



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

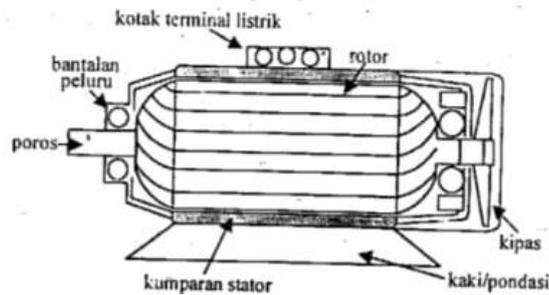
#### 2.1 Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi adalah salah satu dari jenis motor listrik yang bekerja berdasarkan induksi elektromagnet. Motor induksi memiliki sebuah sumber energi listrik yaitu pada sisi stator. Sedangkan disisi rotornya di induksikan melalui celah udara dari stator dengan media elektromagnet. Motor induksi yang umum dikenal ada dua macam berdasarkan jumlah fasanya, yaitu motor induksi satu fasa dan motor induksi tiga fasa. Penggunaan mesin induksi sebagai motor listrik cukup banyak digunakan. Hal ini karena motor induksi mempunyai keuntungan sebagai berikut :

1. Bentuknya sederhana, konstruksinya sangat kuat.
2. Biayanya murah dan dapat diandalkan.
3. Efisiensi tinggi pada keadaan normal, tidak memerlukan sikat sehingga rugi-rugi gesekan dapat dikurangi.
4. Perawatan yang minimum.
5. Pada waktu mulai beroperasi tidak memerlukan tambahan peralatan khusus.

Namun disamping hal tersebut, perlu juga diperhatikan faktor-faktor yang tidak menguntungkan sebagai berikut :

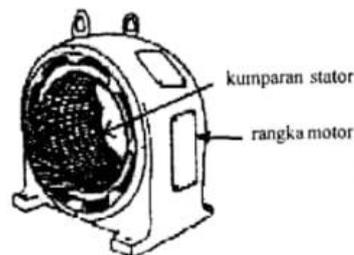
1. Pengaturan kecepatannya sangat mempengaruhi efisiensinya.
2. Kecepatannya akan berkurang jika bebannya bertambah.
3. Kopel mulanya lebih rendah dari pada mesin arus searah paralel.



Gambar 2.1 Konstruksi dasar motor induksi

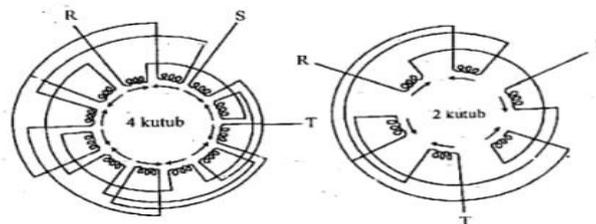
## 2.2 Konstruksi Motor Induksi Tiga Fasa

Semua jenis motor dan generator listrik mempunyai rotor dan stator, dimana rotor merupakan bagian yang berputar sedangkan stator merupakan bagian yang diam (statis). Pada dasarnya untuk konstruksi mesin listrik, motor induksilah yang memiliki konstruksi paling sederhana, yang merupakan dasar diciptakannya mesin listrik lain (mesin sinkron dan mesin arus searah).



Gambar 2.2 Konstruksi mesin stator induksi

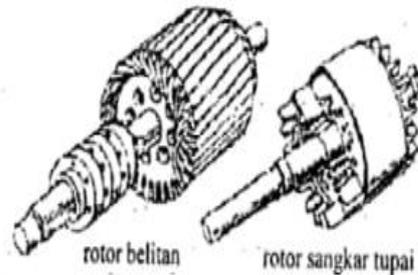
Adapun hubungan kumparan rotornya dapat dilihat pada gambar 2.3 sebagai berikut :



Terminal R,S,T dihubungkan kecatu daya tiga fasa

Gamar 2.3 skema hubungan kumparan pada stator motor induksi tiga fasa terhubung bintang.

Dalam hal konstruksi rotornya, motor induksi dibagi menjadi dua jenis, yaitu jenis rotor sangkar tupai (*squirrel-cage rotor*) dan jenis rotor belitan (*wound rotor*).



Gambar 2.4 konstruksi rotor mesin induksi.<sup>1</sup>

### 2.3 Jenis Motor Induksi 3 Fasa

Ada dua jenis motor induksi motor induksi tiga fasa berdasarkan rotornya yaitu:

1. Motor induksi 3 fasa sangkar tupai ( squirrel-cage motor).
2. Motor induksi tiga fasa rotor belitan ( wound-rotor motor ).

Kedua motor ini bekerja pada prinsip yang sama dan mempunyai konstruksi stator yang sama tetapi berbeda dalam konstruksi rotor.

