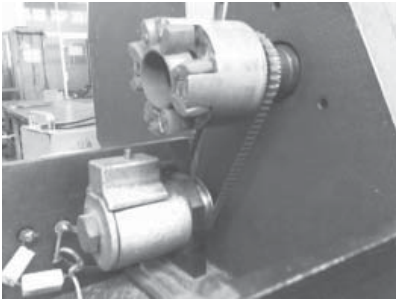


BAB 5

MOTOR LISTRIK ARUS BOLAK BALIK

5.1 Mengukur Kecepatan Putaran



Gambar 5.1 Pengukuran poros dengan Tachogenerator

Kecepatan putaran motor sama dengan jumlah putaran motor dalam periode tertentu, misalnya putaran per menit (Rpm) atau kecepatan per detik (Rps). Alat ukur yang digunakan adalah *indikator kecepatan* sering disebut *tachometer* (Gambar 5.1). Tachometer ditempelkan langsung pada poros sebuah motor dan dibaca putarannya pada skala yang ada. *Tachometer* yang modern menggunakan prinsip sinar laser, bekerjanya lebih sederhana, yaitu berkas sinar laser ditembakkan pada poros dan display digital akan menunjukkan putaran poros motor.

Kecepatan motor diukur dengan alat tachometer, pengukuran dilakukan pada poros rotor. Ada tachometer analog dan tachometer digital.

5.2 Mengukur Torsi

Torsi sering disebut momen (M) merupakan perkalian gaya F (Newton) dengan panjang lengan L (meter) Gambar 5.2.

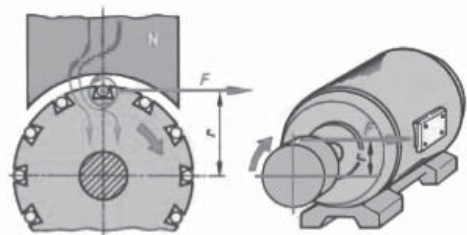
$$M = F \cdot L \text{ (Nm)}$$

Gaya F yang dihasilkan dari motor listrik dihasilkan dari interaksi antara medan magnet putar pada stator dengan medan induksi dari rotor.

$$F = B \cdot I \cdot L$$

Jumlah belitan dalam rotor Z dan jari-jari polly rotor besarnya r (meter), maka torsi yang dihasilkan motor

$$M = B \cdot I \cdot L \cdot Z \cdot r \text{ (Nm)}$$



Gambar 5.2 Torsi Motor

5.3 Hubungan Kecepatan, Torsi, dan Daya Motor

Pengukuran hubungan kecepatan, torsi dan daya motor dilakukan di laboratorium Mesin Listrik (Gambar 5.3). Torsi yang dihasilkan oleh motor disalurkan lewat poros untuk menjalankan peralatan industri. Hubungan antara torsi dan daya motor dapat diturunkan dengan persamaan:

$$P = \frac{M}{t}, \text{ sedangkan } M = F \cdot L \text{ (Nm)}$$

$$P = \frac{F \cdot L}{t}, \text{ kecepatan } v = \frac{L}{t}$$

Dalam satu putaran poros jarak ditempuh:

$$L = 2 \cdot r \cdot \pi, \text{ sehingga kecepatan}$$

$$v = n \cdot 2 \cdot r \cdot \pi$$

Dengan memasukkan gaya F yang terjadi pada poros, diperoleh persamaan:

$$P = n \cdot 2 \cdot r \cdot \pi \cdot F$$

Akhirnya diperoleh hubungan daya motor P dengan torsi poros M dengan persamaan:

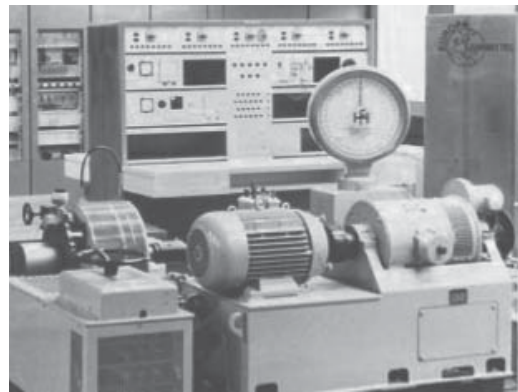
$$P = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot M \text{ (Nm/menit)}$$

Daya P dalam satuan Nm/menit dipakai jika torsi M yang diukur menggunakan satuan Nm. Dalam satuan daya listrik dinyatakan dalam watt atau kwatt maka persamaan harus dibagi dengan 60 detik dan bilangan 1.000.

$$P = \frac{2 \cdot \pi}{60 \cdot 1.000} \cdot n \cdot M \text{ (kW) di mana } 1.000 \text{ Nm/detik} = 1 \text{ kW}$$

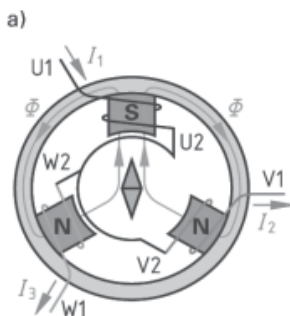
Persamaan akhir daya P dan torsi M secara praktis didapatkan:

$$P = \frac{n \cdot M}{9.549} \text{ (kW)}$$



Gambar 5.3 Pengujian motor listrik di laboratorium

5.4 Prinsip Kerja Motor Induksi



Gambar 5.4 Prinsip kerja motor induksi

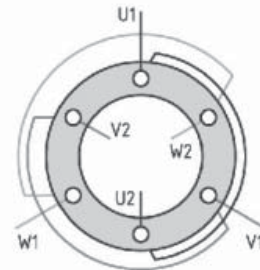
Motor induksi adalah alat listrik yang mengubah *energi listrik* menjadi *energi mekanik*. Listrik yang diubah adalah listrik 3 fasa. Motor induksi sering juga disebut motor tidak serempak atau motor asinkron. Prinsip kerja motor induksi lihat **Gambar 5.4**.

Ketika tegangan *fasa U* masuk ke belitan stator menjadikan kutub S (*south* = selatan), garis-garis gaya magnet mengalir melalui stator, sedangkan dua kutub lainnya adalah N (*north* = utara) untuk *fasa V* dan *fasa W*. Kompas akan saling tarik-menarik dengan kutub S.

Berikutnya kutub S pindah ke *fasa V*, kompas berputar 120° , dilanjutkan kutub S pindah ke *fasa W*, sehingga pada belitan stator timbul *medan magnet putar*. Buktinya kompas akan memutar lagi menjadi 240° . Kejadian berlangsung silih berganti membentuk medan magnet putar sehingga kompas berputar dalam satu putaran penuh, proses ini berlangsung terus menerus. Dalam motor induksi kompas digantikan oleh rotor sangkar yang akan berputar pada porosnya. Karena ada perbedaan putaran antara medan putar stator

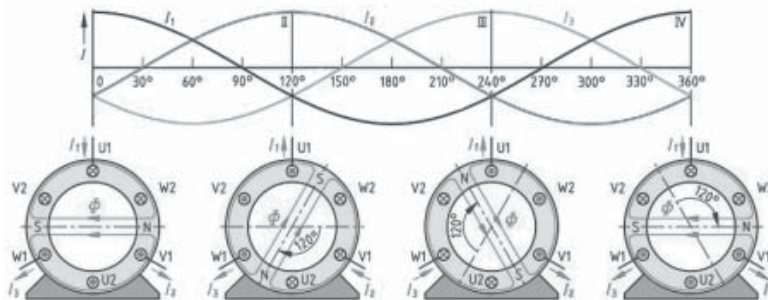
dengan putaran rotor, maka disebut motor induksi tidak serempak atau motor asinkron.

Susunan belitan stator motor induksi dengan dua kutub, memiliki tiga belitan yang masing-masing berbeda sudut 120° **Gambar 5.5**. Ujung belitan fasa pertama $U1-U2$, belitan fasa kedua $V1-V2$ dan belitan fasa ketiga $W1-W2$.



