8. Menentukan Parameter Generator Sinkron

Harga X_s diperoleh dari dua macam percobaan yaitu percobaan tanpa beban dan percobaan hubungan singkat. Pada pengujian tanpa beban, generator diputar pada kecepatan ratingnya dan terminal generator tidak dihubungkan ke beban. Arus eksitasi medan mula adalah nol. Kemudian arus eksitasi medan dinaikan bertahap dan tegangan terminal generator diukur pada tiap tahapan. Dari percobaan tanpa beban arus jangkar adalah nol ($I_a = 0$) sehingga V sama dengan E_a . Sehingga dari pengujian ini diperoleh kurva E_a sebagai fungsi arus medan (I_f). Dari kurva ini harga yang akan dipakai adalah harga liniernya (*unsaturated*). Pemakaian harga linier yang merupakan garis lurus cukup beralasan mengingat kelebihan arus medan pada keadaan jenuh sebenarnya dikompensasi oleh adanya reaksi jangkar.

Pengujian yang kedua yaitu pengujian hubung singkat. Pada pengujian ini mula-mula arus eksitasi medan dibuat nol, dan terminal generator dihubungkan singkat melalui ampere meter. Kemudian arus jangkar I_a (= arus saluran) diukur dengan mengubah arus eksitasi medan. Dari pengujian hubung singkat akan menghasilkan hubungan antara arus jangkar (I_a) sebagai fungsi arus medan (I_f), dan ini merupakan garis lurus. Gambaran karakteristik hubung singkat alternator diberikan di bawah ini.



Gambar 2.23. Karakteristik hubung singkat alternator

Ketika terminal generator dihubung singkat maka tegangan terminal adalah nol. Impedansi internal mesin adalah:

$$Z_s = \sqrt{Ra^2 + Xs^2} = \frac{Ea}{Ia} \dots\dots\dots(2.44)$$

Oleh karena $Xs \gg Ra$, maka persamaan diatas dapat disederhanakan menjadi:

$$Xs = \frac{Ea}{Ia} = \frac{V_{oc}}{Ia_{hs}} \dots\dots\dots(2.45)$$

Jika Ia dan Ea diketahui untuk kondisi tertentu, maka nilai reaktansi sinkron dapat diketahui. Tahanan jangkar dapat diukur dengan menerapkan tegangan DC pada kumparan jangkar pada kondisi generator diam saat hubungan bintang (Y), kemudian arus yang mengalir diukur. Selanjutnya tahanan jangkar perfasa pada kumparan dapat diperoleh dengan menggunakan hukum ohm sebagai berikut.

