



TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Motor Listrik Arus Bolak-Balik (Motor AC)

Motor Arus Bolak-Balik (Alternating Current) adalah jenis motor listrik yang bekerja menggunakan tegangan AC (Alternating Current). Motor AC memiliki dua buah bagian utama yaitu “stator” dan “rotor”. Stator merupakan komponen motor AC yang statis. Rotor merupakan komponen motor. AC yang berputar. Motor AC dapat dilengkapi dengan penggerak frekuensi variabel untuk mengendalikan kecepatan sekaligus menurunkan konsumsi dayanya.

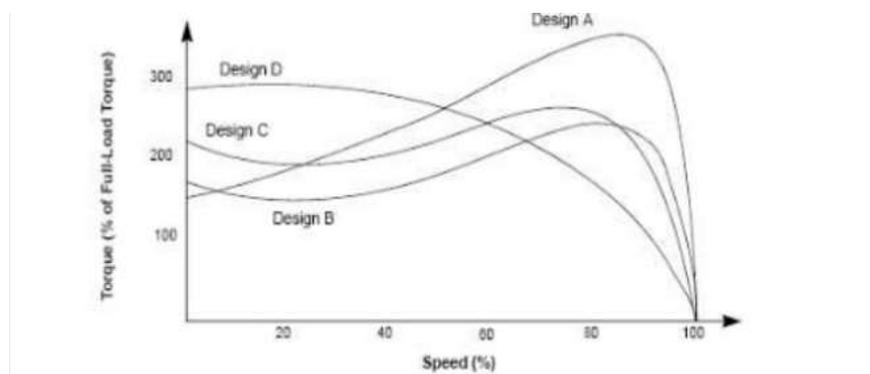
Jenis-Jenis Motor AC

- a) Motor sinkron ($n_s = n_r$)
- b) Motor induksi

Motor induksi dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama yaitu :
Motor induksi 1 fasa dan Motor induksi 3 fasa. (Sumanto,M.A,1993: 1)

2.2 karakteristik motor induksi

Berdasarkan Standar yang dikeluarkan oleh National Electrical Manufacturers Association (NEMA) Motor Induksi dapat dikelompokkan menjadi 4 kelas berdasarkan karakteristik masing-masing, yaitu kelas A, B, C, dan D. Berikut Kurva karakteristik motor induksi



**POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA**

- a) **Karakteristik Motor Kelas A :**
- Mempunyai rangkaian resistansi rotor kecil
 - Beroperasi pada slip sangat kecil ($s < 0,01$) dalam keadaan berbeban
 - Untuk keperluan torsi start yang sangat kecil
- b) **Karakteristik Motor Kelas B :**
- Untuk keperluan umum , mempunyai torsi starting normal dan arus starting normal
 - Regulasikecepatan putar pada saat full load rendah (dibawah 5%)
 - Torsi starting sekitar 150% dari rated
 - Walaupun arus starting normal, biasanya mempunyai besar 600% dari full load
- c) **Karakteristik Motor Kelas C :**
- Mempunyai torsi statring yang lebih besar dibandingkan motor kelas B
 - Arus starting normal, slip kurang dari 0,05 pada kondisi full load
 - Torsi starting sekitar 200% dari rated
 - Untuk konveyor , pompa , kompresor dll
- d) **Karakteristik Motor Kelas D :**
- Mempunyai torsi statring yang besar dan arus starting relatif rendah
 - Slip besar
 - Pada slip beban penuh mempunyai efisiensi lebih rendah dibandingkan kelas motor lainnya
 - Torsi starting sekitar 300%



2.3 Insulation Class pada Motor

Insulation class pada Motor Insulation Class adalah pembagian kelas untuk ketahanan motor pada temperatur tertentu. Standar NEMA (The National Electrical Manufacture Association) membagi Insulation Class menjadi 4 yaitu A, B, F dan H.

Sebelum motor dihidupkan maka suhu motor akan setinggi suhu sekitarnya yang biasanya disebut sebagai Suhu Ruangan (Ambient Temperature). NEMA menstandarkan bahwa Suhu Ruangan yang dipakai adalah 40 derajat Celcius.

Setelah motor dijalankan maka suhu dalam lilitan motor akan bertambah yang disebut Peningkatan Suhu (Rise Temperature). Selain itu suatu margin dari titik ditengah lilitan biasanya lebih tinggi yang disebut sebagai Hot Spot.