#### 2.3.1 Motor Induksi Tiga Fasa Sangkar Tupai (Squirrel-cage Motor)

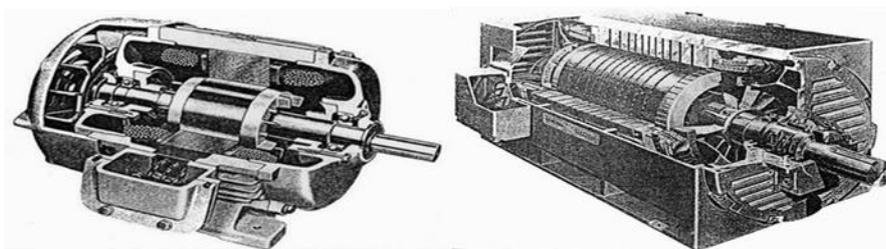
Penampang motor sangkar tupai memiliki konstruksi yang sederhana. Inti stator pada motor sangkar tupai tiga phasa terbuat dari lapisan-lapisan plat baja beralur yang didukung dalam rangka stator yang terbuat dari besi tuang atau plat baja yang dipabrikasi. Lilitan-lilitan kumparan stator diletakkan dalam rangka stator yang terbuat dari besi tuang atau plat baja yang dipabrikasi. . Lilitan-lilitan kumparan stator diletakkan dalam rangka stator yang terbuat dari besi tuang atau plat baja yang dipabrikasi. Lilitan-lilitan kumparan stator diletakkan dalam alur stator yang terpisah 120 derajat listrik. Lilitan fasa ini dapat tersambung dalam hubungan delta (  $\Delta$  ) ataupun bintang (Y). Rotor jenis rotor sangkar ditunjukkan pada gambar 2.5 dibawah ini :

<sup>1</sup> Wijaya, Mochtar,2001. Dasar-Dasar Mesin Listrik. Hal 155-157



Gambar 2.5 Rotor sangkar

Batang rotor dan cincin ujung motor sangkar tupai yang lebih kecil adalah coran tembaga atau aluminium dalam satu lempeng pada inti rotor. Dalam motor yang lebih besar, batang rotor tidak dicor melainkan dibenamkan ke dalam alur rotor dan kemudian dilas dengan kuat ke cincin ujung. Batang rotor motor sangkar tupai tidak selalu ditempatkan paralel terhadap poros motor tetapi kerap kali dimiringkan. Hal ini akan menghasilkan torsi yang lebih seragam dan juga mengurangi derau dengung magnetik sewaktu motor sedang berputar. Pada ujung cincin penutup dilekatkan sirip yang berfungsi sebagai pendingin. Rotor jenis rotor sangkar standar tidak terisolasi, karena batangan membawa arus yang besar pada tegangan rendah. Motor induksi dengan rotor sangkar ditunjukkan pada gambar 2.6 di bawah ini :



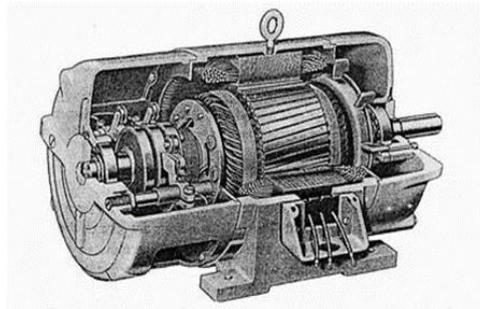
Gambar 2.6 Konstruksi motor induksi rotor sangkar

### 2.3.2 Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Belitan (Wound-Rotor Motor)

Motor rotor belitan ( motor cincin slip ) berbeda dengan motor sangkar tupai dalam hal konstruksi rotornya. Seperti namanya, rotor dililit dengan lilitan



terisolasi serupa dengan lilitan stator. Lilitan fasa rotor dihubungkan secara Y dan masing – masing fasa ujung terbuka yang dikeluarkan ke cincin slip yang terpasang pada poros rotor. Konstruksi motor tiga fasa rotor belitan ditunjukkan pada gambar 2.7 di bawah ini :



Gambar 2.7 Rotor belitan

#### 2.4 Prinsip Kerja Motor Induksi 3 Fasa

Pada dasarnya ada beberapa prinsip penting pada motor-motor induksi yaitu :

- a. Apabila sumber tegangan tiga fasa di pasang pada kumparan stator timbulah medan putar dengan kecepatan.

$$n_s = \frac{120 \times f}{P} \dots\dots\dots(2.1)$$

- b. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor
- c. Akibatnya pada kumparan rotor timbul ( ggl ) sebesar :

$$: 4,44.f_2.N_2.m \dots\dots\dots (2.2)$$

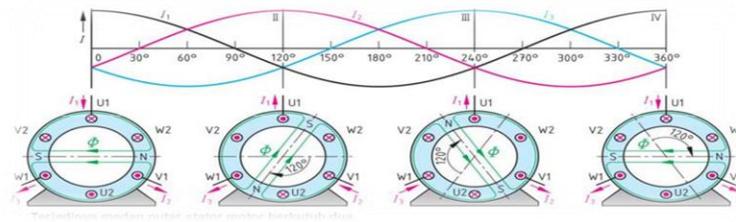
- d. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup, ggl (E) akan menghasilkan arus (I).
- e. Adanya arus didalam medan magnet menimbulkan gaya pada motor.
- f. Bila kopel mula dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator
- g. Tegangan induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan putar stator. Artinya agar tegangan terinduksi diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator ( $n_s$ ) dengan kecepatan berputar rotor ( $n_r$ ).

h. Perbedaan kecepatan antara  $n_r$  dan  $n_s$  disebut slip ( $s$ ) dinyatakan dengan :