Gambar 5.5 Belitan stator motor induksi 2 kutub

Prinsip kerja motor induksi dijelaskan dengan gelombang sinusoidal **Gambar 5.6**, terbentuknya medan putar pada stator motor induksi. Tampak stator dengan dua kutub, dapat diterangkan dengan empat kondisi.



Gambar 5.6 Bentuk gelombang sinusoida dan timbulnya medan putar pada stator motor induksi

1. **Saat sudut 0°** . Arus I_1 bernilai positif dan 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° . Kutub S (south = selatan) dan kutub N (north = utara).
2. **Saat sudut 120°** . 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 menuju pembaca). Garis fluk magnet kutub S dan N bergeser 120° dari posisi awal.
3. **Saat sudut 240°** . 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° dari posisi kedua.
4. **Saat sudut 360°** . posisi ini sama dengan saat sudut 0° , di mana kutub S dan N kembali keposisi awal sekali.

Dari keempat kondisi di atas saat sudut 0° , 120° , 240° , dan 360° , 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 besarnya

$$n_s = \frac{f \times 120}{p} \text{ putaran per menit.}$$

Rotor ditempatkan di dalam rongga stator, sehingga garis medan magnet putar stator

akan memotong belitan rotor. Rotor motor induksi adalah beberapa batang penghantar yang ujung-ujungnya dihubungkan menyeringkan menyerupai sangkar tupai, maka sering disebut *rotor sangkar tupai* (**Gambar 5.7**), kejadian ini mengakibatkan pada rotor timbul induksi elektromagnetis. Medan magnet putar dari stator saling berinteraksi dengan medan magnet rotor, terjadilah *torsi putar* yang berakibat rotor berputar.

Kecepatan medan magnet putar pada stator:

$$n_s = \frac{f \times 120}{p} \text{ Rpm}$$

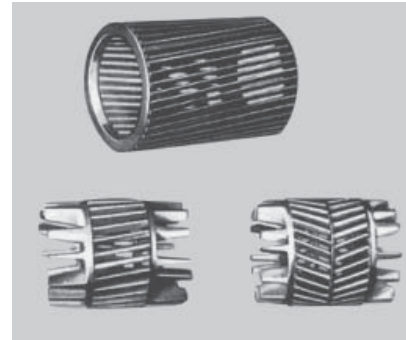
$$\text{slip} = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\%$$

n_s = kecepatan sinkron medan stator (rpm)

f = frekuensi (Hz)

n_r = kecepatan poros rotor (rpm)

slip = selisih kecepatan stator dan rotor



Gambar 5.7 Bentuk rotor sangkar tupai

Contoh: Motor induksi pada *nameplate* tertera frekuensi 50 Hz, putaran rotor 1.440 Rpm, memiliki jumlah kutub 4 buah. Hitung besarnya putaran medan magnet putar pada stator dan slip motor induksi tersebut.

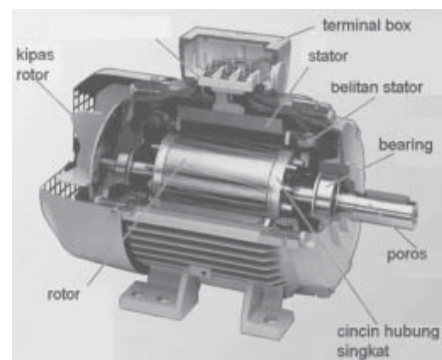
Jawaban:

$$\begin{aligned} n_s &= \frac{f \times 120}{p} \\ &= \frac{50 \text{ Hz} \times 120}{2} = \mathbf{1.500 \text{ Rpm}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &= \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100\% \\ &= \frac{1.500 \text{ Rpm} - 1.440 \text{ Rpm}}{1.500 \text{ Rpm}} \cdot 100\% \\ &= \mathbf{4\%} \end{aligned}$$

5.5 Konstruksi Motor Induksi

Konstruksi motor induksi secara detail terdiri atas dua bagian, yaitu: bagian stator dan bagian rotor (**Gambar 5.8**). Stator adalah bagian motor yang diam terdiri: *badan motor*, *inti stator*, *belitan stator*, *bearing*, dan *terminal box*. Bagian rotor adalah bagian motor yang berputar, terdiri atas *rotor sangkar*, dan *poros rotor*. Konstruksi motor induksi tidak ada bagian rotor yang bersentuhan dengan bagian stator, karena dalam motor induksi tidak komutator dan sikat arang.



Gambar 5.8 Fisik motor induksi

Konstruksi motor induksi lebih sederhana dibandingkan dengan motor DC, dikarenakan *tidak ada komutator* dan *tidak ada sikat arang* (**Gambar 5.9**). Sehingga pemeliharaan motor induksi hanya bagian mekanik saja, dan konstruksinya yang sederhana motor induksi sangat handal dan jarang sekali rusak secara elektrik. Bagian motor induksi yang perlu dipelihara rutin adalah pelumasan bearing, dan pemeriksaan kekencangan baut-baut kabel pada terminal box karena kendur atau bahkan lepas akibat pengaruh getaran secara terus-menerus.

Rumus menghitung daya input motor induksi:

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \phi \text{ (Watt)}$$

P₁ : Daya input (Watt)

U : Tegangan (Volt)

I : Arus (Amper)

cos φ : Faktor kerja

5.6 Rugi-Rugi dan Efisiensi Motor Induksi

Motor induksi (**Gambar 5.9**) memiliki rugi-rugi yang terjadi karena dalam motor induksi terdapat komponen tahanan tembaga dari belitan stator dan komponen induktor belitan stator. Pada motor induksi terdapat *rugi-rugi tembaga*, *rugi inti*, dan *rugi karena gesekan dan hambatan angin*.

Besarnya rugi tembaga sebanding dengan $I^2 \cdot R$, makin besar arus beban maka rugi tembaga makin besar juga. Daya input motor sebesar P₁, maka daya yang diubah menjadi daya output sebesar P₂.

Persamaan menghitung rugi-rugi motor induksi: **Rugi-rugi motor = P₁ – P₂**

Persamaan menghitung efisiensi motor induksi:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\%$$

P₁ Daya input (watt)

P₂ Daya output (watt)

Menghitung momen torsi yang dihasilkan motor induksi lihat **Gambar 10**.

$$M = F \cdot r \text{ (Nm)}$$

$$P_2 = M \cdot \omega \text{ (Watt)}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n$$

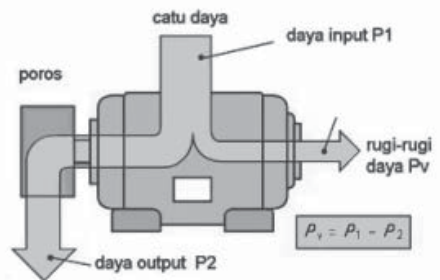
M = Torsi (Nm)

F = Gaya (newton)

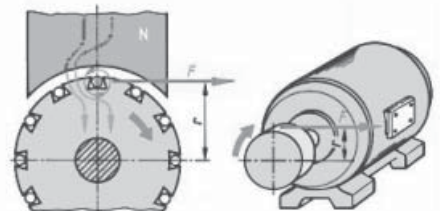
P₂ = Daya output (watt)

ω = Kecepatan sudut putar

n = Kecepatan motor (putaran/detik)



Gambar 5.9 Rugi-rugi daya motor induksi



Gambar 5.10 Torsi motor pada rotor dan torsi pada poros

pabrik pembuat	
3~ Motor	Nr.:
Δ 400V	10,7A
5,5kW S1	cos φ 0,88
1450 /min	50 Hz
isol.-Kl.F	IP 55
DIN VDE 0530	EN 60034

Gambar 5.11 Nameplate motor Induksi

Contoh: Nameplate motor induksi (**Gambar 5.11**) dengan daya output 5,5 kW, tegangan 400 V dan arus 10,7 A, dan $\cos \varphi$ 0,88. Putaran motor 1.425 Rpm. Hitung daya input, efisiensi motor, dan momen torsi motor tersebut.

