



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik¹

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 AC²

Generator arus bolak-balik merupakan suatu alat yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik bolak-balik (AC). Bagian utama generator AC terdiri atas: magnet permanen (tetap), kumparan (solenoida), cincin geser, dan sikat. Pada generator, perubahan garis gaya magnet diperoleh dengan cara memutar kumparan di dalam medan magnet permanen. Karena dihubungkan dengan cincin geser, perputaran kumparan menimbulkan GGL induksi AC. Oleh karena itu, arus induksi yang ditimbulkan berupa arus AC. Adanya arus AC ini ditunjukkan oleh menyalnya lampu pijar yang disusun seri dengan kedua sikat. Contoh generator AC yang akan sering kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari adalah dinamo sepeda. Bagian utama dinamo sepeda adalah sebuah magnet tetap dan kumparan yang disisipi besi lunak. Jika magnet tetap diputar, perputaran tersebut menimbulkan GGL induksi pada kumparan. Jika sebuah lampu pijar (lampu sepeda) dipasang pada kabel yang menghubungkan kedua ujung kumparan, lampu tersebut akan dilalui arus induksi AC. Akibatnya, lampu tersebut menyala. Nyala lampu akan makin terang jika perputaran magnet tetap makin cepat (laju sepeda makin kencang).

¹ http://id.wikipedia.org/wiki/Pembangkit_listrik

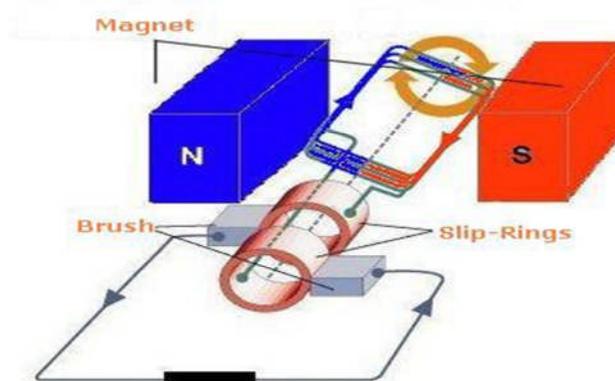
² <http://mrratkey.blogspot.com/2012/09/normal-0-false-false-false-in-x-none-x.html>

Generator merupakan sebuah alat yang mampu menghasilkan arus listrik. salah satu jenis generator adalah generator arus bolak balik yang akan dibahas saat ini. Generator ini berfungsi mengubah tenaga mekanis menjadi tenaga listrik arus bolak-balik.³

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 menggerakkan beberapa mesin yang menggunakan arus listrik sebagai sumber penggerak.

Generator yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 merupakan sebuah alat yang mampu menghasilkan arus listrik. Salah satu jenis generator adalah generator arus bolak-balik, yang berfungsi mengubah energi mekanis menjadi energi listrik arus bolak-balik.

Generator arus bolak-balik disebut juga sebagai alternator atau generator AC (*Alternating Current*) atau juga generator sinkron, yang digunakan untuk menggerakkan beberapa mesin yang menggunakan arus listrik sebagai sumber



sebagai sumber penggerak.

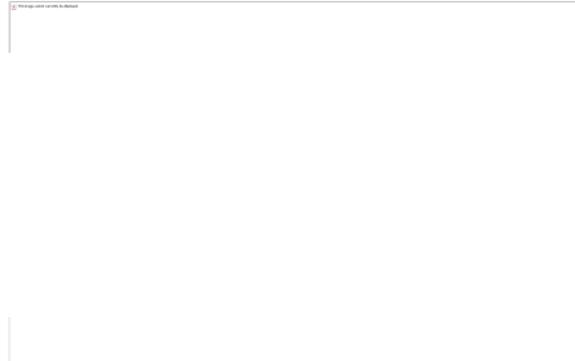
Gambar 2.1 Generator AC

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

1. Generator arus bolak-balik 1 fasa.
2. Generator arus bolak-balik 3 fasa.

³ <https://qtussama.wordpress.com/materi-ajar-x-tnr/generator-listrik/>

2.2.1 Prinsip Kerja Generator AC⁴



Gambar 2.2 Prinsip Generator AC

Prinsip dasar generator AC yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 menggunakan *Hukum Faraday* yang menyatakan jika sebatang penghantar berada pada medan magnet yang berubah-ubah, maka pada penghantar gaya tersebut akan terbentuk gaya gerak listrik. Besar tegangan generator bergantung pada :

