

MODUL PEMBELAJARAN

KODE : MKH.PC (1).24 (40 Jam)

STARTING MOTOR TIGA FASA

**BIDANG KEAHLIAN : KETENAGALISTRIKAN
PROGRAM KEAHLIAN : TEKNIK PEMBANGKITAN**



**PROYEK PENGEMBANGAN PENDIDIKAN BERORIENTASI KETERAMPILAN HIDUP
DIREKTORAT PENDIDIKAN MENENGAH KEJURUAN
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN DASAR DAN MENENGAH
DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
2003**

KATA PENGANTAR

Bahan ajar ini disusun dalam bentuk modul/paket pembelajaran yang berisi uraian materi untuk mendukung penguasaan kompetensi tertentu yang ditulis secara sequensial, sistematis dan sesuai dengan prinsip pembelajaran dengan pendekatan kompetensi (*Competency Based Training*). Untuk itu modul ini sangat sesuai dan mudah untuk dipelajari secara mandiri dan individual. Oleh karena itu walaupun modul ini dipersiapkan untuk peserta diklat/siswa SMK dapat digunakan juga untuk diklat lain yang sejenis.

Dalam penggunaannya, bahan ajar ini tetap mengharapkan asas keluwesan dan keterlaksanaannya, yang menyesuaikan dengan karakteristik peserta, kondisi fasilitas dan tujuan kurikulum/program diklat, guna merealisasikan penyelenggaraan pembelajaran di SMK. Penyusunan Bahan Ajar Modul bertujuan untuk menyediakan bahan ajar berupa modul produktif sesuai tuntutan penguasaan kompetensi tamatan SMK sesuai program keahlian dan tamatan SMK.

Demikian, mudah-mudahan modul ini dapat bermanfaat dalam mendukung pengembangan pendidikan kejuruan, khususnya dalam pembekalan kompetensi kejuruan peserta diklat.

Jakarta, 01 Desember 2003
Direktur Dikmenjur,

Dr. Ir. Gator Priowirjanto
NIP 130675814

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
PETA KEDUDUKAN MODUL	iv
GLOSARRY/PERISTILAHAN	v
I PENDAHULUAN	1
A. Deskripsi	1
B. Prasyarat	1
C. Petunjuk Penggunaan Modul	1
D. Tujuan Akhir.....	2
E. Standar Kompetensi.....	2
F. Cek Kemampuan	4
II PEMBELAJARAN	5
A. RENCANA BELAJAR PESERTA DIKLAT.....	5
B. KEGIATAN BELAJAR.	6
Kegiatan Belajar 1	6
A. Tujuan Kegiatan	6
B. Uraian Materi	6
C. Tugas 1	10
D. Jawaban Tugas 1	11
Kegiatan Belajar 2	12
A. Tujuan Kegiatan	12
B. Uraian Materi	12
C. Tugas 2	33
D. Jawaban Test Formatif 2	33

Kegiatan Belajar 3	35
A. Tujuan Kegiatan	35
B. Uraian Materi	35
C. Tugas 3	41
D. Jawaban Tugas 3	41
III EVALUASI	42
KUNCI JAWABAN.....	44
IV PENUTUP	47
DAFTAR PUSTAKA	48
LAMPIRAN	

I. PENDAHULUAN

A. Deskripsi Modul :

Modul ini berjudul “ Starting Motor 3 Fasa “ merupakan salah satu bagian dari keseluruhan lima judul modul , dimana empat judul modul lainnya adalah: Kontrol Magnetik, Kontrol Motor dan Proteksi, Teknik dasar Crane/Overhead Crane, dan Pemeliharaan Crane .