Jawaban:

Daya output motor $P_2 = 5,5 \text{ kW}$

$$a) P_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 10,7 \text{ A} \cdot 0,88 = \mathbf{6,52 \text{ kW}}$$

$$b) \eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% = 5,5 \text{ kW} / 6,52 \text{ kW} = 0,84 = \mathbf{84\%}$$

$$c) M = \frac{P_2}{\omega} = \frac{P_2}{2 \cdot \pi \cdot n} = \frac{55.000}{2 \cdot \pi \cdot \frac{1450}{60} \cdot \frac{1}{s}} = \mathbf{36 \text{ Nm}}$$

5.7 Putaran Motor Induksi

Motor induksi memiliki dua arah putaran motor, yaitu putaran searah jarum jam (kanan) **Gambar 5.12**, dan putaran berlawanan jarum jam (ke kiri) dilihat dari poros motor. Putaran motor induksi tergantung jumlah kutubnya, motor induksi berkutub dua memiliki putaran poros sekitar 2.950 Rpm, yang berkutub empat memiliki putaran poros mendekati 1.450 Rpm.

Putaran arah jarum jam (kanan) didapat dengan cara menghubungkan L1- terminal U, L2- terminal V dan L3-terminal W. Putaran arah berlawanan jarum jam (kiri) didapat dengan menukarkan salah satu dari kedua kabel phasa, misalkan L1-terminal U, L2-terminal W dan L3- terminal V. Dengan memasang dua buah kontaktor, sebuah motor induksi dapat dikontrol untuk putaran kanan, dan putaran ke kiri. Aplikasi praktis untuk membuka dan menutup pintu garasi dengan motor induksi dapat memanfaatkan kaidah putaran kanan dan kiri ini, dengan melengkapi dengan sensor cahaya atau sakelar manual motor dapat dihidupkan untuk membuka dan menutup pintu garasi.

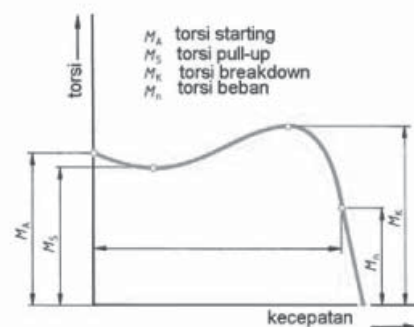


Gambar 5.12 Putaran motor dilihat dari sisi poros

5.8 Karakteristik Torsi Motor Induksi

Karakteristik torsi motor induksi (**Gambar 5.13**), disebut torsi fungsi dari slip ($T = f(\text{slip})$). Garis vertikal merupakan parameter torsi (0–100%) dan garis horizontal parameter slip (1,0–0,0). Dikenal ada empat jenis torsi, yaitu:

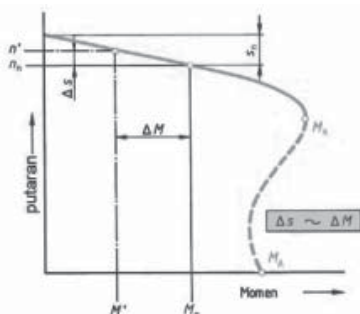
1. M_A , momen torsi awal,
2. M_S , momen torsi pull-up,
3. M_K , momen torsi maksimum,
4. M_B , momen torsi kerja.



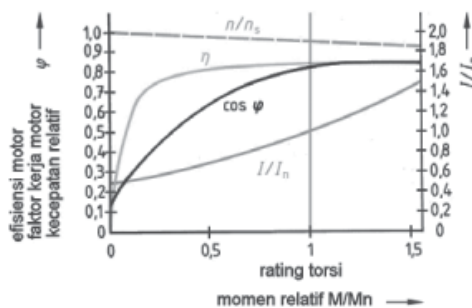
Gambar 5.13 Karakteristik Torsi motor induksi

Torsi awal terjadi saat motor pertama dijalankan (slip 1,0), torsi pull-up terjadi saat slip 0,7, torsi maksimum terjadi slip 0,2 dan torsi kerja berada ketika slip 0,05. Torsi beban harus lebih kecil dari torsi motor. Bila torsi beban lebih besar dari torsi motor, akibatnya motor dalam kondisi kelebihan beban dan berakibat belitan stator terbakar. Untuk mengatasi kondisi beban lebih dalam rangkaian kontrol dilengkapi dengan pengaman beban lebih disebut thermal overload, yang dipasang dengan kontaktor.

Karakteristik torsi juga bisa disajikan dalam bentuk lain, kita kenal karakteristik putaran = *fungsi torsi*, $n = f(\text{torsi})$ lihat **Gambar 5.14**. Garis vertikal menunjukkan parameter putaran, garis horizontal menunjukkan parameter torsi. Ketika motor berputar pada garis n' didapatkan torsi di titik M' . Ketika putaran berada di n_n didapatkan torsi motor di M_n . Daerah kerja putaran motor induksi berada pada area n' dan n_n sehingga torsi kerja motor induksi juga berada pada area M' dan M_n . Berdasarkan grafik $n = f(\text{torsi})$ dapat juga disimpulkan ketika putaran rotor turun dari n' ke n_n pada torsi justru terjadi peningkatan dari M' ke M_n .



Gambar 5.14 Karakteristik putaran fungsi torsi beban



Gambar 5.15 Karakteristik parameter efisiensi, putaran, faktor kerja, dan arus beban

Karakteristik motor induksi lainnya lihat **Gambar 5.15** mencakup parameter efisiensi, faktor kerja, ratio arus, dan ratio putaran. Dengan membaca karakteristik motor induksi dapat diketahui setiap parameter yang dibutuhkan. Saat torsi mencapai 100% dapat dibaca ratio arus $I/I_o = 1$; faktor kerja $\cos \varphi$: 0,8; efisiensi motor 0,85; dan ratio putaran n/n_s : 0,92.

5.9 Pengasutan Motor Induksi

Saat motor induksi distarting 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, di antaranya:

1. Hubungan langsung (Direct On Line = DOL)
2. Tahanan depan Stator (Primary Resistor)
3. Transformator

4. Segitiga-Bintang (Start-Delta)
5. Pengasutan Soft starting
6. Tahanan Rotor lilit

5.10 Pengasutan Hubungan Langsung (DOL)

Pengasutan hubungan langsung atau dikenal dengan istilah *Direct On Line (DOL)* **Gambar 5.16.** 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*).

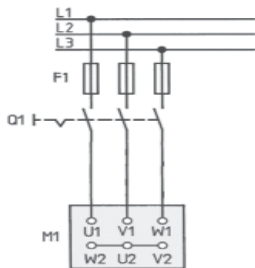
Saat pemutus rangkaian/kontaktor di-ON-kan motor induksi akan menarik arus starting antara 5 sampai 6 kali arus nominal motor. Untuk motor induksi dengan daya kecil 5 kW, hubungan langsung bisa dipakai. Arus starting yang besar akan menyebabkan drop tegangan disisi suply. Rangkaian jenis ini banyak dipakai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

$$\text{Torsi} = I_2^2 / s$$

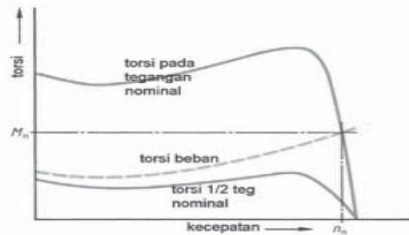
Motor di starting pada tegangan nominal, akan mengalir arus mendekati arus hubung singkat = 7 In. jika slip = 4% = 0,04.

$$(T_{st} / T) = (I_{st} / I)^2 \cdot s = (7)^2 \times 0,04 = 1,96$$

Besarnya torsi starting = **1,96 kali** torsi nominalnya. Kesimpulannya, saat arus starting 5 s/d 6 kali arus nominal hanya menghasilkan $1,96 \times$ torsi nominalnya. **Gambar 5.17.**

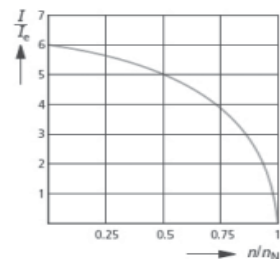


Gambar 5.16 Pengawatan motor induksi pengasutan langsung (DOL)



Gambar 5.17 Karakteristik torsi, pengasutan DOL 5-12

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 5.18**).