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \dots \dots \dots (2.3)$$

- i. Bila  $n_r = n_s$ , tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan jangkar (rotor), dengan demikian tidak dihasilkan kopel. Kopel motor akan ditimbulkan apabila  $n_r$  lebih kecil dari  $n_s$ .
- j. Dilihat dari cara kerjanya maka motor tak serempak disebut juga motor induksi atau motor asinkron.<sup>2</sup>

Prinsip kerja motor induksi ini juga dapat dijelaskan dengan gelombang sinusoidal seperti pada gambar 2.7, terbentuknya medan putar pada stator motor induksi. Tampak stator dengan dua kutub, dapat diterangkan dengan empat kondisi



Gambar 2.8 Bentuk gelombang dan timbulnya medan putar pada Stator motor induksi

1. Saat sudut  $0^\circ$ . Arus  $I_1$  bernilai positif sedangkan arus  $I_2$  dan arus  $I_3$  bernilai negatif dalam hal ini belitan  $V_2$ ,  $U_1$  dan  $W_2$  bertanda silang (arus meninggalkan pembaca), dan belitan  $V_1$ ,  $U_2$  dan  $W_1$  bertanda titik (arus listrik menuju pembaca). terbentuk fluk magnet pada garis horizontal sudut  $0^\circ$  kutub S (south=selatan) dan kutub N (north=utara).
2. Saat sudut  $120^\circ$ . Arus  $I_2$  bernilai positif sedangkan arus  $I_1$  dan arus  $I_3$  bernilai negatif, dalam hal ini belitan  $W_2$ ,  $V_1$  dan  $U_2$  bertanda silang (arus meninggalkan pembaca), dan kawat  $W_1$ ,  $V_2$  dan  $U_1$  bertanda titik (arus

<sup>2</sup> Zuhail. 1991. Dasar Tenaga Listrik. ITB, Bandung. Hal : 68



menuju pembaca). Garis fluk magnet kutub S dan N bergeser  $120^0$  dari posisi awal.

3. Saat sudut  $240^0$ . Arus  $I_3$  bernilai positif dan  $I_1$  dan  $I_2$  bernilai negatif, belitan  $U_2$ ,  $W_1$ , dan  $V_2$  bertanda silang (arus meninggalkan pembaca), dan kawat  $U_1$ ,  $W_2$  dan  $V_1$  bertanda titik (arus menuju pembaca). Garis fluk magnet kutub S dan N bergeser  $120^0$  dari posisi kedua.
4. Saat sudut  $360^0$ . Posisi ini sama dengan saat sudut  $0^0$ . Dimana kutub S dan N kembali keposisi awal sekali. Dari keempat kondisi diatas saat sudut  $0^0$  ;  $120^0$  ;  $240^0$  ;  $360^0$ , dapat dijelaskan terbentuknya medan putar pada stator, medan magnet putar stator akan memotong belitan rotor. Kecepatan medan putar stator ini sering disebut kecepatan sinkron, tidak dapat diamati dengan alat ukur tetapi dapat dihitung secara teoritis yaitu dengan menggunakan rumus :

$$N_s = \frac{f \times 120}{P} = \text{RPM} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

$N_s$  = Kecepatan putaran medan stator (Rpm)

$f$  = Frekuensi jala-jala (Hz)

$P$  = Jumlah kutub pada motor (pole)

### 2.5 Slip<sup>3</sup>

Perbedaan kecepatan antara medan putar stator dengan rotor tergantung pada besarnya beban dari motor tersebut. Perbedaan putaran ini disebut dengan slip (S) yang dinyatakan dalam (%). Harga slip selalu berubah-ubah tergantung beban yang di pukul yaitu dari 100% saat start sampai dengan 0% saat diam ( $N_s=N_r$ ).

$$S = \left( \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \right) \dots\dots\dots (2.5)$$

<sup>3</sup> Sumanto, Drs. 1993. Motor Listrik Arus Bolak-Balik. Yogyakarta. Hal :43



Dalam hal ini kecepatan relatif rotor terhadap kecepatan medan putar stator adalah  $n_{rel}$ , dimana  $n_{rel} = n_s - n_r$ . Frekuensi yang dibangkitkan pada belitan rotor

## 2.6 Torsi

Torsi adalah kekuatan yang menghasilkan rotasi. Hal ini menyebabkan objek untuk berputar. Torsi terdiri dari gaya yang bekerja pada jarak. Torsi, seperti bekerja, diukur adalah pound-feet (lb-ft). Untuk menghitung torsi, kita dapat menerapkan rumus :

$$T = F \times D \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

T = torsi (lb-ft)

F = gaya (lb)

D = jarak (kaki)

Apabila satuan T diubah menjadi satuan lb ft maka :

$$1 \text{ lb} = 4,447 \text{ N} \qquad 1 \text{ lb ft} = 1,356 \text{ Nm}$$

$$1 \text{ ft} = 0,3048 \text{ m} \qquad 1 \text{ Nm} = 0,737 \text{ lb ft}$$

Dan untuk menghitung torsi motor pada saat beban penuh, kita dapat menerapkan rumus:

$$T = \frac{HP \times 5252}{n} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$T = \frac{P_{out}}{\omega} = \frac{V \cdot I}{\omega} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n / 60 \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

T = Torsi

HP = Daya kuda

n = Kecepatan Motor Induksi

Pout = Daya keluaran (output) motor induksi

$\omega$  = Kecepatan sudut putar



## 2.7 Efisiensi Motor Induksi 3 Fasa

Perhitungan efisiensi motor induksi melibatkan rugi-rugi yang terjadi pada stator dan rotor. Rugi-rugi stator terdiri atas rugi-rugi hysteresis, rugi-rugi eddy current, rugi-rugi inti dan rugi-rugi tembaga pada kumparan stator.