1. Kecepatan putaran (N).
2. Jumlah kawat pada kumparan yang memotong fluk (Z).
3. Banyaknya fluk magnet yang dibangkitkan oleh medan magnet (f).
4. Konstruksi Generator.

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

1. Stator, merupakan bagian diam dari generator yang mengeluarkan tegangan bolak-balik
2. Rotor, merupakan bagian bergerak yang menghasilkan medan magnet 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

⁴ <http://mrratkey.blogspot.com/2012/09/normal-0-false-false-false-in-x-none-x.html>

kutub sepatu (*salient*) atau kutub dengan celah udara sama rata (rotor silinder). Adapun jumlah kutub generator arus bolak-balik tergantung dari kecepatan rotor dan frekuensi dari gaya gerak listrik yang dibangkitkan. Hubungan tersebut dapat ditentukan dengan persamaan berikut ini.

$$= \dots\dots\dots (2.1)$$

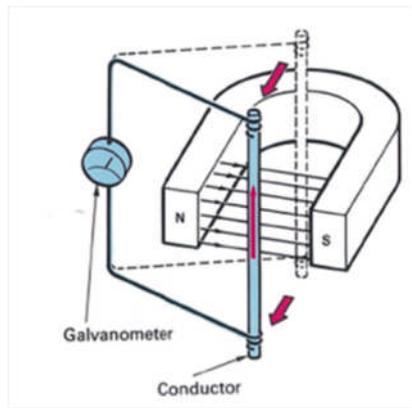
Keterangan:

f = frekuensi tegangan (Hz)

p = jumlah kutub pada rotor

n = kecepatan rotor (rpm)

Induksi elektromagnetik dapat dikatakan sebagai proses perubahan energi mekanik (energi kinetik) menjadi energi listrik. Proses perubahan energi ini, berkaitan dengan konsep fluks magnetik. Kita mulai dengan mempelajari fluks magnetik dan Hukum Faraday secara kuantitatif. Fluks magnetik didefinisikan sebagai hasil kali antara komponen induksi magnetik dengan luas bidang Hukum



Faraday.

Gambar 2.3 Hukum Faraday

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

1. Stator, merupakan bagian diam dari generator yang mengeluarkan tegangan bolak-balik

2. Rotor, merupakan bagian bergerak yang menghasilkan medan magnet yang menginduksikan ke stator.⁵

2.2.1.1 Stator

Stator (armature) adalah bagian yang berfungsi sebagai tempat untuk menerima induksi magnet dari rotor. Arus AC yang menuju ke beban disalurkan melalui stator. Komponen ini berbentuk sebuah rangka silinder dengan lilitan kawat konduktor yang sangat banyak.

Stator terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu:

- Rangka stator, merupakan rumah (kerangka) yang menyangga inti jangkar generator.
- Inti Stator, terbuat dari laminasi-laminasi baja campuran atau besi magnetic khusus terpasang ke rangka stator.
- Alur (slot) dan Gigi, merupakan tempat meletakkan kumparan stator. Ada 3 (tiga) bentuk alur stator yaitu terbuka, setengah terbuka, dan tertutup seperti pada gambar 2.5 berikut :



Gambar 2.4 Bentuk-bentuk alur

- Kumparan Stator (Kumparan Jangkar), biasanya terbuat dari tembaga. Kumparan ini merupakan tempat timbulnya ggl induksi.