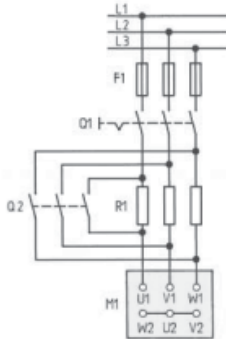
Gambar 5.18 Karakteristik arus fungsi putaran, pengasutan DOL

Pengasutan hubungan langsung (DOL) akan menarik arus 5 s/d 6 kali arus nominal, menghasilkan torsi starting 1,96 kali torsi nominal.

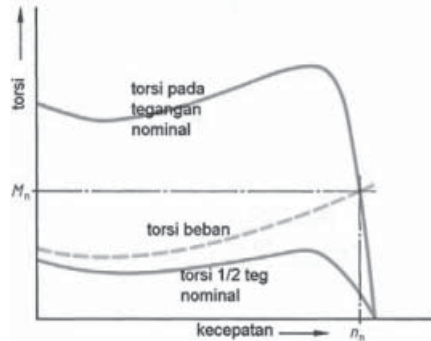
5.11 Pengasutan Resistor Stator

Pengasutan dengan memasang *resistor* pada rangkaian stator (**Gambar 5.19**). 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 5.20**).

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, di mana terminal W_2 , U_2 dan V_2 dihubungkan.



Gambar 5.19 Pengawatan pengasutan resistor stator



Gambar 5.20 Karakteristik Torsi pengasutan resistor stator

Jika x adalah faktor pengurangan tegangan, maka:

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

$$\text{Torsi} = I^2 / s$$

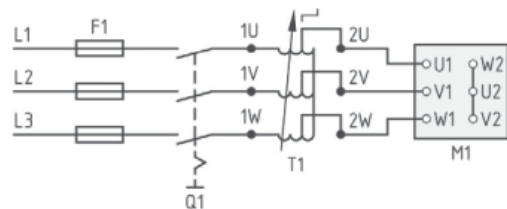
Motor distarting pada tegangan nominal, akan mengalir arus mendekati arus hubung singkat = 7 In. jika slip = 4% = 0,04; $x = 0,5$

Pengasutan resistor dapat digantikan dengan **autotransformator** tiga fasa, yang dihubungkan seri dengan belitan stator (**Gambar 5.21**) Tegangan ke stator dapat diatur sesuai kebutuhan, misalkan $k = 80\%$, 70% , atau 50% .

$$T_{starting} = k^2 \cdot T_{hs}$$

Misalkan $k = 50\%$. $T_{hs} = 1,96$

$$T_{starting} = (0,5)^2 \cdot 1,96 = 0,5$$



Gambar 5.21 Pengawatan pengasutan tegangan dengan autotransformator

Pengasutan resistor stator dengan memasang resistor secara seri dengan belitan stator. Resistor gunanya untuk menurunkan tegangan ke stator. Jika tegangan diturunkan 50%, arus starting turun 50% dan torsi starting turun 25%.

5.12 Pengasutan Sakelar Bintang-Segitiga

Motor induksi dengan pengasutan segitiga-bintang dengan sakelar manual (**Gambar 5.22**). Rangkaian bintang-segitiga juga dapat dilaksanakan menggunakan kontaktor secara elektromagnetik. Motor induksi dirangkai dengan sakelar manual bintang-segitiga.

Saat sakelar posisi tuas 0, semua rangkaian terbuka, sehingga motor dalam kondisi tidak bertegangan. Saat sakelar posisi bintang (tanda Y), L1-U1; L2-V1, dan L3-W1, sementara W2-U2-V2 dihubungsingkatkan. Tegangan ke stator:

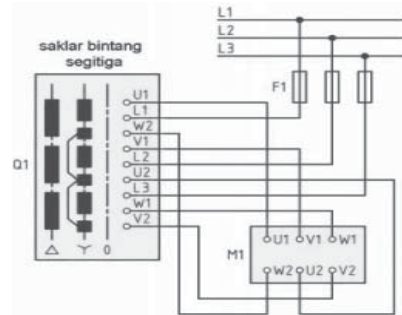
$$V_{stator} = V_{phasa} = \frac{V_{line}}{\sqrt{3}}$$

$$I_{stator} = I_{phasa} = \frac{I_{line}}{\sqrt{3}}$$

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

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

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

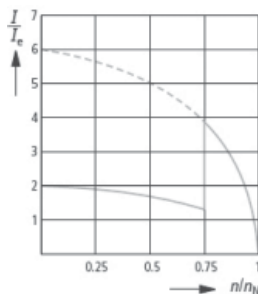


Gambar 5.22 Pengawatan pengasutan bintang-segitiga

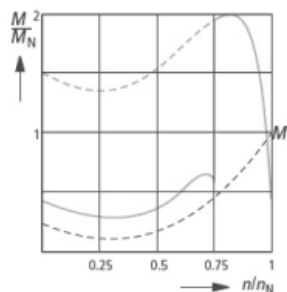
Ketika sakelar posisi *segitiga* (tanda Δ), motor induksi bekerja pada tegangan normal, arus nominal dan torsi nominal. Belitan stator mendapatkan tegangan sebesar tegangan fasa ke fasa. Harus diperhatikan *nameplate* motor untuk hubungan segitiga bintang harus disesuaikan dengan tegangan kerja yang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

Karakteristik arus fungsi putaran $I = f(n)$ pengasutan bintang-segitiga (**Gambar 5.23**) 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.

Karakteristik torsi fungsi putaran $T = f(n)$ pengasutan bintang-segitiga (**Gambar 5.24**) memperlihatkan 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 5.23 Karakteristik arus pengasutan bintang-segitiga



Gambar 5.24 Karakteristik Torsi Pengasutan Bintang-Segitiga

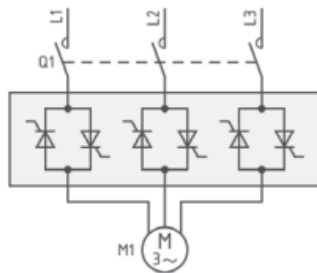
Pengasutan **segitiga-bintang** menggunakan sakelar segitiga-bintang. Saat hubungan segitiga arus ke stator $\frac{1}{\sqrt{3}}$ dari arus start DOL. Torsi starting $\frac{1}{3}$ dari T starting DOL = 0,65.

5.13 Pengasutan Soft Starting

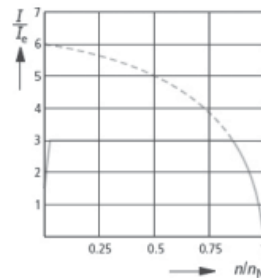
Pengasutan *soft starting* menggunakan komponen *solid-state*, yaitu enam buah *Thyristor* yang terhubung antiparalel (**Gambar 5.25**). Saat sakelar Q_1 di-ON-kan tegangan akan dipotong gelombang sinusoidanya oleh enam buah *Thyristor* yang dikendalikan oleh *rangkaian triger*. Dengan mengatur sudut *penyalaaan triger Thyristor*, sama mengatur tegangan ke belitan stator motor. Dengan k sebagai ratio tegangan asut dengan tegangan nominal besarnya torsi motor 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 5.26**). Arus motor berangsur-angsur menuju arus nominalnya ketika putaran motor mendekati nominalnya. Pengasutan *solid state* makin diminati karena harganya ekonomis dan handal.