Efisiensi motor adalah perbandingan antara daya keluaran motor induksi dengan daya masukan motor induksi, yaitu dilihat pada persamaan (2.10) sebagai berikut:

$$\eta(\%) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana :

$P_{out}$  = Daya output motor induksi

$P_{in}$  = Daya input motor induksi

$$P_{in} = P_{out} + P_{rugi-rugi} \dots \dots \dots (2.11)$$

$$P_{rugi-rugi} = P_{in} - P_{out} \dots \dots \dots (2.12)$$

$$P_{in} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi \dots \dots \dots (2.13)$$

$$P_{out} = \frac{T \cdot n}{9,55} \dots \dots \dots (2.14)$$

Dimana :

$V$  = Tegangan

$I$  = Arus

$\cos \phi$  = Faktor Daya.

$P_{out}$  = Daya keluaran motor induksi

$P_{rugi-rugi}$  = Rugi-rugi daya pada motor induksi

$T$  = Torsi Motor

$n$  = Kecepatan Motor induksi

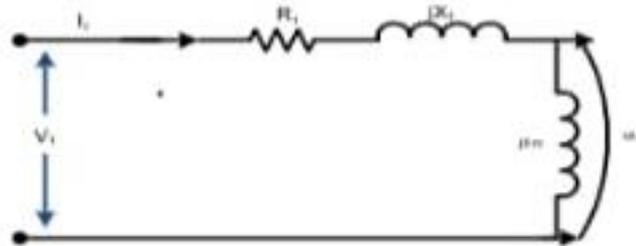
## 2.8 Rangkaian Thevenin Motor Induksi

Di dalam pengoperasiannya motor akan mengalami keadaan pengasutan yaitu awal motor dari keadaan mula yang diam (stop), lalu mulai bergerak (on).



Kemudian mencapai keadaan normal (*steady state*). Dari keadaan mula yang diam sampai dengan keadaan normal, motor memerlukan waktu nominal untuk melakukannya.

Arus mula tersebut dapat dihitung dengan menggunakan teori Thevenin dengan rumus yang didapatkan dari rangkaian *Thevenin* sebagai berikut :



Gambar 2.9 Rangkaian *Thevenin* Motor Induksi

Reaktansi *Thevenin* diperoleh :

$$R_{Th} = R_1 \left( \frac{X_m}{X_1 + X_m} \right)^2 \dots\dots\dots(2.15)$$

Tegangan perphasa :

$$V_\phi = \frac{V_s}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots(2.16)$$

Tegangan *Thevenin* :

$$V_{Th} = V_\phi \times \frac{X_m}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_m)^2}} \dots\dots\dots(2.17)$$

Sedangkan reaktansi *Thevenin*  $X_{Th} \approx X_1$

Untuk menghitung arus starting dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$I_{start} = \frac{V_{Th}}{\sqrt{(R_{Th} + R_2)^2 + (X_{Th} + X_2)^2}} \dots\dots\dots(2.18)$$



## 2.9 Pengasutan Motor Induksi

Saat motor induksi di *starting* secara langsung, arus awal motor besarnya antara 500% sd 700% dari arus nominal. Ini akan menyebabkan drop tegangan yang besar pada pasokan tegangan PLN. Untuk motor daya kecil sampai 5 KW, arus starting tidak berpengaruh besar terhadap drop tegangan. Pada motor dengan daya diatas 30 KW sampai dengan 100 KW akan menyebabkan drop tegangan yang besar dan menurunkan kualitas listrik dan pengaruhnya pada penerangan yang berkedip.

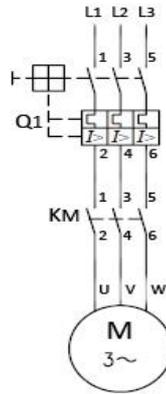
Pengasutan motor induksi adalah cara menjalankan pertama kali motor, tujuannya agar arus starting kecil dan drop tegangan masih dalam batas toleransi.

Ada beberapa cara teknik pengasutan, diantaranya :

1. Hubungan langsung (DOL)
2. Tahanan depan Stator (Primary Resistor)
3. Segitiga-Bintang (Start-Delta)
4. Pengasutan Soft starting
5. Tahanan Rotor lilit
6. Motor Dua Kecepatan Dahlander