⁵ <http://mrratkey.blogspot.com/2012/09/normal-0-false-false-false-in-x-none-x.html>

2.2.1.2 Rotor

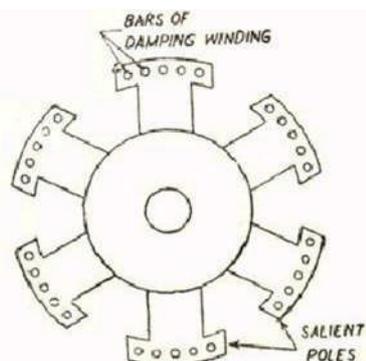
Rotor terdiri dari tiga komponen utama yaitu:

- Slip Ring merupakan cincin logam yang melingkari poros rotor tetapi dipisahkan oleh isolasi tertentu. Terminal kumparan rotor dipasang ke slip ring ini kemudian dihubungkan ke sumber arus searah melalui sikat (brush) yang letaknya menempel pada slip ring.
- Kumparan Rotor (Kumparan Medan) merupakan unsur yang memegang peranan utama dalam menghasilkan medan magnet. Kumparan ini mendapat arus searah dari sumber eksitasi tertentu.
- Poros Rotor merupakan tempat meletakkan kumparan medan, dimana pada poros rotor tersebut telah dibentuk slot-slot secara parallel terhadap poros rotor.

Rotor pada generator sinkron pada dasarnya adalah sebuah elektromagnet yang besar. Kutub medan magnet rotor dapat berupa silent pole (kutub menonjol) dan non silent pole (kutub silinder).

a. Jenis Kutub Menonjol (Silent Pole)

Pada jenis silent pole, kutub magnet menonjol keluar dari permukaan rotor. Belitan-belitan medannya dihubung seri. Ketika belitan medan ini disuplai oleh eksiter, maka kutub yang berdekatan akan membentuk kutub berlawanan. Gambaran bentuk kutub menonjol generator sinkron seperti pada gambar 2.6 berikut :



Gambar 2.5 Rotor kutub menonjol

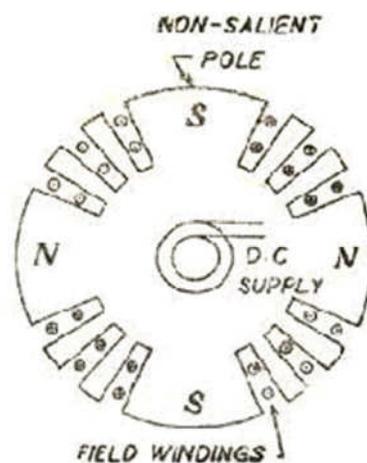
Rotor kutub menonjol umumnya digunakan pada generator sinkron dengan

kecepatan putar rendah dan sedang (120-400 rpm). Generator sinkron tipe seperti ini biasanya dikopel oleh mesin diesel atau turbin air pada sistem pembangkit listrik. Rotor kutub menonjol baik digunakan untuk putaran rendah dan sedang karena:

- Kutub menonjol akan mengalami rugi-rugi angin yang besar dan bersuara bising jika diputar dengan kecepatan tinggi.
- Konstruksi kutub menonjol tidak cukup kuat untuk menahan tekanan mekanis apabila diputar dengan kecepatan tinggi.

b. Jenis Kutub Silindris (Non Salient Pole)

Pada jenis non salient pole, konstruksi kutub magnet rata dengan permukaan rotor. Jenis rotor ini terbuat dari baja tempa halus yang berbentuk silinder yang mempunyai alur-alur terbuat di sisi luarnya. Belitan-belitan medan dipasang pada alur-alur di sisi luarnya dan terhubung seri yang dienerjais oleh Eksiter. Gambaran bentuk kutub silinder generator sinkron tampak seperti pada Gambar 2.7 berikut :