Kelima Judul modul ini diturunkan melalui analisis kebutuhan pembelajaran dari unit kompetensi Memelihara Crane K.HPC (1) pada sub kompetensi 1. memahami prosedur pemeliharaan crane/ overhead crane/ elevator. Pengembangan isi modul ini diarahkan sedemikian rupa, sehingga materi pembelajaran yang terkandung didalamnya disusun berdasarkan topik-topik selektif untuk mencapai kompetensi dalam pemeliharaan Crane

B. Prasyarat

Sebelum mempelajari modul ini anda sudah harus memiliki pengetahuan tentang mesin listrik khususnya karakteristik motor.

C. Petunjuk penggunaan modul

Modul ini dibagi dalam 3 kegiatan belajar yang tersusun secara sistematis dimana anda harus pelajari secara tuntas setiap kegiatan belajar mulai dari kegiatan belajar 1, 2 dan 3 secara berturut-turut. Sebelum anda beralih ke kegiatan belajar berikutnya anda harus mengerjakan test performance yang telah disiapkan pada setiap akhir pokok bahasan/kegiatan belajar. Untuk meyakinkan jawaban anda bias menggunakan kunci jawaban yang sudah tersedia,

Pada akhir anda mempelajari modul ini anda harus mengerjakan soal yang sudah disediakan pada lembar evaluasi tanpa kunci jawaban. Dan untuk meyakinkan jawaban anda, anda bisa menggunakan kunci jawaban yang telah tersedia.

Untuk lulus dari modul ini anda harus telah mengerjakan seluruh latihan dengan benar, telah mengerjakan tugas praktek dengan benar dan telah mengerjakan test dengan skor minimum 85.

D. Tujuan akhir

Setelah mempelajari modul ini diharapkan anda mampu:

1. Menjelaskan konsep starting motor induksi
2. Menjelaskan metoda starting motor industri
3. Menghitung waktu starting motor
4. Memilih motor starting yang sesuai dengan karakteristik motor dan beban.

E. Standar Kompetensi

Kode Kompetensi : K.HPC. (1)

Unit Kompetensi : Memelihara Crane/Overhead Crane/Elevator

Ruang Lingkup :

Unit kompetensi ini berkaitan dengan pemahaman tentang prosedur pemeliharaan Crane/OH Crane pada stasiun pembangkit. Pekerjaan ini mencakup identifikasi komponen Genset dan prosedur bongkar pasang komponen Crane/OH Crane sesuai standard an peraturan yang berlaku serta pembuatan laporan pelaksanaan pekerjaan

Sub kompetensi 1 :

Memahami prosedur pemeliharaan Crane/Overhead Crane/Elevator

KUK :

1. Masing-masing komponen dapat diidentifikasi sesuai dengan gambar teknik yang berlaku di perusahaan.
2. Prosedur/instruksi kerja pemeliharaan dapat dijelaskan sesuai dengan standar unit pembangkit

Sub Kompetensi 2 :

Mempersiapkan pelaksanaan pemeliharaan Crane/Overhead Crane/Elevator

KUK:

1. Perlengkapan kerja untuk pemeliharaan diidentifikasi sesuai dengan kebutuhan pemeliharaan.
2. Perlengkapan kerja untuk pemeliharaan disiapkan sesuai kebutuhan pemeliharaan

Sub Kompetensi 3 :

Melaksanakan pemeliharaan Crane/Overhead Crane/Elevator

KUK :

1. Crane atau komponennya dibongkar sesuai dengan rencana kerja dan prosedur/instruksi kerja perusahaan.
2. Komponen Crane dibersihkan sesuai dengan rencana kerja dan prosedur/instruksi kerja perusahaan.
3. Komponen Crane dipasang sesuai dengan rencana kerja dan prosedur/instruksi kerja perusahaan.

