BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik[2]

Pembangkit Listrik adalah bagian dari alat Industri yang dipakai untuk memproduksi dan membangkitkan tenaga listrik dari berbagai sumber tenaga. Bagian utama dari pembangkit listrik adalah generator, yakni mesin yang berputar yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip medan magnet dan penghantar listrik. Mesin generator ini diaktifkan dengan menggunakan berbagai sumber energi yang sangat bermanfaat dalam suatu pembangkit listrik.

2.2 Generator AC Sinkron[1]

2.2.1 Pengertian Generator AC

Generator merupakan sebuah alat yang mampu menghasilkan arus listrik. salah satu jenis generator adalah generator arus bolak balik. Generator arus bolak-balik berfungsi mengubah tenaga mekanis menjadi tenaga listrik arus bolak-balik.

Generator Arus Bolak-balik sering disebut juga sebagai alternator atau generator AC (alternating current) atau juga generator sinkron. Alat ini sering dimanfaatkan di Industri untuk mengerakkan beberapa mesin yang menggunakan arus listrik sebagai sumber penggerak.

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

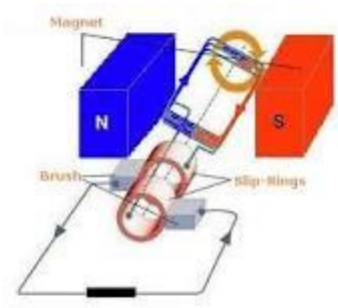
a. Generator arus bolak-balik 1 fasa

b. Generator arus bolak-balik 3 fasa

[2] Babcock. Wilcox Co. 2005. *Steam: Its Generation and Use* (ed. 41st edition).

[1] Abdul Hakim, Muhammad Tsani. 2012.

2.2.2 Prinsip Kerja Generator



Gambar 2.1 Prinsip Kerja Generator AC

Prinsip dasar generator arus bolak-balik menggunakan hukum Faraday yang menyatakan jika sebatang penghantar berada pada medan magnet yang berubah-ubah, maka pada penghantar tersebut akan terbentuk gaya gerak listrik.

Besar tegangan generator bergantung pada:

a. Kecepatan putaran (N)

b. Jumlah kawat pada kumparan yang memotong fluk (Z)

c. Banyaknya fluk magnet yang dibangkitkan oleh medan magnet (f)

d. Konstruksi Generator

Adapun rumus umum yang digunakan dalam perhitungan daya, tegangan, dan arus:

$P_i = P_o + V.\ I$ ……………………………………………………………(2.1)[1]

Dimana:

P_i = Daya keluaran jangkar (W)

P_o = Daya keluaran beban (W)

V = Tegangan keluaran (V)

I = Arus (I)

[1] Ibid

Generator arus bolak-balik ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu:

a. Stator merupakan bagian diam dari generator yang mengeluarkan tegangan bolakbalik
b. Rotor merupakan bagian bergerak yang menghasilkan medan magnit yang menginduksikan ke stator.

Stator terdiri dari badan generator yang terbuat dari baja yang berfungsi melindungi bagian dalam generator, kotak terminal dan name plate pada generator. Inti Stator yang terbuat dari bahan ferromagnetik yang berlapis-lapis dan terdapat alur-alur tempat meletakkan lilitan stator.

Lilitan stator yang merupakan tempat untuk menghasilkan tegangan. Sedangkan, rotor berbentuk kutub sepatu (salient) atau kutub dengan celah udara sama rata (rotor silinder).

2.2.3 Jumlah Kutub pada Generator

Jumlah kutub generator arus bolak-balik tergantung dari kecepatan rotor dan frekuensi dari ggl yang dibangkitkan. Hubungan tersebut dapat ditentukan dengan persamaan berikut ini.

$$f = \frac{p.n}{120} \quad \text{..... (2.2)}^{1}$$

Dimana:

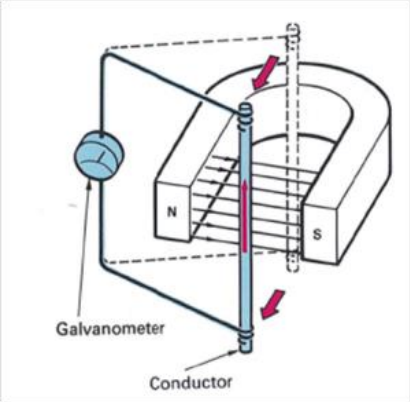
f = frekuensi tegangan (Hz)
p = jumlah kutub pada rotor
n = kecepatan rotor (rpm)

[1] Ibid

2.2.4 Induksi elektronik[6]

Induksi elektromagnetik dapat dikatakan sebagai proses perubahan energi mekanik menjadi energi listrik. Proses perubahan energi ini, berkaitan dengan konsep fluks magnetik.

Fluks magnetik didefinisikan sebagai hasil kali antara komponen induksi magnetik dengan luas bidang dan **Hukum *Faraday*** secara kuantitatif.



Gambar 2.2 Hukum Faraday

Hukum Lenz: “Arah arus induksi adalah sedemikian sehingga medan magnetik yang ditimbulkannya berlawanan dengan arah medan magnetik yang menimbulkan arus induksi itu”

2.3 Motor Listrik[7]

2.3.1 Pengertian Motor Listrik

Motor listrik adalah mesin listrik yang mampu mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang berupa tenaga putar. Mesin induksi sebagai motor listrik cukup banyak digunakan, hal ini karena motor listrik mempunyai keuntungan sebagai berikut:

a. Bentuknya sederhana, kontruksinya cukup kuat
b. Biayanya murah dan dapat diandalkan
c. Efisiensi tinggi pada keadaan normal tidak memerlukan sikat, sehingga rugi–rugi gesekan dapat dikurangi
d. Perawatan yang minimum
e. Pada waktu mulai beroperasi tidak memerlukan tambahan peralatan khusus.

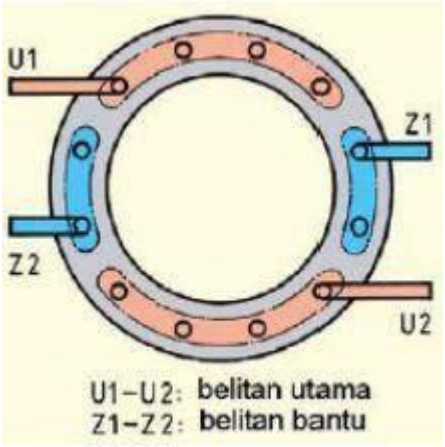
Namun disamping hal tersebut di atas, perlu juga diperhatikan hal-hal yang tidak menguntungkan, yaitu:

a. Pengaturan kecepatannya sangat mempengaruhi efisiensinya
b. Kecepatannya akan berkurang jika bebannya bertambah
c. Kopel mulanya lebih rendah daripada mesin arus searah paralel.

2.3.2 Prinsip kerja Motor AC Satu Fasa[5]

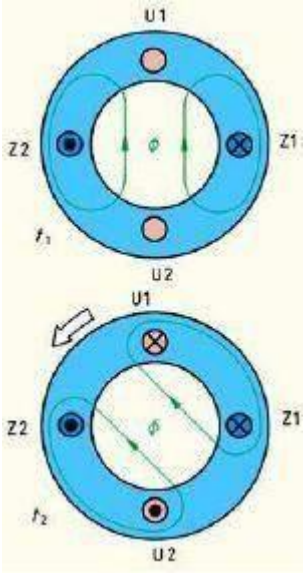
Motor AC satu fasa berbeda cara kerjanya dengan motor AC tiga fasa, dimana pada motor AC tiga fasa untuk belitan statornya terdapat tiga belitan yang menghasilkan medan putar dan pada rotor sangkar terjadi induksi dan interaksi torsi yang menghasilkan putaran. Sedangkan pada motor satu fasa memiliki dua belitan stator, yaitu belitan fasa utama (belitan U1-U2) dan belitan fasa bantu (belitan Z1-Z2), lihat gambar 2.3.

[7] Imronsyah. 2011.
[5] Guntoro, Hanif. 2008.