Gambar 2.6 Rotor kutub silindris

Rotor silinder umumnya digunakan pada generator sinkron dengan

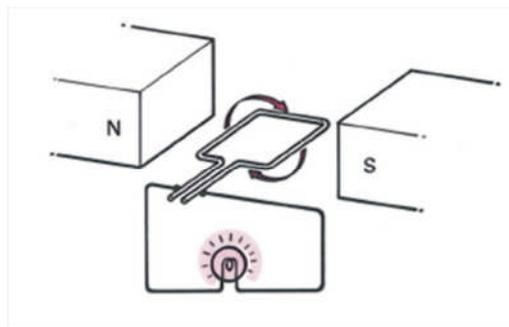
kecepatan putar tinggi (1500 atau 3000 rpm) seperti yang terdapat pada pembangkit listrik tenaga uap. Rotor silinder baik digunakan pada kecepatan putar tinggi karena:

- Konstruksinya memiliki kekuatan mekanik yang baik pada kecepatan putar tinggi

Distribusi di sekeliling rotor mendekati bentuk gelombang sinus sehingga lebih baik dari kutub menonjol.

2.2.2 Cara Merubah Energi Mekanik Menjadi Energi Listrik

Bila hanya sebuah konduktor saja yang diputar dalam sebuah medan magnet, maka gaya listrik yang dihasilkan juga sedikit (kecil). Bila konduktor yang digunakan semakin banyak maka akan dihasilkan gaya listrik semakin besar. Demikian pula bila konduktor diputar semakin cepat didalam medan magnet, maka bertambah besar pula gaya listriknya. Konduktor yang berbentuk coil (kumparan), jumlah gaya listrik yang terjadi akan semakin besar. Perhatikan gambar di bawah ini.



Gambar 2.7 Prinsip Generator

Dari gambar diatas, bila konduktor digerakkan maju mundur antara kutub utara dan kutub selatan maka jarum galvanometer akan bergerak. Gerakan tersebut menunjukkan adanya gaya listrik yang dihasilkan.⁶

⁶ <https://qtussama.wordpress.com/materi-ajar-x-tnr/generator-listrik/>

2.3 Motor Listrik (Induksi)⁷

Pada motor induksi yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 tidak terdapat kumparan medan, sehingga sumber pembangkit fluks hanya diperoleh dari daya masuk, stator. Daya masuk untuk pembangkit fluks merupakan daya induktif, oleh karenanya motor induksi bekerja pada faktor kerja terbelakang. Sedangkan pada motor sinkron terdapat dua sumber pembangkit fluks yaitu arus bolak-balik



(AC) pada stator dan arus searah (DC) pada rotor.

Gambar 2.8 Motor Induksi

Bila arus medan pada rotor cukup untuk membangkitkan fluks (gaya gerak magnet) yang diperlukan motor, maka stator tidak perlu memberikan arus pemagnetan atau daya reaktif dan motor bekerja pada faktor kerja = 1,0. Kalau arus medan pada rotor kurang (penguat berkurang), stator akan menarik arus pemagnetan dari jala-jala, sehingga motor bekerja pada faktor kerja terbelakang. Sebaliknya bila arus medan pada rotor berlebih (penguat berlebih), kelebihan fluks (gaya gerak magnet) ini harus diimbangi, dan stator akan menarik arus yang bersifat kapasitif dari jala-jala, dan karenanya motor bekerja pada faktor kerja terdahulu. Dengan demikian jelas faktor kerja motor sinkron dapat diatur dengan mengubah-ubah harga arus medan (I_f).

⁷ Zuhail, 1991, Dasar Tenaga Listrik, ITB, Bandung, halaman 116



2.3.1 Motor Sinkron⁸

Telah diketahui bahwa pada motor induksi tidak terdapat kumparan medan, sehingga sumber pembangkit fluks hanya diperoleh dari daya masuk, stator. Daya masuk untuk pembangkit fluks merupakan daya induktif, oleh karenanya motor induksi bekerja pada faktor kerja terbelakang. Sedangkan pada motor sinkron terdapat dua sumber pembangkit fluks yaitu arus bolak-balik (a-c) pada stator dan arus searah (d-c) pada rotor.