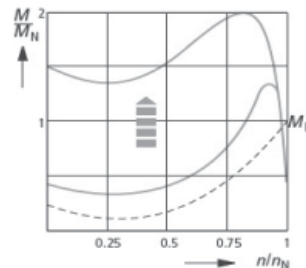


Gambar 5.25 Pengawatan pengasutan soft starting



Gambar 5.26 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 5.27**). Secara berangsur-angsur torsi motor mendekati nominal saat putaran motor nominal.



Gambar 5.27 Karakteristik Torsi Pengasutan Soft Starting

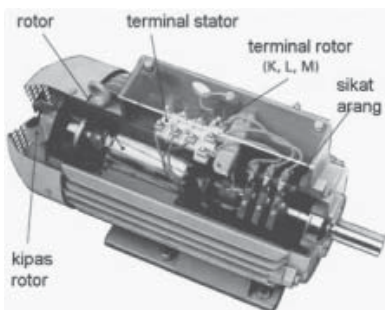
Pengasutan *soft starting* menggunakan komponen *solid state Thyristor* terpasang antiparalel pada rangkaian belitan stator. Dengan mengatur sudut *penyalaaan triger α* , tegangan, dan arus starting terkendali.

5.14 Pengasutan Motor Slipring

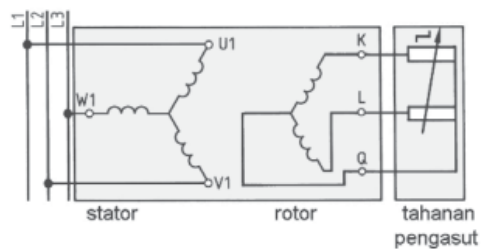
Motor slipring (**Gambar 5.28**) atau sering disebut motor rotor lilit termasuk motor induksi 3 fasa dengan rotor belitan dan dilengkapi dengan slipring yang dihubungkan dengan sikat arang ke terminal. *Motor slipring* dirancang untuk daya besar.

Motor slipring pada terminal box memiliki sembilan terminal, enam terminal terhubung dengan tiga belitan stator masing-masing ujungnya ($U1-U2$, $V1-V2$, dan $W1-W2$), tiga terminal ($K-L-M$) terhubung ke belitan rotor melalui slipring. Ada tiga cincin yang disebut slipring yang terhubung dengan sikat arang. Sikat arang ini secara berkala harus diganti karena akan memendek karena aus.

Pengasutan rotor lilit (**Gambar 5.29**) belitan rotor yang ujungnya terminal $K-L-M$ dihubungkan dengan resistor luar yang besarnya bisa diatur. Dengan mengatur resistor luar berarti mengatur besarnya resistor total yang merupakan jumlah resistansi rotor dan resistansi luar ($R_{\text{rotor}} + R_{\text{luar}}$), sehingga arus rotor I_2 dapat diatur.



Gambar 5.28 Bentuk Fisik Motor Induksi Rotor Slipring



Gambar 5.29 Belitan stator dan rotor motor slipring berikut resistor pada rangkaian rotor

Ketika resistor berharga maksimum, arus rotor yang mengalir minimum, sekaligus memperbaiki faktor kerja motor. Kelebihan pengasutan rotor lilit yaitu diperoleh torsi starting yang tinggi, dengan arus starting yang tetap terkendali.

Data teknis motor rotor lilit dalam name plate (**Gambar 5.30**) menjelaskan informasi:

Tegangan stator	400 V
Arus stator	178 A
Daya input	100 kW
Faktor kerja	0,89
Putaran	1460 Rpm
Ferkuensi	50 Hz
Tegangan rotor	245 V
Arus rotor	248 A
Indek proteksi	44
Klas isolasi	F

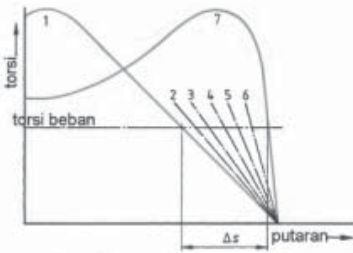
pabrik pembuat		
Typ DA 80		
D - Motor	Nr. 7660	
Δ 400	V	178 A
100 kW S3	cos φ 0,89	
1460/min	50 Hz	
rotor	γ 245 V	248 A
Isol.- Kl.F	IP 44	1,1 t
DIN VDE 0530 EN 60034		

Gambar 5.30 Nameplate motor induksi jenis slipring

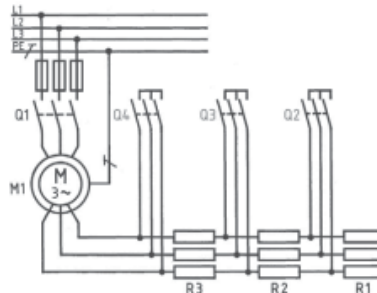
Resistansi rotor luar dibuat bertahap (**Gambar 5.31**) dengan tujuh tahapan. Saat tahap-1 nilai resistor maksimum kurva torsi terhadap slip, berikutnya tahap 2, 3, 4, 5, 6 dan tahap 7. Antara tahap-1 sampai tahap-7 selisih slip sebesar Δs . Dengan demikian pengaturan

resistor rotor juga berfungsi mengatur putaran rotor dari putaran rendah saat tahap-1 menuju putaran nominal pada tahap-7.

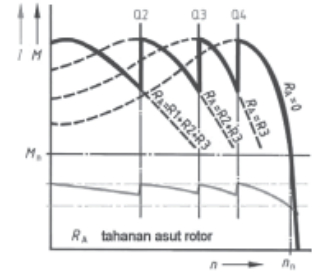
Pengaturan resistor rotor dapat menggunakan kontaktor elektromagnet (**Gambar 5.32**) dengan menggunakan 3 tahap. Kontaktor Q1 menghubungkan stator dengan sumber daya listrik.



Gambar 5.31 Karakteristik torsi sotor slipring



Gambar 5.32 Pengawatan Motor Slipring dengan tiga tahapan Resistor



Gambar 5.33 Karakteristik torsi dengan tiga tahapan

1. Ketika Q2, Q3, Q4 OFF resistansi rotor maksimum ($R_A = R_1 + R_2 + R_3$).
2. Saat Q2 ON resistansi luar $R_A = R_2 + R_3$.
3. Ketika Q3 ON resistansi $R_A = R_3$ saja.
4. Ketika Q4 ON rotor kondisi terhubung singkat $R_A = 0$, motor bekerja nominal.

Grafik momen motor rotor lilit **Gambar 5.33** dengan empat tahapan. Tahap pertama yang saat Q1 kondisi ON dan Q2 + Q3 + Q4 posisi OFF. maka rangkaian tahanan rotor besarnya maksimum, besarnya arus starting $1,5 I_n$ sampai beberapa saat ke tahap kedua. Tahap kedua Q2 kondisi ON dan Q3 + Q4 posisi OFF, arus starting $1,5 I_n$ menuju I_n sampai tahap ketiga. Tahap ketiga Q3 kondisi ON dan Q4 posisi OFF, arus starting kembali ke posisi $1,5 I_n$ dan terakhir posisi tahap keempat saat Q4 ON semua resistor dihubungsingkatkan, dan motor slipring bekerja kondisi nominal.

Pengasutan slipring termasuk pengasutan dengan menambahkan tahanan pada rangkaian rotornya, hanya bisa dilakukan pada motor 3 fasa jenis rotor lilit. Dengan mengatur besaran tahanan rotor, arus, dan torsi starting dapat diatur besarnya.

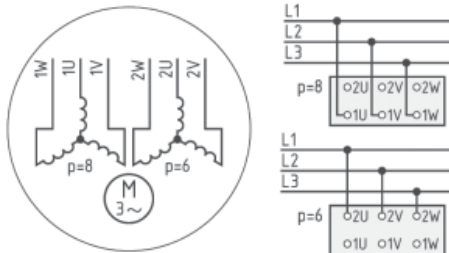
5.15 Motor Dua Kecepatan (Dahlander)

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 1U, 1V, dan 1W yang dihubungkan dengan sumber listrik tiga fasa L1, L2, dan L3. Belitan kedua memiliki enam pasang kutub ($p = 6$, kecepatan 425 Rpm) dengan ujung belitan 2U, 2V, dan 2W (**Gambar 5.34**).