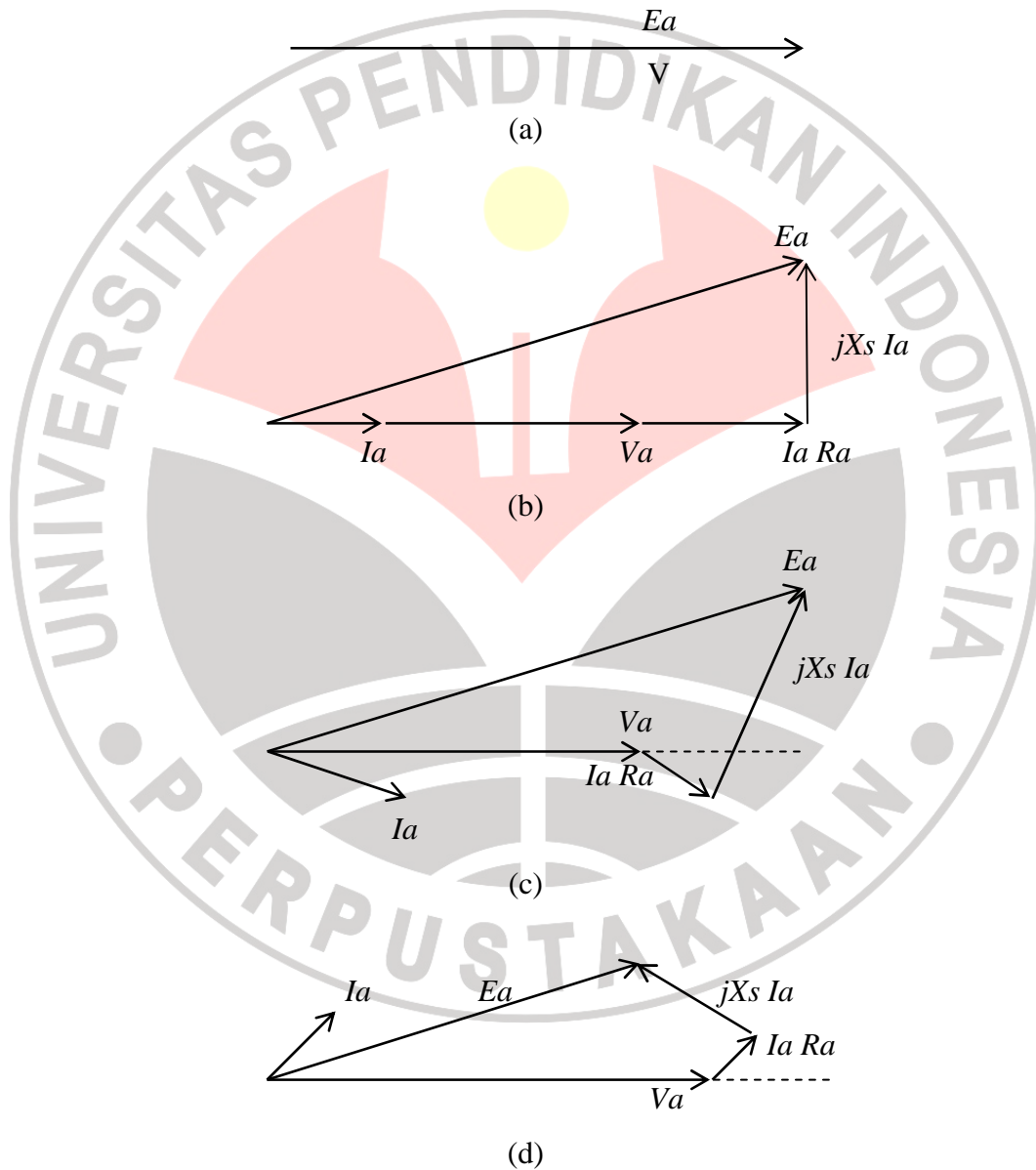
$$Ra = \frac{V_{DC}}{2.I_{DC}} \dots\dots\dots(2.46)$$

Penggunaan tegangan DC ini adalah supaya reaktansi kumparan sama dengan nol pada saat pengukuran.

2.8.9. Diagram Fasor

Diagram fasor memperlihatkan bahwa terjadinya pebedaan antara tegangan teminal V dalam keadaan berbeban dengan tegangan induksi (Ea) atau tegangan pada saat tidak berbeban. Diagram dipengaruhi selain oleh faktor kerja juga oleh besarnya arus jangkar (Ia) yang mengalir. Dengan memperhatikan

perubahan tegangan V untuk faktor kerja yang berbeda-beda, karakteristik tegangan terminal V terhadap arus jangkar diperlihatkan pada gambar 2.24.



Gambar 2.24. Diagram fasor generator sinkron (a) kondisi floating (b) faktor daya satu (c) faktor daya lagging (d) faktor daya leading.

2.8.10. Pengaturan Tegangan (Regulasi Tegangan)

Pengaturan tegangan adalah perubahan tegangan terminal alternator antara keadaan beban nol (V_{NL}) dengan beban penuh (V_{FL}). Keadaan ini memberikan gambaran batasan drop tegangan yang terjadi pada generator, yang dinyatakan sebagai berikut.

$$VR = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.47)$$

2.8.11. Kerja Paralel Alternator

Penggabungan alternator dengan cara mempararelkan dua atau lebih alternator pada sistem tenaga dengan maksud memperbesar kapasitas daya yang dibangkitkan pada sistem. Selain untuk tujuan di atas, kerja paralel juga sering dibutuhkan untuk menjaga kontinuitas pelayanan apabila ada mesin (alternator) yang harus dihentikan, misalnya untuk istirahat atau reparasi, maka alternator lain masih bisa bekerja untuk mensuplai beban yang lain. Untuk maksud mempararelkan ini, ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi, yaitu:

1. Harga sesaat ggl kedua alternator harus sama dalam kebesarannya, dan bertentangan dalam arah, atau harga sesaat ggl alternator harus sama dalam kebesarannya dan bertentangan dalam arah dengan harga efektif tegangan jala-jala.
2. Frekuensi kedua alternator atau frekuensi alternator dengan jala harus sama
3. Fasa kedua alternator harus sama
4. Urutan fasa kedua alternator harus sama