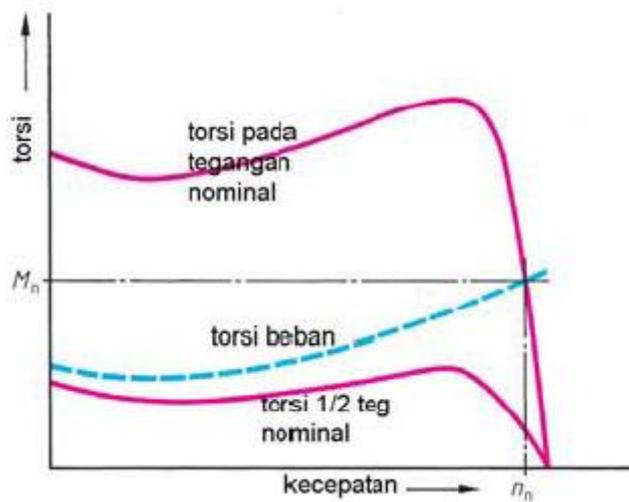
### 2.9.1 Pengasutan Hubungan Langsung (DOL)

Pengasutan hubungan langsung atau dikenal dengan istilah Direct On Line (DOL) gambar-2.11. Jala-jala tegangan rendah 380 V melalui pemutus rangkaian atau kontaktor Q1 langsung terhubung dengan motor induksi. Sekering berfungsi sebagai pengaman hubung singkat, jika terjadi beban lebih diamankan oleh relay pengaman beban lebih (overload relay).



Gambar.2.10 Pengawatan Motor Induksi Pengasutan Langsung (DOL)

Saat pemutus rangkaian/ kontaktor di ON kan motor induksi akan menarik arus starting antara 5 sampai 6 kali arus nominal motor. Untuk motor induksi dengan daya kecil 5 KW, hubungan langsung bisa dipakai. Arus starting yang besar akan menyebabkan drop tegangan disisi suply. Rangkaian jenis ini banyak dipakai untuk motor penggerak mekanik seperti mesin bubut, mesin bor, mesin freis.



Gambar.2.11. Karakteristik Torsi Pengasutan DOL

$$\text{Torsi} = \frac{(I_2)^2}{s} \dots\dots\dots(2.18)$$

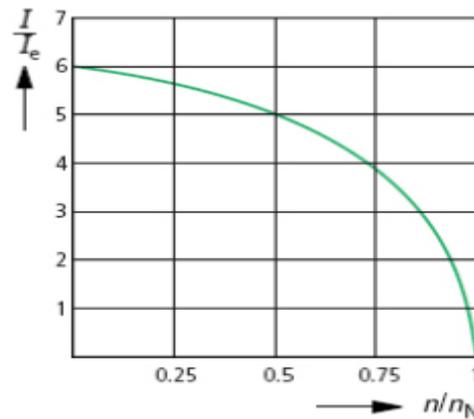
Motor di starting pada tegangan nominal, akan mengalir arus mendekati arus hubung singkat = 7 In. jika slip = 4% = 0,04.



$$\left(\frac{T_{ST}}{T}\right) = \left(\frac{I_{ST}}{I}\right)^2 \times s = (7^2) \times 0,04 = 1,96$$

Besarnya torsi *starting* = 1,96 kali torsi nominalnya. Kesimpulannya, saat arus *starting* 5 s/d 6 kali arus nominal hanya menghasilkan 1,96 x Torsi nominalnya. Gambar 2.11.

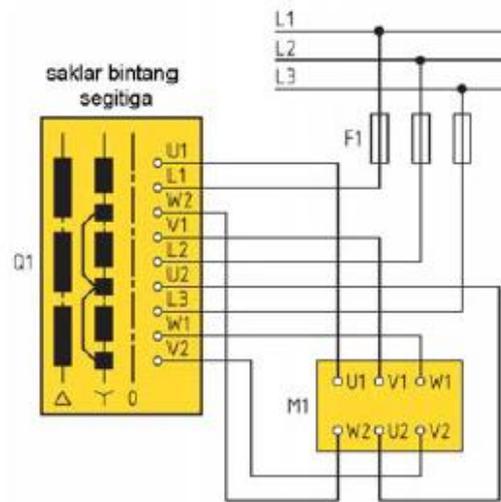
Karakteristik pengasutan langsung hanya sesuai untuk motor induksi berdaya kecil, karena untuk motor daya besar akan menyebabkan pengaruh *drop* tegangan yang besar. Ketika *starting* dimulai motor induksi akan menarik arus yang besarnya sampai 6 kali arus nominalnya, Secara berangsur-angsur ketika kecepatan motor mendekati nominalnya maka arus motor akan berada pada kondisi nominalnya gambar 2.12.



Gambar.2.12. Karakteristik Arus Fungsi Putaran, Pengasutan DOL.

### 2.9.2 Pengasutan Star-Delta

Motor induksi dengan pengasutan segitiga bintang dengan saklar manual gambar-2.13. Rangkaian bintang segitiga juga dapat dilaksanakan dengan menggunakan kontaktor secara elektromagnetik. Motor induksi dirangkai dengan saklar manual bintang segitiga.



Gambar.2.13 Pengawatan Pengasutan Bintang-Segitiga.

Saat saklar posisi tuas 0, semua rangkaian terbuka, sehingga motor dalam kondisi tidak bertegangan. Saat saklar posisi bintang (tanda Y), L<sub>1</sub>-U<sub>1</sub>; L<sub>2</sub>-V<sub>1</sub> dan L<sub>3</sub>-W<sub>1</sub>, sementara W<sub>2</sub>-U<sub>2</sub>-V<sub>2</sub> dihubung singkatkan.