Bila arus medan pada rotor cukup untuk membangkitkan fluks (ggm) yang diperlukan motor, maka stator tidak perlu memberikan arus pemagnetan atau daya reaktif dan motor bekerja pada faktor kerja = 1,0. Kalau arus medan pada rotor kurang (penguat berkurang), stator akan menarik arus pemagnetan dari jala-jala, sehingga motor bekerja pada faktor kerja terbelakang. Sebaliknya bila medan pada rotor berlebih (penguat berlebih), kelebihan fluks (ggm) ini harus diimbangi, dan stator akan menarik arus yang bersifat kapasitif dari jala-jala, dan karenanya motor bekerja pada faktor kerja terdahulu. Dengan demikian jelas faktor kerja motor sinkron dapat diatur dengan mengubah-ubah harga arus medan (I_f).

2.3.2 Sudut Daya Mesin Sinkron⁹

Untuk alternator berlaku hubungan : $V = E - (IR_s + j IX_s)$(2.2)

Bila R_s diabaikan maka:

$$V = E - j IX_s$$

$$I = \frac{E - V}{j X_s}$$

Dalam bentuk polar dapat ditulis :

$$I = -j \frac{E \angle \delta^\circ - V \angle 0^\circ}{X_s} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$I = -j \frac{E \sin \delta + j E \cos \delta - V}{X_s}$$

Komponen nyata dari arus I adalah $- \sin \delta$,

Komponen nyata dari suatu arus dapat juga ditulis dengan $I \cos \delta$ □ .

⁸ Ibid 4, Zuhail, halaman 116

⁹ Ibid 4, Zuhail, halaman 118

Oleh karena itu bila daya $P = V \cdot I \cos \phi = - \sin \delta$

Maka :

$$P = - \sin \delta \text{ dan } T = - \sin \delta \dots\dots\dots(2.4)$$

Terlihat harga kopel (T) merupakan fungsi $\sin \delta$, sehingga akan mencapai harga maksimum pada saat $\delta = 90^\circ$.

2.3.3 Medan Putar¹⁰

Perputaran motor pada mesin arus bolak-balik ditimbulkan oleh adanya medan putar (fluks yang berputar) yang dihasilkan dalam kumparan statornya. Medan putar terjadi apabila kumparan stator dihubungkan dalam fasa banyak, umumnya fasa 3. Hubungan dapat berupa hubungan bintang atau delta.

2.3.4 Pengaturan Putaran¹¹

Motor induksi pada umumnya berputar dengan kecepatan konstan, mendekati kecepatan sinkronnya. Meskipun demikian pada penggunaan tertentu dikehendaki juga adanya pengaturan putaran. Pengaturan putaran motor induksi memerlukan biaya yang cukup tinggi. Biasanya pengaturan ini dapat dilakukan dengan beberapa cara :

1. Mengubah jumlah kutub motor

Karena $n_s = \frac{120}{p}$, perubahan jumlah kutub (p) atau frekuensi (f) akan mempengaruhi putaran. Jumlah kutub dapat diubah dengan merencanakan kumparan stator sedemikian rupa sehingga dapat menerima tegangan masuk pada posisi kumparan yang berbeda – beda. Biasanya diperoleh dua perubahan kecepatan sinkron dengan mengubah jumlah kutub dari 2 menjadi 4.

2. Mengubah frekuensi jala-jala

Pengaturan putaran motor induksi dapat dilakukan dengan mengubah-ubah harga frekuensi jala. Hanya saja untuk menjaga kesetimbangan kerapatan fluks, perubahan tegangan harus dilakukan bersamaan dengan perubahan

¹⁰ Ibid 4, Zuhail, halaman 65

¹¹ Ibid 4, Zuhail, halaman 84 - 86

frekuensi. Persoalannya sekarang adalah bagaimana mengatur frekuensi secara efektif dan ekonomis.