- a) Peningkatan Suhu (Rise Temperature) ;
 - Class A = 60 deg C
 - Class B = 80 deg C
 - Class F = 105 deg C
 - Class H = 125 deg C
- b) Margin Hot Spot
 - Class A = 5 deg C
 - Class B = 10 deg C
 - Class F = 10 deg C
 - Class H = 15 deg C
- c) Maka Max Suhu Operasi dari motor adalah
 - Class A = $40 + 60 = 100$ deg C ; 5 deg C (Hot Spot)
 - Class B = $40 + 80 = 120$ deg C ; 10 deg C (Hot Spot)
 - Class F = $40 + 105 = 145$ deg C ; 10 deg C (Hot Spot)
 - Class H = $40 + 125 = 165$ deg C ; 15 deg C (Hot Spot)

(<http://dunia-listrik.blogspot.com/2008/12/motor-listrik.html>)

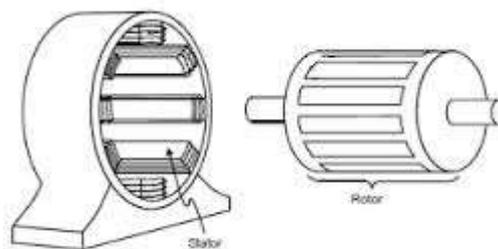


2.4 Motor Induksi Satu Fasa

Motor induksi adalah salah satu jenis dari motor-motor listrik yang bekerja berdasarkan induksi elektromagnet. Motor induksi memiliki sebuah sumber energi listrik yaitu di sisi stator, sedangkan sistem kelistrikan di sisi rotornya di induksikan melalui celah udara dari stator dengan media elektromagnet. Hal inilah yang menyebabkannya diberi nama motor induksi. Adapun penggunaan motor induksi di industri ini adalah sebagai penggerak, seperti untuk blower, kompresor, pompa, penggerak utama proses produksi atau mill, peralatan workshop seperti mesin-mesin bor, grinda, crane, dan sebagainya (Arindya Retno.I,2 2013).

2.4.1 Konstruksi Motor Induksi Satu Fasa

Konstruksi motor induksi satu fasa terdiri atas dua komponen yaitu stator dan rotor. Stator adalah bagian dari motor yang tidak bergerak dan rotor adalah bagian yang bergerak yang bertumpu pada bantalan poros terhadap stator. Motor induksi terdiri atas kumparan-kumparan stator dan rotor yang berfungsi membangkitkan gaya gerak listrik akibat dari adanya arus listrik bolak-balik satu fasa yang melewati kumparan-kumparan tersebut sehingga terjadi suatu interaksi induksi medan magnet antara stator dan rotor. Bentuk dan konstruksi motor tersebut digambarkan pada gambar 2.1 (insyaansori,2013).



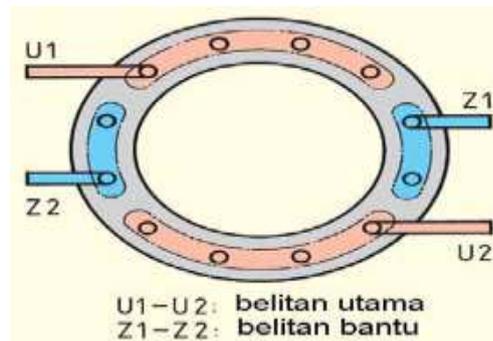
Gambar 2.1. Konstruksi Motor Induksi Satu Fasa

Motor induksi satu fasa tidak terjadi medan magnet putar seperti halnya motor induksi tiga fasa. Sehingga diperlukan suatu kumparan bantu untuk mengawali berputar. Motor induksi 1 fasa memiliki dua belitan stator, yaitu belitan fasa utama (belitan U1-U2) dan belitan fasabantu (belitan Z1-Z2). Prinsip