Tegangan ke stator :

$$V_{\text{stator}} = V_{\text{phasa}} = \frac{V_{\text{line}}}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots(2.19)$$

$$I_{\text{stator}} = I_{\text{phasa}} = \frac{I_{\text{line}}}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots(2.20)$$

$$T_{\text{starting}} = \left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)^2 \times T_{\text{hs}} \dots\dots\dots(2.21)$$

Jika diketahui  $T_{\text{hs}} = 1,96 \times T_{\text{nominal}}$

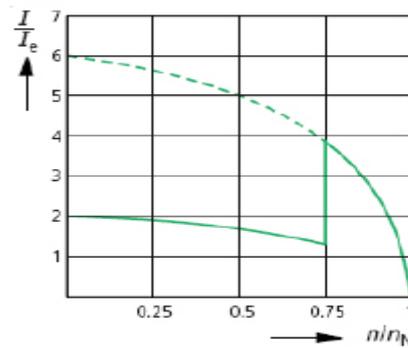
$$T_{\text{starting}} = 1/3 \times 1,96 = 0,65$$

$$I_{\text{st}} (Y - \Delta) = \frac{1}{3} \times I_{\text{st}} (\Delta) \dots\dots\dots(2.22)$$

Ketika saklar posisi segitiga (tanda Δ), motor induksi bekerja pada tegangan normal, arus nominal dan torsi nominal. Belitan stator mendapatkan tegangan sebesar tegangan phasa ke phasa. Harus diperhatikan nameplate motor untuk hubungan segitiga bintang harus disesuaikan dengan tegangan kerja yang digunakan, jika salah menggunakan belitan akan terbakar.

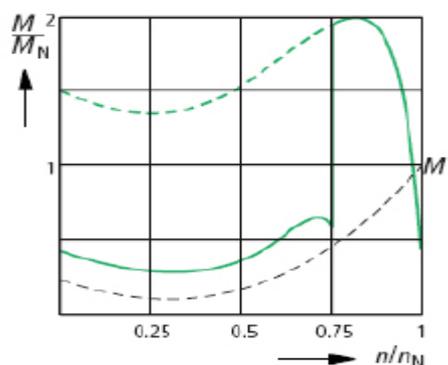


Karakteristik arus fungsi putaran  $I = f(n)$  pengasutan bintang-segitiga gambar-2.14. Ketika motor terhubung bintang, arus starting dua kali arus nominalnya sampai 75% dari putaran nominal. Ketika motor terhubung segitiga arus motor meningkat empat kali arus nominalnya. Secara berangsur-angsur arus motor menuju nominal saat putaran motor nominal.



Gambar.2.14 Karakteristik Arus Pengasutan Bintang-Segitiga.

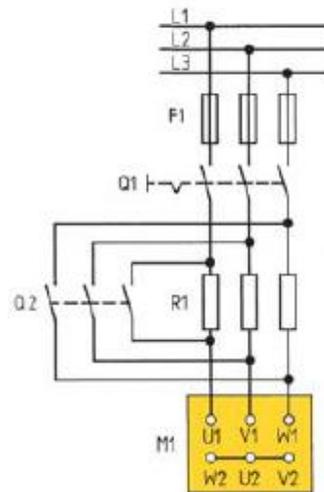
Karakteristik torsi fungsi putaran  $T = f(n)$  pengasutan bintang-segitiga gambar 2.15. Memerlihatkan ketika motor terhubung bintang, torsi starting sebesar setengah dari torsi nominalnya sampai 75% dari putaran nominal. Ketika motor terhubung segitiga torsi motor meningkat menjadi dua kali lipat torsi nominalnya. Secara berangsur-angsur torsi motor mendekati nominal saat putaran motor nominal.



Gambar.2.15 Karakteristik Torsi Pengasutan Bintang-Segitiga

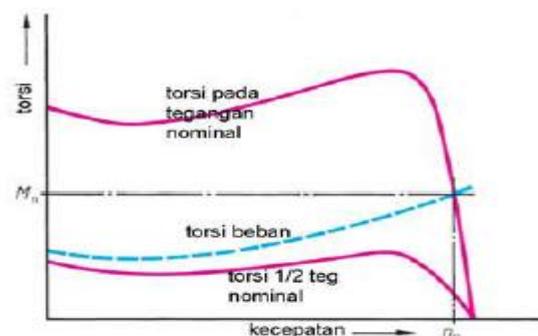
### 2.9.3 Pengasutan Resistor Stator

Pengasutan dengan memasang resistor pada rangkaian stator gambar 2.16. Pertama kali kondisi starting kontaktor  $Q_1$  ON, maka tegangan jala-jala PLN ke rangkaian stator dengan melewati resistor  $R_1$ . Fungsi resistor untuk menurunkan tegangan ke stator. Jika tegangan ke stator berkurang 50%, maka arus starting ditekan menjadi 50% yang akan menyebabkan torsi menjadi 25% dari torsi nominalnya gambar 2.16.



Gambar.2.16 Pengawatan Pengasutan Resistor Stator.

Setelah proses starting selesai, kontaktor  $Q_2$  di ON kan sehingga stator mendapat tegangan nominal dan motor akan menarik arus nominal dan hasilnya adalah torsi nominal. Belitan stator motor induksi dalam hubungan bintang, dimana terminal  $W_2$ ,  $U_2$  dan  $V_2$  dihubung-singkatkan.