3. Mengatur tegangan jala-jala

$$T = - (V_1)^2 \frac{\dots}{\dots} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dari persamaan kopel motor induksi di atas diketahui bahwa kopel sebanding dengan pangkat dua tegangan yang diberikan.

4. Pengaturan tahanan luar

Tahanan luar motor induksi rotor belitan dapat diatur, pengaturan putaran motor induksi umumnya mahal, sedangkan daerah pengaturan yang diperoleh tidak begitu lebar, kecuali cara pengaturan pada 2, yaitu pengaturan frekuensi jala.

2.3.5 Prinsip Kerja Motor Induksi¹²

Pada motor 3 fasa dapat dilihat, bahwa fluks magnet yang berbentuk di sekitar stator merupakan medan magnet yang berputar karena listrik yang dimasukkan pada lilitan stator merupakan arus listrik yang berputar. Tetapi lain halnya dengan medan magnet yang terbentuk disekitar stator pada motor 1 fasa. Pada motor 1 fasa fluks magnet hanya bergantian arah, sehingga menyulitkan bagi motor pada saat start. Untuk itu maka diperlukan bantuan yang prinsipnya membentuk medan magnet baru yang tidak sefasa dengan medan magnet lilitan utama (harus terdapat aliran listrik baru yang tidak sefasa dengan arus listrik yang mengalir pada lilitan utama), yang berarti harus terdapat lilitan kedua yang terpisah dari lilitan utama.

Jadi pada motor tersebut meskipun menggunakan listrik 1 fasa, tetapi didalam lilitan stator terdapat arus listrik 2 fasa dengan lilitan stator 2 fasa pula. Lilitan ini disebut lilitan utama (*main winding*) dan lilitan bantu (*auxiliary winding*). Apabila motor telah berjalan normal, maka lilitan bantu dapat dilepas. Adapun prinsip kerja motor induksi adalah sebagai berikut :

¹² Drs. Sumanto, MA, 1993, Motor Listrik Arus Bolak-Balik, Andi Offset, Yogyakarta., halaman 7-8



- Apabila sumber tegangan 3 fasa dipasang pada kumparan stator, timbullah medan putar dengan kecepatan $n_s = \frac{120}{f}$.
- Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor.
- Akibatnya pada batang konduktor dari rotor akan timbul gaya gerak listrik (GGL) induksi.
- Karena kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup, maka GGL akan menghasilkan arus (I).
- Adanya arus didalam medan magnet menimbulkan gaya (F) pada rotor.
- Bila kopel (*torque*) mula yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul *couple* beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.
- Tegangan induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan putar stator. Artinya agar GGL induksi tersebut timbul, diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator (n_s) dengan kecepatan berputar rotor (n_r).
- Perbedaan kecepatan antara n_r dan n_s disebut slip (s), dinyatakan dengan:

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

Di mana :

S = Slip

n_r = Kecepatan perputaran medan rotor (rpm)

n_s = Kecepatan medan stator (rpm)

- Bila $n_r = n_s$ maka GGL induksi tidak akan timbul dan arus tidak mengalir pada batang konduktor (rotor), dengan demikian tidak dihasilkan *couple*.
- Dilihat dari kerjanya, motor induksi disebut juga sebagai motor tak serempak atau asinkron.

2.3.6 Konstruksi Motor Induksi¹³

Konstruksi dasar dari motor induksi terdiri :

¹³ Op.Cit 4, Zuhail., halaman 82-83



1. Stator (Bagian Diam)

Gambar 2.9 Stator

Stator yang ditunjukkan pada gambar 2.4 adalah bagian pada motor listrik yang berfungsi sebagai stasioner dari sistem rotor, stator bisa berupa gulungan kawat tembaga yang membentuk medan magnet untuk mengatur perputaran rotor.