Gambar 2.3 Prinsip Medan Magnet Utama dan Medan magnet Bantu Motor Satu fasa

Belitan utama menggunakan penampang kawat tembaga lebih besar sehingga memiliki impedansi lebih kecil. Sedangkan belitan bantu dibuat dari tembaga berpenampang kecil dan jumlah belitannya lebih banyak, sehingga impedansinya lebih besar dibanding impedansi belitan utama.



Gambar 2.4 Medan Magnet pada Stator Motor Satu Fasa

Belitan bantu Z1-Z2 pertama dialiri arus (I_{bantu}) menghasilkan fluks magnet Φ tegak lurus, beberapa saat kemudian belitan utama U1-U2 dialiri arus utama (I_{utama}) yang bernilai positif. Hasilnya adalah medan magnet yang bergeser sebesar 45° dengan arah berlawanan jarum jam. Kejadian ini berlangsung terus sampai satu siklus sinusoida, sehingga menghasilkan medan magnet yang berputar pada belitan statornya.

Rotor motor satu fasa sama dengan rotor motor tiga fasa yaitu berbentuk batang-batang kawat yang ujung-ujungnya dihubung singkatkan dan menyerupai bentuk sangkar tupai, maka sering disebut rotor sangkar.

Belitan rotor yang dipotong oleh medan putar stator, menghasilkan tegangan induksi, interaksi antara medan putar stator dan medan magnet rotor akan menghasilkan torsi putar pada rotor.

[3]Apabila kumparan-kumparan motor induksi satu fasa dialiri arus bolak-balik satu fasa, maka pada celah udara akan dibangkitkan medan yang berputar dengan kecepatan putaran sebesar dengan menggunakan rumus:

$$N_s = \frac{120 . f}{p} \quad \text{..... (2.3)}^3$$

Dimana:

N_s = Kecepatan medan stator (rpm)

f = Frekuensi motor (Hz)

p = Jumlah kutub motor

[3] Sumanto. 1993. Motor Listrik Arus Bolak-Balik, (Andi Offset, Yogyakarta), hal 7
[3] Ibid.

Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor. Sehingga pada kumparan rotor (medan) timbul tegangan induksi Gaya Gerak Listrik (GGL) sebesar:

E_r = 4,44 . f_2 . N_2 . Φm (per fasa) ……...……...(2.4)[3]

Dimana:

E_r = Tegangan pada rotor (V)

f_2 = Frekuensi motor (Hz)

N_2 = Kecepatan medan (rpm)

Φm = Fluks magnet

Karena kumparan rotor merupakan rangkaian tertutup, maka ggl akan menghasilkan arus (I). Adanya arus didalam medan magnet menimbulkan gaya pada rotor. Bila kopel (*torque)* mula yang dihasilkan oleh gaya (F) tersebut pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator. Dari pernyataan diatas, bahwa syarat terbentuknya tegangan induksi haruslah ada perbedaan kecepatan relatif (disebut sebagai "slip") antara kecepatan medan putar stator (N_S) dan kecepatan putar rotor (N_r). Kecepatan relatif dapat dituliskan sebagai berikut:

$$S(\%) = \frac{N_2 - N_r}{N_s} \text{ x } 100\% \quad \text{……...(2.5)}^{[3]}$$

Dimana:

S = Slip (%)

N_r = Kecepatan perputaran medan rotor (rpm)

N_S = Kecepatan medan stator (rpm)

2.3.3 Frekuensi

Berubah – ubahnya kecepatan putar rotor akan mengakibatkan berubah – ubahnya nilai slip dari saat start (100%) sampai saat berputar pada kecepatan normal atau stasioner (0%), yaitu $N_S = N_r$. Rotor dalam keadaan stasioner, frekuensi arus rotor sama dengan frekuensi arus sumber. Jika motor mulai bergerak, frekuensi arus rotor tergantung pada slip atau kecepatan slip ($N_S - N_r$). Maka frekuensi arus rotor pada nilai kecepatan slip sembarang adalah:

$$f_r = \frac{P\ (N_S - N_r)}{120} \quad \text{.....(2.6)}^3$$

atau

$$f_r = \frac{P\ (N_S - N_r)}{120} \text{ x } \frac{N_S}{N_S}$$

$$f_r = \frac{(P\ .\ N_S)}{120} \text{ x } \frac{(N_S - N_r)}{N_S}$$

$$f_r = f_s\ .\ S \quad \text{.....(2.7)}^3$$

Oleh karena frekuensi putar stator sama dengan frekuensi sumber (jala–jala) = f, maka persamaan 2.6 atau frekuensi arus rotor dapat juga ditulis.