Gambar.2.17 Karakteristik Torsi Pengasutan Resistor Stator.



Jika  $x$  adalah faktor pengurangan tegangan, maka :

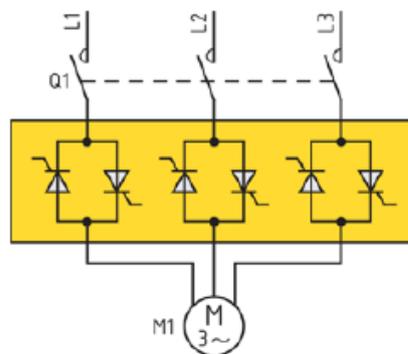
$$I_{\text{starting}} = x \cdot I_{\text{hs}} \text{ dan } T_{\text{starting}} = x^2 \cdot T_{\text{hs}}$$

$$T_{\text{orsi}} = I^2 R / s$$

Motor di starting pada tegangan nominal, akan mengalir arus mendekati arus hubung singkat =  $7 I_n$ . jika slip =  $4\% = 0,04$ ;  $x = 0,5$  Pengasutan resistor dapat digantikan dengan autotransformator tiga phasa, yang dihubungkan seri dengan belitan stator gambar-2.17. Tegangan ke stator dapat diatur sesuai kebutuhan, misalkan  $k = 80\%$ ,  $70\%$  atau  $50\%$ .

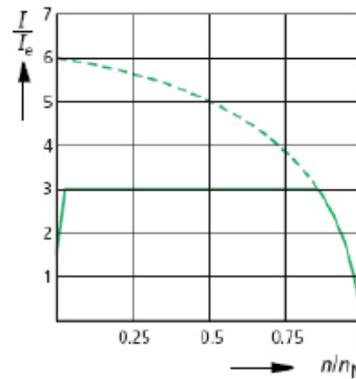
#### 2.9.4 Pengasutan Soft Starting

Pengasutan Soft starting menggunakan komponen solid-state, yaitu enam buah Thyristor yang terhubung antiparalel gambar 2.18. Saat saklar  $Q_1$  di ON kan tegangan akan dipotong gelombang sinusoidanya oleh enam buah Thyristor yang dikendalikan oleh rangkaian triger. Dengan mengatur sudut penyalaan triger Thyristor, sama mengatur tegangan ke belitan stator motor. Dengan  $k$  sebagai ratio tegangan asut dengan tegangan nominal besarnya torsi motor starting.



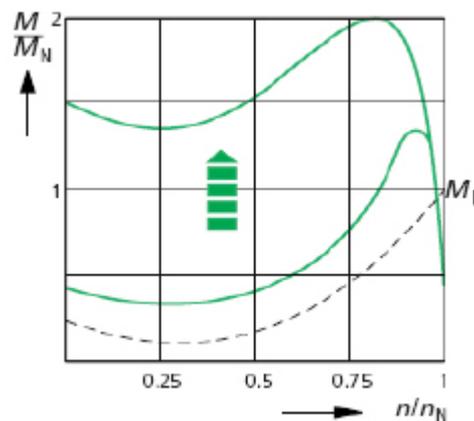
Gambar.2.18 Pengawatan Pengasutan Soft Starting.

$T_{\text{starting}} = k^2 \cdot T_{\text{hs}}$  Karakteristik arus fungsi putaran pada pengasutan soft starting, memperlihatkan grafik arus starting besarnya tiga kali arus nominalnya sampai motor mencapai putaran mendekati  $85\%$  gambar 2.19. Arus motor berangsur angsur menuju arus nominalnya ketika putaran motor mendekati nominalnya. Pengasutan solid state makin diminati karena harganya ekonomis dan handal.



Gambar.2.19 Karakteristik Arus Pengasutan Soft Starting.

Karakteristik torsi fungsi putaran  $T = f(n)$  pengasutan soft starting, memperlihatkan torsi starting sebesar setengah dari torsi nominalnya, berangsur-angsur torsi meningkat mendekati 140% torsi saat putaran mendekati 90% nominalnya gambar-2.20. Secara berangsur-angsur torsi motor mendekati nominal saat putaran motor nominal.

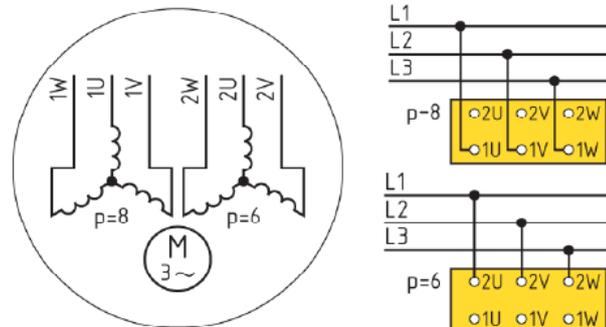


Gambar.2.20. Karakteristik Torsi Pengasutan Soft Starting

### 2.9.5 Motor Dua Kecepatan (Dahlander)

Motor dua kecepatan (Dahlander) dirancang khusus memiliki dua kelompok belitan yang berbeda. Belitan pertama memiliki delapan pasang kutub ( $p=8$ , kecepatan 370 Rpm) dengan ujung terminal  $U_1$ ,  $V_1$  dan  $W_1$  yang dihubungkan dengan sumber listrik tiga fasa  $L_1, L_2$  dan  $L_3$ . Belitan kedua