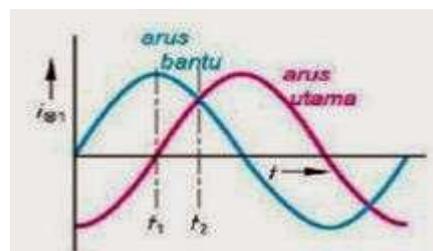
POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA

kerja medan magnet utama dan medan magnet bantu pada motor 1 fasa dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Prinsip Medan Magnet Utama dan 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. Grafik arus belitan bantu I_{bantu} dan arus belitan utama I_{utama} berbeda fasa sebesar ϕ , hal ini disebabkan karena perbedaan besarnya impedansi kedua belitan tersebut. Perbedaan arus beda fasa ini menyebabkan arus total, merupakan penjumlahan vektor arus utama dan arus bantu. Medan magnet utama yang dihasilkan belitan utama juga berbeda fasa sebesar ϕ dengan medan magnet bantu. Berikut ini merupakan gambar 2.4 grafik arus belitan bantu dan arus belitan utama.



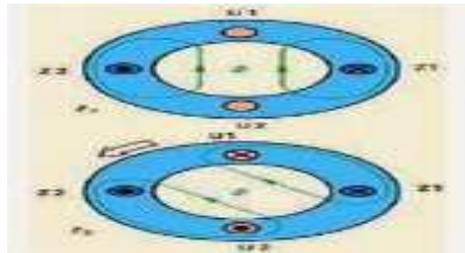
Gambar 2.3. Gelombang Arus Medan Bantu dan Arus Medan

Belitan bantu Z1-Z2 pertama dialiri arus I_{bantu} menghasilkan fluks magnet tegak lurus, beberapa saat kemudian belitan utama U1-U2 dialiri arus utama I_{utama} , yang bernilai positif. Hasilnya adalah medan magnet yang



POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA

bergeser sebesar 45° dengan arah berlawanan jarum jam. seperti pada gambar 2.5. Kejadian ini berlangsung terus sampai satusiklus sinusoida, sehingga menghasilkan medan magnet yang berputar pada belitan statornya.



Gambar 2.4. Medan Magnet Pada Stator Motor Satu Fasa

Rotor motor satu fasasama dengan rotor motor tiga fasa 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 menghasilkan torsi putar pada rotor. Berikut ini merupakan gambar 2.6 rotor sangkar.



Gambar 2.5 Rotor Sangkar

(<http://dunia-listrik.blogspot.com/2009/04/motor-listrik-ac-satu-fasa.html>)



2.4.2 Jenis Motor Induksi SatuFasa

Adapun jenis-jenis Motor induksi 1 fasa diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Motor Kapasitor
2. Motor Shaded Pole
3. Motor Universal.

2.4.2.1 Motor Kapasitor

Motor kapasitor menggunakan konstruksi dan sistem kumparan yang hampir sama dengan motor fasa terpisah. Perbedaan utamanya adalah kumparan bantu pada motor kapasitor di tambah dengan kapasitor (elco) yang di sambung secara seri. Adanya kapasitor pada rangkaian kumparan bantu menyebabkan motor kapasitor mempunyai kelebihan bila di bandingkan dengan jenis motor listrik yang lain, yaitu lebih dingin dan juga tahan lama. Motor induksi kapasitor satu fasa banyak digunakan dalam peralatan rumah tangga seperti motor pompa air, motor mesin cuci, motor lemari es. Konstruksinya sederhana dengan daya kecil dan bekerja dengan suplai PLN 220V menjadikan motor kapasitor banyak dipakai pada peralatan rumah tangga. Bentuk fisik motor kapasitor dapat dilihat pada gambar 2.6. (Sumber: Indra Gunawan, 2013:7)

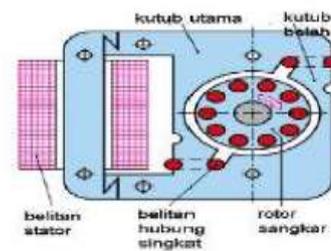


Gambar 2.6. Bentuk Fisik Motor Kapasitor



2.4.2.2 Motor Shaded Pole

Motor shaded pole atau motor fasaterbelah termasuk motor satu fasa daya kecil, banyak digunakan untuk peralatan rumah tangga sebagai motor penggerak kipas angin dan blender. Konstruksinya sangat sederhana, pada kedua ujung stator ada dua kawat yang terpasang dan dihubungkan singkatkan fungsinya sebagai pembelah fasa. Belitan stator dibelitkan sekeliling inti membentuk seperti belitan transformator. Rotornya berbentuk sangkar tupai dan porosnya ditempatkan pada rumah stator ditopang dua buah bearing. Bentuk fisik motor shaded pole dapat dilihat pada gambar 2.7. (Sumber: Indra Gunawan, I, 2013:7)



Gambar Motor Shaded Pole / Motor fasa terbelah.