$$f_r = f_s\ .\ S \quad \text{.....(2.8)}^3$$

Dimana:

f_r = Frekuensi rotor (Hz)

f_s = Frekuensi stator (Hz)

S = Slip (%)

2.3.4 Daya Listrik

Satuan daya listrik adalah Watt. Dalam satuan SI watt didefinisikan sebagai energi yang dikeluarkan atau kerja yang dilakukan setiap detik oleh arus 1 A yang konstan pada tegangan 1 volt, Sehingga:

$$P = I \cdot V \quad \text{...} (2.9)^3$$

Dimana:

P = Daya (Watt)

I = Arus (A)

V = Tegangan (Volt)

2.3.5 Beban Gravitasi

Bila suatu objek diangkat melawan gaya gravitasi (g), diperlukan suatu gaya untuk mengimbangi gaya gravitasi. Ini disebut beban gravitasi. Gaya (F) diperlukan untuk mengangkat objek dengan massa (m) pada kecepatan (v) adalah:

$$F = m \cdot g \quad \text{...} (2.10)^3$$

Dimana:

F = Gaya (N)

m = Massa benda (kg)

g = Gravitasi (m/d^2)

[3] Id. at 8

Massa benda pada beban gravitasi ini merupakan berat total dari pisau pemotong yaitu:

$m = V\ .\ \rho$ . . . . (2.11)[3]

Dimana:

m = Massa benda (kg)

V = Volume (cm^3)

P = Panjang (cm)

2.3.6 Hubungan Putaran, Torsi dan Daya[9]

Jika hasil jari-jari suatu benda diberikan kecepatan putaran, maka:

$\omega = \frac{2\ .\ \pi\ .\ n}{60}$ ....(2.12)[9]

Sehingga besarnya torsi yaitu:

$T = F\ .\ r$ ....(2.13)[9]

Maka didapatkan besarnya daya motor:

$P_m = F\ .\ \omega$ ……. ....(2.14)[9]

Dimana:

r = Jari-jari (m)

n = Putaran (rpm)

F = Gaya (N)

---

[3] Id. at 8
[9] R.S. Khurmi. 1980. A Text Book Of Machine Design, (J.K. Gupta, New Delhi), hal 716
[9] Ibid.

ω = Kecepatan putar (Rad/s)

T = Momen putar/torsi (N.m)

P_m = Daya motor (Watt)

2.4 *Pulley* Penggerak[8]

Pulley adalah suatu alat mekanis yang digunakan sebagai pendukung pergerakan belt atau sabuk lingkar untuk menjalankan sesuatu kekuatan alur yang berfungsi menghantarkan suatu daya. Cara kerja *pulley* sering digunakan untuk mengubah arah dari gaya yang diberikan dan mengirimkan gerak rotasi. *Pulley* pada *Belt Conveyor* sangat berperan penting dalam menggerakkan sabuk atau *Belt* dengan memberikan gaya rotasi (putar) dan angkut dari satu titik ke titik lain.

Ada beberapa tipe pulley, yaitu:

1. Pulley type V
2. Pulley timming
3. Pulley variable (pulley V bisa disetting besar kecil)
4. Pulley round (alur U)
5. Loss pulley (biasa sebagai adjustment)

Gambar 2.5 *Pulley* tipe V

[8] Logam Ceper. 2014.

Dengan menggunakan perbandingan diameter *pulley* penggerak sebagai transmisi kita dapat menaikkan atau menurunkan kecepatan putaran sehingga dari perbandingan diameter 2 buah *pulley* penggerak didapat.