2. Rotor (Bagian Berputar).

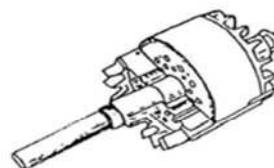
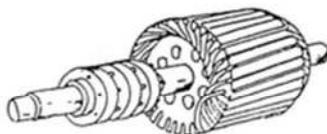
Rotor adalah bagian dari motor listrik yang berputar pada sumbu rotor. Perputaran rotor disebabkan karena adanya medan magnet dan lilitan kawat pada rotor. Sedangkan torsi pada perputaran rotor ditentukan oleh banyaknya lilitan kawat dan juga diameternya. Dalam hal konstruksi belitannya, rotor motor induksi dibagi atas dua jenis, jenis rotor belitan yang ditunjukkan pada Gambar 2.5 dan jenis rotor sangkar yang ditunjukkan pada Gambar 2.6.

- Rotor belitan

Motor induksi jenis ini mempunyai rotor dengan belitan kumparan tiga fasa sama seperti kumparan stator. Kumparan stator dan rotor juga mempunyai jumlah kutub yang sama.

- Rotor sangkar

Motor induksi jenis ini mempunyai rotor dengan kumparan yang terdiri dari beberapa batang konduktor yang disusun sedemikian rupa hingga menyerupai sangkar tupai.





Gambar 2.10 Rotor Belitan

Gambar 2.11 Rotor Sangkar

2.3.7 Frekuensi¹⁴

Untuk setiap satu siklus tegangan yang dihasilkan mesin menyelesaikan – kali putaran. Karena itu frekuensi gelombang tegangan adalah :

$$= - x - \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

f = frekuensi (Hz)

p = jumlah kutub

n = rotasi per menit (rpm)

Kecepatan sinkron untuk mesin arus bolak-balik lazim dinyatakan dengan :

$$= \text{---} \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

ns = kecepatan sinkron (rpm)

f = frekuensi (Hz)

P = jumlah kutub

2.3.8 Slip¹⁵

Berubah – ubahnya kecepatan motor induksi (nr) mengakibatkan berubahnya harga slip dari 100% pada saat start sampai 0% pada saat motor diam (nr = ns).

Hubungan frekuensi dengan slip dapat dilihat sebagai berikut :

$$n_s = \text{---} \text{ atau } f_1 = \text{---} \dots\dots\dots (2.9)$$

Pada rotor berlaku hubungan :

$$f_2 = \frac{(\text{---})}{\text{---}} \dots\dots\dots (2.10)$$

f2 = frekuensi arus rotor.

$$\text{Atau } f_2 = \text{---} \times \text{---} \dots\dots\dots (2.11)$$

¹⁴ Op.Cit 4, Zuhail., halaman 63

¹⁵ Op.Cit 4, Zuhail, halaman 69, 70

Karena $S = \frac{f_2}{f_1}$ dan $f_1 = \frac{1}{s}$, maka $f_2 = f_1 \times s$

Pada saat start $S = 100\%$; $f_2 = f_1$

Dengan demikian terlihat bahwa pada saat start dan rotor belum berputar frekuensi pada stator dan rotor sama. Dalam keadaan rotor berputar, frekuensi arus rotor dipengaruhi oleh slip ($f_2 = Sf_1$). Karena tegangan induksi dan reaktansi kumparan rotor merupakan fungsi frekuensi, maka harganya turut pula dipengaruhi slip.

2.3.9 Daya Listrik¹⁶

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 :

$$P = I \times V \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana:

P = daya (Watt)

I = arus (A)

V = tegangan (Volt)

2.3.10 Torsi Sinkronisasi¹⁷

Torsi sinkronisasi T_{sy} dinyatakan dalam N-meter

Daya sinkronisasi besarnya adalah:

$$3P_{sy} = T_{sy} \times 2\pi \times \frac{N_s}{60} \text{ [watt]} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$T_{sy} = \frac{3P_{sy}}{2\pi \times \frac{N_s}{60}} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dengan N_s adalah kecepatan sinkronisasi dan sama dengan 120 f/p.