Gambar Penampang Motor Shaded Pole.

Gambar 2.7 Bentuk Fisik Motor Shaded Pole

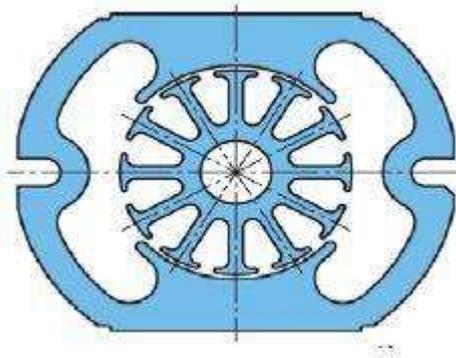
2.4.2.3 Motor Universal

Motor Universal termasuk motor satu fasa dengan menggunakan belitan stator dan belitan rotor. Motor universal dipakai pada mesin jahit maupun motor bor tangan. Perawatan rutin dilakukan dengan mengganti sikat arang yang memendek atau pegas sikat arang yang lembek. Konstruksinya yang sederhana, handal, mudah dioperasikan, daya yang kecil, dan torsi yang cukup besar. Bagian dalam motor universal dapat dilihat pada gambar 2.8. (Sumber: Indra Gunawan, I, 2013:11)



Gambar 2.8. Komutator pada Motor Universal

Bentuk stator dari motor universal terdiri dari dua kutub stator. Belitan rotor memiliki dua belas alur belitan dilengkapi komutator dan sikat arang yang menghubungkan secara seri antara belitan stator dengan belitan rotornya. Aplikasi motor universal untuk mesin jahit, untuk mengatur kecepatan dihubungkan dengan tahanan geser dalam bentuk pedal yang ditekan dan dilepaskan. Bentuk stator dan rotor motor universal dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9. Stator dan Rotor Motor Universal

2.5 Gangguan Pada Motor Listrik

Gangguan listrik adalah kejadian yang tidak diinginkan dan mengganggu kerja alat listrik. Akibat gangguan, peralatan listrik tidak berfungsi dan sangat merugikan. Bahkan gangguan yang luas dapat mengganggu keseluruhan kerja sistem produksi dan akan merugikan perusahaan sekaligus pelanggan. Jenis gangguan listrik terjadi karena berbagai penyebab, salah satunya kerusakan isolasi kabel.



Tipe-tipe gangguan elektrik dalam motor-motor adalah serupa dengan tipe-tipe gangguan elektrik dari generator-generator. Oleh karena itu, motor-motor secara umum diproteksi dari gangguan-gangguan berikut:

- a. Gangguan-gangguan stator.
- b. Gangguan-gangguan rotor.
- c. Beban lebih (*Overload*).
- d. Tegangan-tegangan suplai yang tidak seimbang termasuk memfasatunggal (*singlephasing*).
- e. Tegangan kurang (*under voltage*).
- f. Starting fasa terbuka atau terbalik.
- g. Kehilangan sinkronisme (dalam kasus motor sinkron saja).

2.6 Penyebab Gangguan Pada Bearing

Penyebab Gangguan pada bearing ialah sbb:

- a. Bearing aus / Pelumasan yang kurang tepat : proses regreasing yang kurang baik akan membuat bearing mengalami kendala atau kerusakan.
- b. Kelebihan beban : Mesin yang beroperasi dengan beban berlebih akan memperpendek usia pakai bearing.
- c. Teknik pemasangan yang kurang tepat : Kerusakan dini bearing yang disebabkan oleh faktor pemasangan yang kurang tepat dikarenakan peralatan kerja yang kurang memadai.
- d. Kontaminasi : Bearing adalah komponen penting dalam suatu mesin. Mesin tidak bisa beroperasi secara efektif apabila terdapat kontaminasi benda asing seperti debu, kotoran dan sebagainya.

2.7 Tahapan Menggulung Ulang Kumparan

Tahapan untuk menggulung ulang kumparan pada setiap tipe motor listrik satu fasa bias sama, namun bisa juga berbeda, tergantung pada bentuk dan sistem kumparan yang digunakan. Karena bentuk dan sistem untuk motor satu fasa terpisah sama dengan semua tipe motor kapasitor, semua tahapan menggulung ulang kumparannya juga sama.