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{D_{p2}}{D_{p1}} \quad \text{.....(2.15)}^{8}$$

Dimana:

N_1 = Motor Penggerak (rpm)

N_2 = Mesin yang digerakkan (rpm)

DP_1= Diameter *pulley* pada poros motor listrik

DP_2= Diameter *pulley* pada poros pisau pemotong

2.5 *Van Belt*[4]

V-Belt digunakan untuk mentransmisikan daya dari poros yang satu ke poros yang lainnya melalui *pulley* yang berputar dengan kecepatan sama atau berbeda. Puli *V-belt* merupakan salah satu elemen mesin yang berfungsi untuk mentransmisikan daya seperti halnya sproket rantai dan roda gigi.

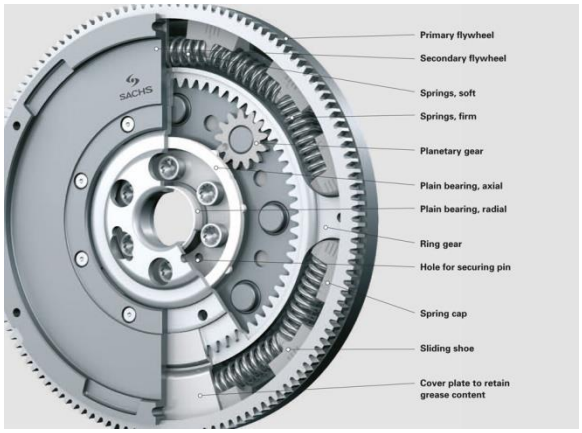
Gambar 2.6 *Van Belt*

[4] Editorial staff. 1916. Radiator fans and their design, *Horseless Age* **37** (8): 324

2.6 *Flywheel*[10]

Flywheel atau Roda Gila atau Roda Penyeimbang Gaya adalah salah satu elemen mesin yang berbentuk bulat dengan bobot massa yang besar, yang terhubung langsung dengan poros engkol dan biasanya terletak sebelum atau setelah alat penghubung untuk out-put. *Flywheel* ini berfungsi sebagai penyeimbang gaya dan mengatur putaran mesin sehingga putaran mesin dapat berjalan dengan baik. Prinsip kerja dari Flywheel ini adalah menjaga putaran mesin agar tetap berjalan normal dan tidak kaku sehingga out-put yang dihasilkan bisa dikontrol.

Dalam artian bahwa ketika putaran mesin tinggi maka *flywheel* ini menyimpan energi potensial yang kemudian dialirkan saat putaran mesin rendah, sehingga saat putaran mesin rendah out-put yang dihasilkan tetap konstan, karena dengan bobot massa yang besar memungkinkan *Flywheel* tetap berputar sekalipun mesin secara tiba-tiba dimatikan. Hali ini mengindikasikan bahwa peranan *flywheel* pada mesin sangat berarti.



Gambar 2.7 Penampang *Flywheel*

[10] Ramawan, Adin . 2015.

Fungsi *Flywheel* pada mesin sama persis dengan fungsi gunung pada bumi. Ketika *Flywhee*l ini mengalami sedikit saja retakan pada permukaannya, maka putaran mesin menjadi tidak seimbang dan mempengaruhi out-put yang dihasilkan, dan bahkan ketika *flywheel* mengalami pengurangan massa akibat gesekan antar material atau sebab lain, maka keseimbangan pada mesin menjadi terganggu dan dapat menimbulkan getaran paksa pada mesin, akibatnya selain minimnya out-put yang dihasilkan karena putaran yang tidak teratur juga bisa menimbulkan getaran yang besar. Apabila kecepatan berkurang energi akan dilepaskan oleh *flywheel* dan bila kecepatan bertambah energi akan disimpan dalam *flywheel*.