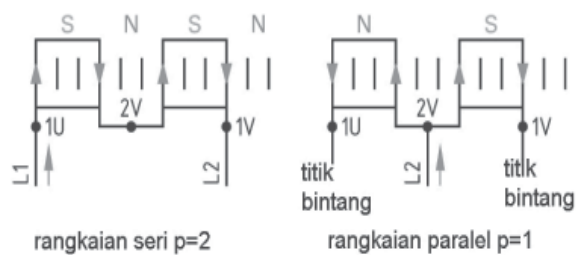
Penjelasan cara kerja motor dua kecepatan terletak pada cara pemasangan belitan statornya. Perhatikan belitan stator yang memiliki empat kutub atau 2 pasang kutub utara-selatan ($p = 2$, kecepatan 1450 Rpm), belitan stator dihubungkan secara seri. Aliran arus

listrik dari L1 menuju terminal 1U memberikan arus pada koil pertama, secara seri masuk ke koil kedua menghasilkan dua pasang kutub, terminal 1V terhubung dengan L2 (**Gambar 5.35a**).

Pada pada stator dengan dua kutub atau satu pasang kutub ($p = 1$, kecepatan 2950 Rpm), belitan stator disambungkan secara paralel. Aliran arus listrik dari L2 menuju terminal 2V memberikan arus pada koil pertama, dan koil kedua secara paralel menghasilkan satu pasang kutub saja dan terminal 1U dan 1V terhubung dengan L1 (**Gambar 5.35b**).



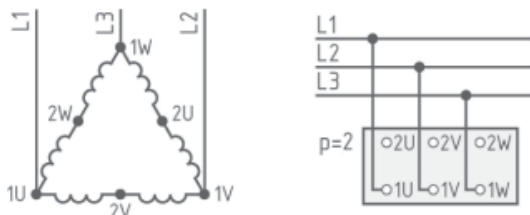
Gambar 5.34 Rangkaian belitan motor dua kecepatan (Dahlander)



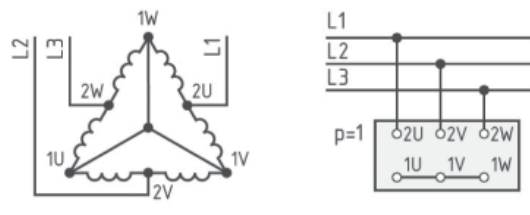
Gambar 5.35 Hubungan Belitan Motor Dahlander

Penjelasan saat ($p = 2$, kecepatan 1.450 Rpm) bagian belitan motor terhubung segitiga di mana sumber daya L1 ke terminal 1U, L2 menuju terminal 1V dan L3 terhubung ke terminal 1W. Sementara ujung terminal 2U, 2V dan 2W tidak dibiarkan terbuka **Gambar 5.36**. Perhatikan tiap fasa terdapat dua belitan yang terhubung secara seri yang akan menghasilkan dua pasang kutub.

Pada saat ($p = 1$, kecepatan 2.950 Rpm) bagian belitan motor terhubung secara paralel bintang di mana sumber daya L1 ke terminal 2U, L2 menuju terminal 2V dan L3 terhubung ke terminal 2W. Sementara ujung terminal 1U, 1V, dan 1W dihubungsingkatkan (**Gambar 5.37**). Perhatikan tiap fasa terdapat dua belitan yang terhubung bintang paralel yang akan menghasilkan satu pasang kutub saja.



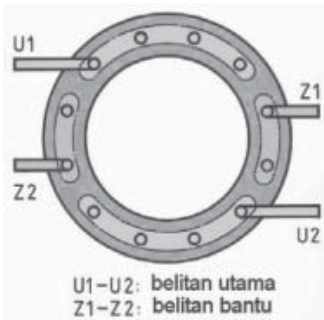
Gambar 5.36 Hubungan belitan segitiga Dahlander berkutub empat ($p = 2$)



Gambar 5.37 Hubungan belitan bintang ganda, berkutub dua ($p = 1$)

5.16 Prinsip Kerja Motor AC Satu Fasa

Motor AC satu fasa berbeda cara kerjanya dengan motor AC tiga fasa. Pada motor AC tiga fasa, belitan stator terdapat tiga belitan yang menghasilkan medan putar dan pada rotor sangkar terjadi induksi dan interaksi torsi yang menghasilkan putaran. Pada motor satu fasa memiliki dua belitan stator, yaitu belitan fasa utama (belitan U1-U2) dan belitan fasa bantu (belitan Z1-Z2) **Gambar 5.38**.

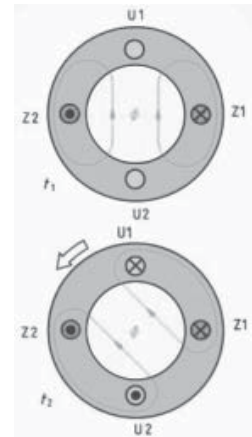


Gambar 5.38 Prinsip medan magnet utama dan medan magnet bantu motor satu fase

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.

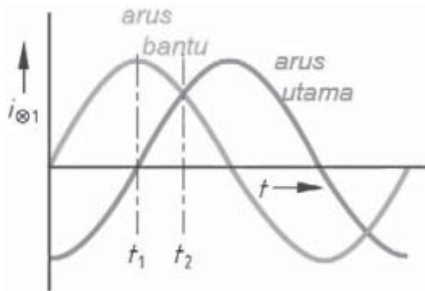
Grafik arus belitan bantu I_{bantu} dan arus belitan utama I_{utama} berbeda fase sebesar ϕ **Gambar 5.39**, hal ini disebabkan karena perbedaan besarnya impedansi kedua belitan tersebut. Perbedaan arus beda fase ini menyebabkan arus total, merupakan penjumlahan vektor arus utama dan arus bantu. Medan magnet utama yang dihasilkan belitan utama juga berbeda fase sebesar ϕ dengan medan magnet bantu.

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 (**Gambar 5.40**). Kejadian ini berlangsung terus sampai satu siklus sinusoida, sehingga menghasilkan medan magnet yang berputar pada belitan statornya.

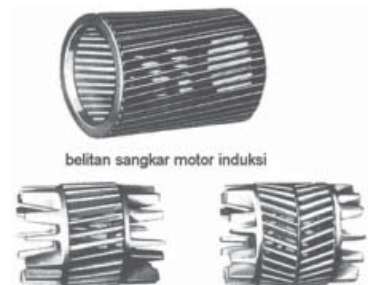


Gambar 5.40 Medan magnet pada Stator Motor satu Fase

Rotor motor satu fase sama dengan rotor motor tiga fase berbentuk batang-batang kawat yang ujung-ujungnya dihubungkan singkatkan dan menyerupai bentuk sangkar tupai, maka sering disebut rotor sangkar (**Gambar 5.41**). 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.



Gambar 5.39 Gelombang arus medan bantu dan arus medan utama



Gambar 5.41 Rotor sangkar

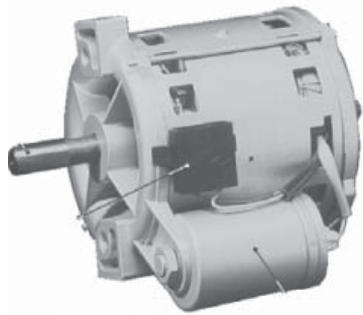
5.17 Motor Kapasitor

Motor kapasitor satu fase banyak digunakan dalam peralatan rumah tangga seperti motor pompa air, motor mesin cuci, motor lemari es, motor air conditioning (**Gambar 5.42**). Konstruksinya sederhana dengan daya kecil dan bekerja dengan suplay PLN 220 V menjadikan motor kapasitor banyak dipakai pada peralatan rumah tangga.