Berikut adalah beberapa tahapan utama untuk menggulung ulang kumparan motor fasa terpisah dan motor kapasitor (Indra Gunawan, I,2013 : 19)

1. Mengeluarkan stator
2. Meneliti dan mencatat skema kumparan yang asli
3. Memasang kertas isolasi
4. Membuat cetakan
5. Membuat mesin penggulung cetakan
6. Menggulung kumparan
7. Memasukkan kumparan
8. Mengerjakan tahapan terakhir untuk menggulung kumparan

2.8 Hal – hal yang harus diperhitungkan dalam *Rewinding* Belitan motor listrik satu fasa pada Pompa Air

2.6.1 Kumparan Stator

Yang dimaksud dengan langkah kumparan adalah sudut kisar yang dibentuk antara kedua sisi kumparan dan diberi dengan tanda huruf Yg. Untuk mendapatkan kopel putar yang maksimal, maka langkah kumparan harus sama dengan satu jarak kutub. Satu jarak kutub adalah kisar sudut antara kutub utara (U) dan kutub selatan (S) yang paling berdekatan.

Sedangkan jarak kutub diberi tanda Tho (σ) dan satu jarak kutub adalah 180° listrik. Apabila jumlah pasang kutub suatu motor adalah p, maka jumlah kutubnya adalah 2p dan perbandingan antara derajat lingkaran (derajat busur = $^\circ\text{bs}$) dan derajat listrik ($^\circ\text{el}$) . (Alkula,F ,2011: 8)

Apabila jumlah alur pada stator motor induksi 1 fasa ada G alur, maka kisar sudut satu kali keliling stator atau G alur adalah 360° bs. Apabila sebuah motor mempunyai sebanyak G alur adalah $= p.360^\circ\text{el}$. satu keliling stator = 2p jarak kutub atau G alur = 2p jarak kutub.



POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA

Jadi , satu jarak kutub = $1E = 180^\circ \text{ eL} = \frac{G}{2p \text{ Alur}}$, karena langkah kumparan

$Yg = 1E$, maka langkah kumparan menjadi: $Yg = \frac{G}{2p \text{ Alur}}$

Untuk motor satu fasa yang mempunyai satu pasang kutub dengan satu buah kumparan akan mempunyai :

$$Yg = \frac{G}{2p} \dots \dots \dots (2.1)$$

Untuk menentukan kumparan tiap kelompok pada motor induksi satu fasa sebagai berikut :

$$q = \frac{G}{2p.m} \dots \dots \dots (2.2)$$

Untuk mengetahui jumlah kutub atau pasang kutub magnet digunakan rumus :

$$\text{Jumlah pasang kutub} = \frac{60.f}{n} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

Yg = Langkah Kumparan

G = Jumlah Alur

$2p$ = Jumlah kutub

P = Jumlah pasang kutub

q = Banyaknya kumparan tiap kelompok

m = Jumlah fasa

2.6.2 Daya

Daya adalah sebagai laju hantaran energi listrik dalam rangkaian listrik. Satuan SI daya listrik adalah *watt* yang menyatakan banyaknya tenaga listrik yang mengalir per satuan waktu (*joule/detik*). (Zuhal, 1988:31).

Daya listrik arus bolak-balik terdapat tiga jenis daya, yaitu bisa dilihat pada



segitiga daya di bawah ini:



Gambar 2.10 Segitiga Daya

(Sumber : <https://duniaberbagiilmuuntuksemua.blogspot.com/2016/08/3-macam-daya-listrik.html>)

1. Daya Aktif (P)

Daya aktif adalah daya yang sesungguhnya dibutuhkan oleh beban. Satuan daya aktif adalah **W** (Watt) dan dapat diukur dengan menggunakan alat ukur listrik *Wattmeter*.

Daya aktif dapat dihitung dengan persamaan :

$$P = V \cdot I \cdot \cos \phi \dots \dots \dots (2.4)$$

2. Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif adalah daya yang dibutuhkan untuk pembentukan medan magnet atau daya yang ditimbulkan oleh beban yang bersifat induktif. Satuan daya reaktif adalah **VAR**.