Flywheel biasanya terbuat dari baja dan berputar pada bantalan (*bearings*) konvensional, dan ini umumnya terbatas pada tingkat revolusi kurang dari 1000 RPM. Beberapa *flywheel* modern terbuat dari bahan serat karbon dan menggunakan bantalan magnet, memungkinkan *flywheel* untuk berputar pada kecepatan sampai 60.000 RPM. *Flywheel* sering digunakan untuk menyediakan energi yang terus menerus dalam sistem dimana sumber energi tidak kontinyu. Dalam kasus tersebut, *flywheel* menyimpan energi ketika torsi diterapkan oleh sumber energi, dan melepaskan energi yang tersimpan ketika sumber energi tidak menerapkan torsi untuk itu. Misalnya, *flywheel* yang digunakan untuk mempertahankan kecepatan sudut konstan *crankshaft* dalam mesin piston. Dalam hal ini, *flywheel* yang dipasang pada *crankshaft* menyimpan energi ketika torsi yang diberikan pada *flywheel* oleh piston yang sedang bergerak, dan melepaskan energi ke beban mekanik bila tidak ada piston yang menghasilkan daya.

Ada 2 jenis mesin yang mengambil manfaat dari *flywheel* yaitu:

1. Mesin sejenis pres pelubang, dimana operasi pelubangan dilakukan secara berkala. Energi diperlukan dalam sesaat dan hanya selama operasi pelubangan. Untuk kebutuhan seperti ini ada 2 pilihan yaitu:
   a. Memakai satu motor besar yang mampu memberikan energi saat diperlukan.

b. Memakai satu motor kecil dan satu *flywheel*, dimana motor dapat memberikan energi secara berangsur-angsur selama waktu pelubangan tidak dilakukan.

2. Mesin sejenis mesin uap atau motor bakar, dimana energi disuplai ke mesin dengan laju yang hamper konstan. Jika sebuah motor bakar menggerakkan sebuah generator listirk, maka kecepatan yang berubah-ubah tidak dikehendaki, apalagi untuk sistem penerangan.

Energi yang tersimpan dalam *flywheel* kemudian digunakan untuk menghitung dimensi *flywheel*, mencari besarnya fluktuasi energi dengan cara, yaitu:

$$\Delta E = 2 .Cs . E \quad \text{..... (2.16)}^{10}$$

Dimana:

ΔE = Fluktuasi energi (kg. m)

Cs = Koefisien speed, mesin *crusher* = 0,2

E = Energi yang disimpan dalam *flywheel* (kg. m)

Fluktuasi energi digunakan untuk mencari berat *flywheel*, berikut ini uraian rumusnya yaitu:

$$\Delta E = \frac{W}{g}.r^2 . \omega^2 . Cs \quad \text{..... (2.17)}^{10}$$

Dimana:

ΔE = Fluktuasi energi (kg. m)

W = Massa *flywheel* (kg)

R = Jari-jari (m)

ω = Kecepatan sudut (rad/s)

[10] Ibid.

Massa *flywheel* dapat dihitung menggunakan rumus:

$$W = A \cdot 2\pi r \cdot \rho \quad \text{..... (2.18)}^{10}$$

Dimana:

W = Massa flywheel (kg)

A = Luas penampang flywheel (cm^2)

r = Jari-jari (cm)

ρ = Massa jenis bahan flywheel (kg/cm^3)

massa jenis besicor = 0,0072 kg /cm^3

Daya dari motor mesin harus mampu menggerakkan *flywheel* itu sendiri, untuk mengetahuinya dapat dicari dengan rumus:

$$P = T \cdot \omega \quad \text{..... (2.19)}^{10}$$

Dimana:

P = Daya untuk menggerakkan *flywheel* (HP)

T = Torsi (Nm)

ω = Kecepatan sudut (rad / s)

Torsi dihitung dengan menggunakan rumus:

$$T = I \cdot a \quad \text{..... (2.20)}^{10}$$

Dimana:

T = Torsi (Nm)

I = Momen inersia (kg. m / s)

a = Percepatan (rad / s^2)

[10] Ibid.

Sedangkan untuk menentukan momen inersia, perhitungannya adalah:

$$I = \frac{W}{2g} . r^2 \quad \text{..... (2.21)}^{10}$$

Dimana:

I = Momen inersia (kg m / s)

W = Massa *flywheel* (kg)

r = Jari-jari (m)

g = Gaya gravitasi (m / s^2)

[10] Ibid.