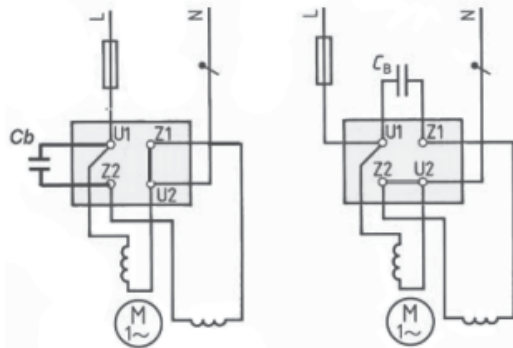
Belitan stator terdiri atas belitan utama dengan notasi terminal U1-U2, dan belitan bantu

dengan notasi terminal Z1-Z2 (**Gambar 5.40**). Jala-jala L1 terhubung dengan terminal U1, dan kawat netral N terhubung dengan terminal U2. Kondensator kerja berfungsi agar perbedaan sudut phasa belitan utama dengan belitan bantu mendekati 90°.

Untuk menghasilkan putaran ke kiri (*berlawanan jarum jam*) kondensator kerja CB disambungkan ke terminal U1 dan Z2 dan terminal Z1 dikopel dengan terminal U2 (**Gambar-5.43a**). Putaran ke kanan (*searah jarum jam*) kondensator kerja disambungkan ke terminal Z1 dan U1 dan terminal Z2 dikopel dengan terminal U1 (**Gambar-5.43b**).



Gambar 5.42 Bentuk fisik motor kapasitor

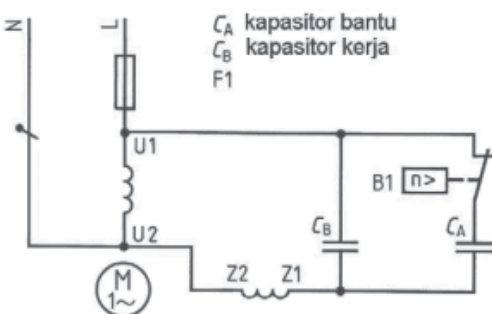


Gambar 5.43 Pengawatan Motor Kapasitor Pembalikan Putaran

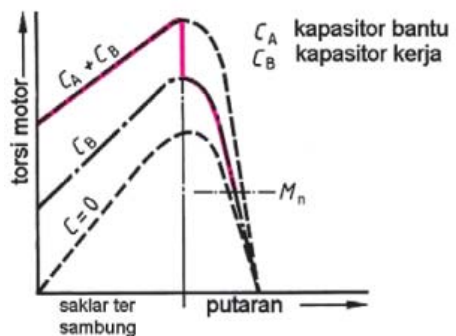
Motor kapasitor dengan daya di atas 1 kW di lengkapi dengan dua buah kondensator dan satu buah sakelar sentrifugal. Belitan utama U1-U2 dihubungkan dengan jala-jala L1 dan Netral N. Belitan bantu Z1-Z2 disambungkan seri dengan kondensator kerja C_B , dan sebuah kondensator starting C_A diseri dengan kontak *normally close* dari sakelar sentrifugal (**Gambar 5.44**).

Awalnya belitan utama dan belitan bantu mendapat suply dari jala-jala L1 dan Netral. Dua buah kondensator C_B dan C_A kedua membentuk loop tertutup, rotor mulai berputar ketika putaran mendekati 70% putaran nominalnya sakelar sentrifugal akan membuka dan kontak normally close memutuskan kondensator bantu C_A .

Fungsi dari dua kondensator disambungkan paralel $C_A + C_B$ untuk meningkatkan nilai torsi awal untuk mengangkat beban. Setelah putaran motor men capai 70% putaran, sakelar sentrifugal terputus sehingga hanya kondensator kerja CB saja yang tetap bekerja. Jika kedua kondensator rusak maka torsi motor akan menurun drastis (**Gambar 5.45**).



Gambar 5.44 Pengawatan dengan dua kapasitor



Gambar 5.45 Karakteristik torsi motor kapasitor

5.18 Motor Shaded Pole

Motor shaded pole atau motor fasa terbelah 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 (**Gambar 5.46**). Belitan stator dibelitkan sekeliling inti membentuk seperti belitan transformator. Rotornya berbetuk sangkar tupai dan porosnya ditempatkan pada rumah stator ditopang dua buah bearing.

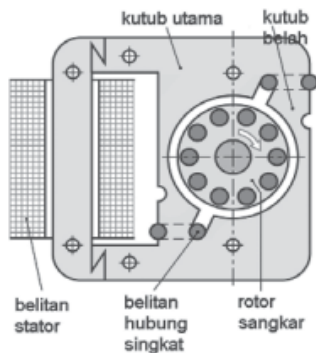
Irisan penampang motor shaded pole memperlihatkan dua bagian, yaitu bagian stator dengan belitan stator dan dua kawat shaded pole. Bagian rotor sangkar ditempatkan di tengah-tengah stator. Torsi putar dihasilkan oleh adanya pembelahan fasa oleh kawat shaded pole **Gambar 5.47**.

Konstruksi yang sederhana, daya yang kecil, handal, mudah dioperasikan, bebas perawatan dan cukup disupply dengan AC 220 V jenis motor shaded pole banyak digunakan untuk peralatan rumah tangga kecil.

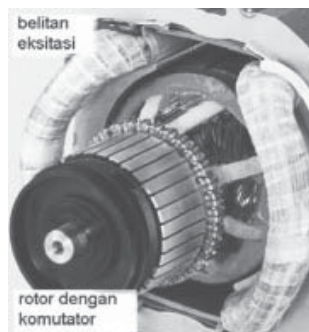
5.19 Motor Universal

Motor Universal termasuk motor satu fasa dengan menggunakan belitan stator dan belitan rotor. Motor universal dipakai pada mesin jahit, motor bor tangan. Perawatan rutin dilakukan dengan mengganti sikat arang yang memendek atau peas sikat arang yang lembek. Kontruksinya yang sederhana, handal, mudah dioperasikan, daya yang kecil, torsinya yang cukup besar motor universal dipakai untuk peralatan rumah tangga.

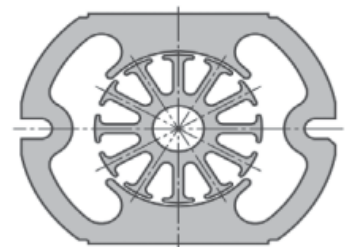
Bentuk stator dari motor universal terdiri dari dua kutub stator. Belitan rotor memiliki dua belas alur belitan (**Gambar 5.49**), dilengkapi komutator dan sikat arang yang menghubungkan secara seri antara belitan stator dengan belitan rotornya. Motor universal memiliki kecepatan tinggi sekitar 3.000 rpm. Aplikasi motor universal untuk mesin jahit, untuk mengatur kecepatan dihubungkan dengan tahanan geser dalam bentuk pedal yang ditekan dan dilepaskan.



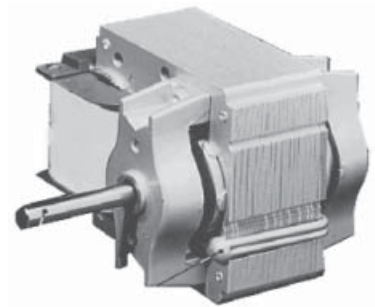
Gambar 5.47: Penampang motor shaded pole



Gambar 5.48 Komutator pada motor universal



Gambar 5.49 Stator dan rotor motor universal

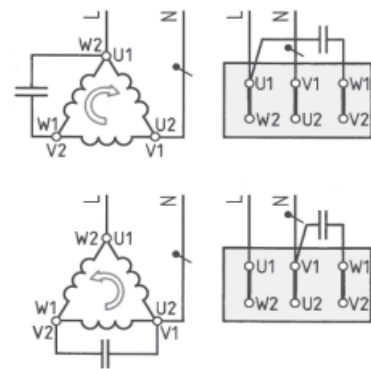


Gambar 5.46 Bentuk fisik motor shaded pole

5.20 Motor Tiga Fasa dengan Supply Tegangan Satu Fasa

Kondisi darurat memungkinkan motor tiga fasa, bisa dioperasikan dengan supply tegangan satu fasa. Terminal motor dihubungkan secara segitiga, yaitu terminal U1 dikopel W2, V1 dikopel U2, W1 dikopel V2, dan ditambahkan kondensator $8 \mu F/400V$ sebagai penggeser fasa (**Gambar 5.50**).