Daya reaktif dapat dihitung dengan persamaan :

$$P = V \cdot I \cdot \sin \phi \dots \dots \dots (2.5)$$

3. Daya Semu (S)

Daya semu adalah daya yang dihasilkan dari perkalian tegangan dengan arus listrik. Daya semu merupakan daya yang diberikan oleh PLN kepada konsumen. Satuan daya semu adalah **VA**.

Daya semu dapat dihitung dengan persamaan :

$$P = V \cdot I \dots \dots \dots (2.6)$$

Jika mengetahui dua dari ketiga daya maka dapat menghitung salah



POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA

satu daya yang belum diketahui dengan menggunakan persamaan yang didapat dari segitiga daya yaitu :

$$P^2 = S^2 - Q^2 \dots\dots\dots(2.7)$$

$$Q^2 = S^2 - P^2 \dots\dots\dots(2.8)$$

$$S^2 = P^2 + Q^2 \dots\dots\dots(2.9)$$

Arus listrik yang mengalir dalam rangkaian dengan hambatan listrik menimbulkan kerja. Peranti mengkonversi kerja ini ke dalam berbagai bentuk yang berguna, seperti panas (seperti pada pemanas listrik), cahaya (seperti pada bola lampu), energi kinetik (motor listrik), dan suara (*loudspeaker*). Listrik dapat diperoleh dari pembangkit listrik atau menyimpan energi seperti baterai. Daya input dapat dihitung dengan persamaan 2.10 berikut ini :

$$P_i = V \cdot I \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots(2.10)$$

Daya output dapat dihitung dengan persamaan 2.11 berikut ini :
(Trikueni, 2013)

$$P_o = V \cdot I \cdot \text{Eff} \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots(2.11)$$

Effisiensi motor dapat dihitung dengan persamaan 2.12 berikut :

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100\% \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

P_i = Daya input (Watt)

P_o = Daya output (Watt)

η = Effisiensi(%)

V = Tegangan nominal motor (Volt)

I = Arus nominal motor (Ampere)

τ = Torsi(Nm)

n = Kecepatan putaran (Rpm)



2.6.3 Kecepatan Putaran

Kecepatan perputaran medan magnetik motor (perputaran sinkron) N_s , dimana besarnya ditentukan oleh jumlah kutub frekuensi (2 kutub, 4 kutub, 6 kutub, dan 8 kutub). Perputaran sinkron ini biasanya lebih besar dari pada perputaran nominal motor (perputaran beban penuh, n) yang ada pada lembar data (*name plate*). Prinsip perputaran medan magnetik perputaran sinkron (N_s) diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.13 berikut ini : (Lister, 1993:213)

Dalam lilitan dua kutub medan membuat satu putaran penuh dalam satu siklus arus. Dalam lilitan empat kutub yang mana setiap fasa mempunyai dua grup kumparan terpisah yang dihubungkan seri, dapat ditunjukkan bahwa medan magnet putar membuat satu putaran dalam dua siklus arus. Dalam lilitan enam kutub, medan membuat satu putaran dalam tiga siklus arus. Secara umum medan membuat satu putaran dalam $P/2$ siklus atau

Siklus $\frac{P}{2}$ x putaran

Atau

Siklus per detik $\frac{P}{2}$ x putaran per detik

Oleh karena putaran per detik sama dengan putaran per menit, putaran (n) dibagi 60 dan banyaknya siklus per detik adalah frekuensi (f), maka :

$$f = \frac{P}{2} \times \frac{n}{60} = \frac{N_s \cdot p}{120}$$

$$N_s = \frac{120 \times f}{p} \dots\dots\dots(2.14)$$

Kecepatan putar dari medan magnet putar disebut kecepatan sinkron atau kecepatan stator dari motor.

Dimana :

N_s = perputaran sinkron (*Rpm*)

f = frekuensi (*Hz*)

p = jumlah kutub (*2 kutub, 4 kutub, 6 kutub, dan 8 kutub*)



2.6.4 Slip

Perbedaan kecepatan putar antara kecepatan putar stator dan rotor disebut slip dan ditulis dengan persamaan : (Rijono, Y,2002 : 322)

$$S = \frac{(N_s - N_r)}{N_s} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana :

S = Slip motor (%)

N_s = Perputaran sinkron (Rpm)

N_r = Perputaran beban penuh (Rpm)