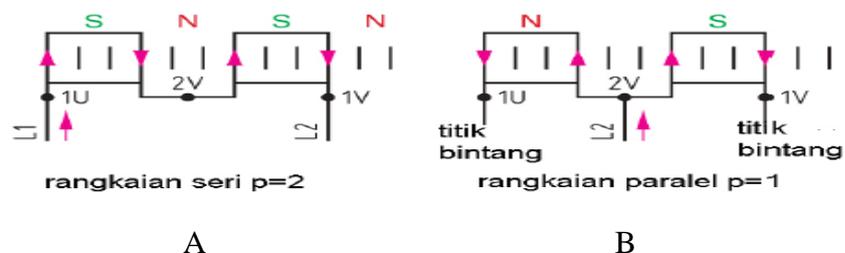
memiliki enam pasang kutub ( $p=6$ , kecepatan 425 Rpm) dengan ujung belitan  $U_2$ ,  $V_2$  dan  $W_2$  Gambar 2.21.



Gambar 2.21 Rangkaian Belitan Motor Dua Kecepatan (Dahlander)

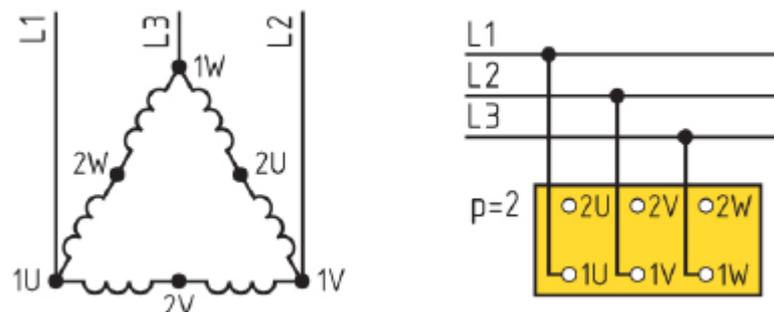
Penjelasan cara kerja motor dua kecepatan terletak pada cara pemasangan belitan statornya. Perhatikan belitan stator yang memiliki empat kutub atau 2 pasang kutub utara-selatan ( $p=2$ , kecepatan 1450 Rpm), belitan stator dihubungkan secara seri. Aliran arus listrik dari  $L_1$  menuju terminal  $U_1$  memberikan arus pada koil pertama, secara seri masuk ke koil kedua menghasilkan dua pasang kutub, terminal  $V_1$  terhubung dengan  $L_2$ . Gambar- 2.22 a.

Sedangkan pada pada stator dengan dua kutub atau satu pasang kutub ( $p=1$ , kecepatan 2950 Rpm), belitan stator disambungkan secara paralel. Aliran arus listrik dari  $L_2$  menuju terminal  $V_2$  memberikan arus pada koil pertama, dan koil kedua secara paralel menghasilkan satu pasang kutub saja dan terminal  $U_1$  dan  $V_1$  terhubung dengan  $L_1$ . Gambar-2.22.b.



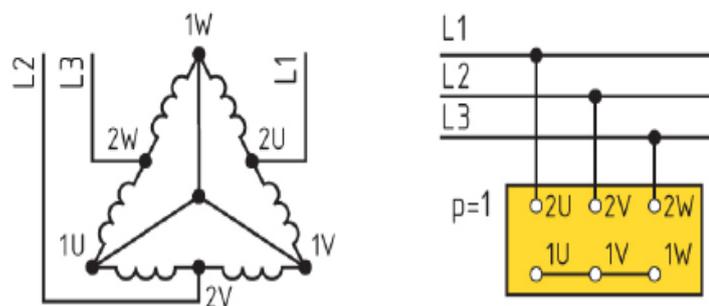
Gambar 2.22. Hubungan Belitan Motor Dahlander

Penjelasan saat ( $p=2$ , kecepatan 1450 Rpm) bagian belitan motor terhubung segitiga dimana sumber daya  $L_1$  keterminal  $U_1$ ,  $L_2$  menuju terminal  $V_1$  dan  $L_3$  terhubung ke terminal  $W_1$ . Sementara ujung terminal  $U_2$ ,  $V_2$  dan  $W_2$  tidak dibiarkan terbuka. Gambar 2.23. Perhatikan tiap fasa terdapat dua belitan yang terhubung secara seri yang akan menghasilkan dua pasang kutub.



Gambar 2.23. Hubungan Belitan Segitiga Dahlander Berkutub Empat

Pada saat ( $p=1$ , kecepatan 2950 Rpm) bagian belitan motor terhubung secara paralel bintang dimana sumber daya  $L_1$  keterminal  $U_2$ ,  $L_2$  menuju terminal  $V_2$  dan  $L_3$  terhubung ke terminal  $W_2$ . Sementara ujung terminal  $U_1$ ,  $V_1$  dan  $W_1$  dihubungkan singkatkan. Gambar 2.24. Perhatikan tiap fasa terdapat dua belitan yang terhubung bintang paralel yang akan menghasilkan satu pasang kutub saja.



Gambar 2.24. Hubungan Belitan Bintang Ganda Berkutub dua ( $p=1$ )