Untuk mendapatkan putaran ke kanan kondensator $8 \mu F/400 V$ disambungkan terminal U1 dan W1, sedangkan untuk putaran ke kiri kondensator disambungkan terminal V1 dan W1. Daya beban maksimum hanya 70% dari daya nominal name plate.



Gambar 5.50 Motor tiga Fasa di-supply tegangan satu Fasa

5.21 Rangkuman

- Kecepatan motor diukur dengan alat tachometer, pengukuran dilakukan pada poros rotor. Ada tachometer analog dan tachometer digital.
- Torsi sering disebut momen (M) merupakan perkalian gaya F (Newton) dengan panjang lengan L (meter).
- Motor induksi disebut juga motor asinkron adalah alat listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik.
- Motor terdiri atas belitan stator yang diam dan bagian rotor yang berputar pada porosnya.
- Susunan belitan stator motor induksi dengan dua kutub, memiliki tiga belitan yang masing-masing berbeda sudut 120° .
- Bagian rotor merupakan batang penghantar yang bagian ujung-ujungnya dihubungkan dan disebut rotor sangkar tupai.
- Kecepatan medan putar stator ini sering disebut kecepatan sinkron, yang berlaku rumus:

$$n_s = \frac{f \times 120}{p}$$
- Konstruksi motor induksi tidak ada bagian rotor yang bersentuhan dengan bagian stator, karena dalam motor induksi tidak komutator dan sikat arang.
- Bagian motor induksi yang perlu dipelihara rutin mencakup pelumasan bearing, dan pemeriksaan kekencangan baut-baut kabel pada terminal box karena kendur.
- Rumus mengitung daya input motor induksi: $P = \sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \phi$ (watt).
- Pada motor induksi terdapat *rugi-rugi tembaga*, *rugi inti* dan *rugi karena gesekan dan hambatan angin*.
- Efisiensi motor adalah perbandingan antara daya output pada poros rotor dengan daya input yang ditarik dari daya listrik.
- Besarnya rugi tembaga pada motor induksi sebanding dengan $I^2 \cdot R$, makin besar arus beban maka rugi tembaga makin besar juga.

- Spesifikasi teknik motor induksi terdapat pada *nameplate*, yang mengandung informasi: pabrik pembuat, jenis motor, tegangan nominal, arus nominal, putaran poros, frekuensi, daya motor, klas isolasi, dan klas IP.
- Membalik putaran motor, dilakukan dengan menukarkan posisi terminal yang terhubung dengan supply listrik 3 fasa.
- Dikenal ada empat jenis torsi, yaitu: *MA* = momen torsi awal, *MS* = momen torsi pull-up, *MK* = momen torsi maksimum, dan *MB* = momen torsi kerja.
- Ada beberapa cara teknik pengasutan, di antaranya: (a) Hubungan langsung (*Direct On Line* = *DOL*), (b) Tahanan depan Stator (*Primary Resistor*), (c) Transformator, (d) Segitiga-Bintang (*Start-Delta*), (e) Pengasutan Soft, dan (f) Tahanan Rotor lilit.
- Pengasutan hubungan langsung (*DOL*) akan menarik arus 5 s/d 6 kali arus nominal, menghasilkan torsi starting 1,96 kali torsi nominal.
- Pengasutan resistor stator dengan memasang resistor secara seri dengan belitan stator. Resistor gunanya untuk menurunkan tegangan ke stator. Jika tegangan diturunkan 50%, arus starting turun 50% dan torsi starting turun 25%.
- Pengasutan **segitiga-bintang** menggunakan sakelar segitiga-bintang. Saat hubungan segitiga arus ke stator $\frac{1}{\sqrt{3}}$ dari arus start *DOL*. Torsi starting $\frac{1}{3}$ dari *T* starting *DOL* = 0,65.
- Pengasutan *soft starting* menggunakan komponen *Solid State Thyristor* terpasang antiparalel pada rangkaian belitan stator. Dengan mengatur sudut penyalan α , tegangan dan arus starting dapat dikendalikan.
- Pengasutan *slipping* termasuk pengasutan dengan menambahkan tahanan pada rangkaian rotornya, hanya bisa dilakukan pada motor 3 fasa *jenis rotor lilit*. Dengan mengatur besaran tahanan rotor, arus dan torsi starting dapat diatur besarnya.
- Motor dua kecepatan (*Dahlander*) dirancang khusus memiliki dua belitan yang berbeda. Belitan pertama memiliki delapan pasang kutub ($p = 8$, kecepatan 370 Rpm). Belitan kedua memiliki enam pasang kutub ($p = 6$, kecepatan 425 rpm).
- Pada motor satu fasa memiliki dua belitan stator, yaitu belitan fasa utama (belitan U1-U2) dan belitan fasa bantu (belitan Z1-Z2).
- Rotor motor satu fasa sama dengan rotor motor induksi berbentuk batang-batang kawat yang ujung-ujungnya dihubungkan singkatkan dan menyerupai bentuk sangkar tupai.
- Motor kapasitor satu fasa, belitan utama stator (U1-U2) dan belitan fasa bantu dihubungkan seri dengan sebuah kapasitor (Z1-Z2).
- Motor shaded pole atau motor fasa terbelah, belitan utama pada stator dan ada belitan pembelah fasa pada kedua ujung yang dekat rotor.
- Motor Universal termasuk motor satu fasa dengan menggunakan belitan stator memiliki komutator dan sikat arang yang dihubungkan seri dengan belitan rotor.
- Motor tiga fasa, bisa dioperasikan dengan supply tegangan satu fasa, dengan menambahkan kapasitor.

5.22 Soal-Soal

1. Motor induksi pada *nameplate* tertera frekuensi 50 Hz, putaran rotor 1.450 rpm memiliki jumlah kutub 2 buah. Hitung besarnya putaran medan magnet putar pada stator dan slip motor induksi tersebut.
2. *Nameplate* motor induksi tertera daya output 7,5 kW, tegangan 400 V dan arus 18 A, $\cos \phi$ 0,85. Putaran motor 1.440 Rpm. Dapat dihitung daya input, efisiensi motor dan momen torsi motor tersebut.
3. Nameplate motor induksi dengan daya output 5,5 kW, tegangan 400 V dan arus 10,7 A, $\cos \phi$ 0,88. Putaran motor 1.425 rpm. Bila motor tersebut dihubungkan dengan starting DOL, hitung besarnya arus starting dan torsi startingnya.
4. Gambarkan pengawatan starting dengan bintang-segitiga, dan jelaskan cara kerjanya saat pengasutan terjadi, terangkan besarnya arus starting dan torsi starting yang dihasilkan.
5. Motor induksi jenis rotor lilit dengan name plate sebagai berikut.

Tegangan stator	380 V
Arus stator	160 A
Daya input	90 kW
Faktor kerja	0,89
Putaran	1450 rpm
Frekuensi	50 Hz
Tegangan rotor	245 V
Arus rotor	200 A

Hitunglah besarnya daya input, besarnya daya output dan efisiensi dari motor induksi.
6. Motor lilit 50 kW/380 V dirancang untuk pengasutan dengan tahanan belitan rotor dengan tiga tahapan. Gambarkan pengawatan rangkaian powernya dan jelaskan cara kerjanya dari tahapan pengasutan.
7. Motor pompa dirancang untuk mengisi tangki reservoir dengan ukuran 1 m × 2 m × 2 m dengan ketinggian dari permukaan tanah 10 meter, kedalaman sumur 15 meter, dan debit pompa 100 liter/menit. Tentukan daya pompa yang dibutuhkan untuk menggerakkan pompa tersebut.