2.3.11 Hubungan Putaran, Torsi, dan Daya¹⁸

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

$$T = \frac{P}{\omega} \dots\dots\dots (2.15)$$

¹⁶ https://id.wikipedia.org/wiki/Daya_listrik

¹⁷ Op.Cit 4, Zuhul, halaman 111

¹⁸ R.S. Khurmi, 1980, A Text Book Of Machine Design, J.K. Gupta, New Delhi., halaman 716

Keterangan :

= kecepatan putar (rad/s)

n = putaran (rpm)

Sehingga beban torsinya yaitu :

$$T = F \cdot r \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan :

T = momen putar/torsi (N.m)

F = gaya (N)

r = jari-jari (m)

Rumus menghitung putaran motor atau rpm adalah :

$$n = 120 \times f : p \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana :

n = jumlah putaran (rpm)

f = frekuensi (Hz)

p = jumlah kutub

2.4 Pulley¹⁹

Pulley yang ditunjukkan pada Gambar 2.7 adalah suatu alat mekanis yang digunakan sebagai pendukung pergerakan belt atau sabuk lingkar untuk menjalankan suatu 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 dari satu titik ke titik lain.

¹⁹ Sularso Kiyokatsu Suga, 1983, Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin, Pradnya Paramita, Jakarta., halaman 163



Gambar 2.12 Pulley

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

$$— : — \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana:

N_1 = motor penggerak (rpm)

N_2 = mesin yang digerakkan (rpm)

D_1 = diameter *pulley* motor penggerak (cm)

D_2 = diameter *pulley* mesin yang digerakkan (cm)

2.5 Van Belt²⁰



Gambar 2.13 Van Belt

²⁰ Op.Cit 8, R.S. Khurmi., halaman 647



Jarak yang jauh antara dua buah poros sering tidak memungkinkan transmisi langsung dengan roda gigi. Dalam hal demikian, cara transmisi putaran atau daya yang lain dapat diterapkan, dimana sebuah sabuk luwes atau rantai dibelitkan sekeliling pulley pada poros. *Van belt* terbuat dari karet dan mempunyai penampang trapesium. Tenunan dipergunakan sebagai inti sabuk untuk membawa tarikan yang besar. *Van belt* dibelitkan di keliling alur pulley yang berbentuk V pula. Gaya gesekan juga akan bertambah karena pengaruh bentuk baji, yang akan menghasilkan transmisi daya yang besar.

Van Belt yang ditunjukkan pada gambar 2.8 digunakan untuk mentransmisikan daya dari poros yang satu ke poros yang lainnya melalui *pulley* yang berputar dengan kecepatan yang sama atau berbeda. *Van belt* merupakan salah satu elemen mesin yang berfungsi untuk mentransmisikan daya seperti halnya rantai dan roda gigi.

2.6 *Flywheel*²¹

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 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 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.

²¹ <http://www.scribd.com/doc/234987170/Referensi-Flywheel#scribd>



Gambar 2.14 *Flywheel*

Fungsi *Flywheel* yang ditunjukkan pada Gambar 2.9 pada mesin sama persis dengan fungsi gunung pada bumi. Ketika *Flywheel* 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 di mana 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.



²²Untuk mengetahui energi yang tersimpan didalam *flywheel*, didapat rumus yaitu :

$$= \frac{1}{2} W v^2 \dots\dots\dots (2.19)$$

Dimana :

E = energi *flywheel* (kg cm/sec²)

W = berat *flywheel* (kg)

g = gravitasi 9,81 (m/sec²)

v = kecepatan putar *flywheel* = $\omega \cdot r$

Dimana :

ω = kecepatan sudut = — (rad/sec)

r = jari-jari (m)

²² Op.Cit 8, R.S. Khurmi., halaman 712