Pengetahuan : Memahami seluk beluk (karakteristik) *starting motor 3 fase* sebagai kesatuan dari unit penggerak crane/ overhead crane

Ketrampilan : Melakukan penyetelan, pengaturan dan pengukuran waktu starting motor 3 fasa pada sistem penggerak Crane / overhead crane

Sikap : Penyetelan, pengaturan dan pengukuran waktu starting motor 3 fase dilakukan secara cermat berdasarkan prosedur kerja serta mentaati prosedur keselamatan kerja

Kode Modul : **MKH.PC.(1) 24**

CEK KEMAMPUAN

No.	Latihan/ Tugas yang telah kerjakan	Hasil		Tgl	Paraf asessor
		Ya	Tidak		
1.	Latihan 1				
2.	Latihan 2				
3.	Latihan 3				
4.	Tes formatif				

Keterangan assessor:

Rekomendasi asessor

.....,

Asessor,

II. PEMBELAJARAN

A. RENCANA BELAJAR SISWA

Modul ini akan efektif jika dipelajari dilaboratorium control dengan menggunakan trainer sesuai dengan kebutuhan kegiatan belajar. Untuk pelaksanaan tugas praktek dibawah bimbingan seorang instructor dengan rencana belajar sebagai berikut:

No	Materi yang dipelajari	Mulai Tanggal	Selesai Tanggal	Keterangan
1.	Dinamika Starting			
2.	Metoda Starting			
3.	Penentuan Waktu Starting			

B. KEGIATAN BELAJAR

KEGIATAN BELAJAR 1

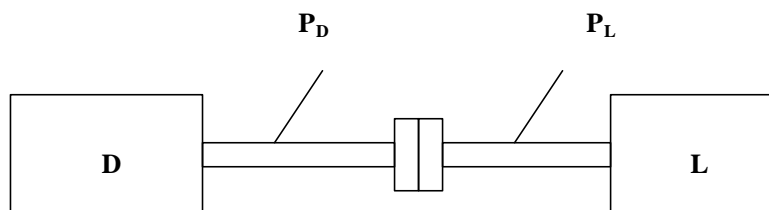
DINAMIKA STARTING

Tujuan:

Melalui kegiatan belajar ini anda dapat memahami dinamika starting sebagai dasar penentuan metoda serta waktu starting yang tepat untuk setiap motor penggerak, sesuai dengan karakteristik beban serta system penggerak yang digunakan.

Uraian Materi:

Untuk menganalisa dinamika starting dari suatu system penggerak, semua torsi dan momen inersia harus dinyatakan pada kecepatan yang sama. Jika efisiensi mekanik dari suatu transmisi dinyatakan pada poros adalah f maka hubungan daya beban P_L dan daya penggerak P_D dapat dinyatakan melalui persamaan sebagai berikut:



Gambar 1.1 Hubungan daya penggerak dan daya beban

$$P_L = f P_D$$

Atau : $f T_L = T_D$

$$T_D = \frac{f T_L}{f}$$
$$= \frac{N_L T_L}{f N_D}$$

dimana : $N_L =$ Kecepatan beban

$N_D =$ Kecepatan poros

Momen inersia tergantung dari satu kecepatan terhadap kecepatan lainnya. Melalui prinsip kekekalan energi kinetis yaitu :

$$\frac{1}{2} J_L N_L^2 = \frac{1}{2} J_D N_D^2$$

$$J_D = J_L \left(\frac{N_L}{N_D} \right)^2$$

atau $J_D = J_L \left(\frac{N_L}{N_D} \right)^2$

dimana: $J_L =$ Momen inersia beban

$N_L =$ Kecepatan beban

$J_D =$ Momen inersia penggerak

$N_D =$ Kecepatan penggerak

Momen inersia total dari system penggerak yang ditinjau terhadap kecepatan poros. Besarnya merupakan jumlah dari pada momen inersia beban, system transmisi, serta inersia yang dihasilkan oleh motor itu sendiri pada rotor.

$$J_T = J_D + J_M$$

dimana: $J_T =$ Momen inersia total dari system

$J_D =$ Momen inersia yang dinyatakan pada poros motor

$J_M =$ Momen inersia motor itu sendiri.

Contoh soal :

Torsi beban konstan 30 N.m berputar pada 800 rpm digerakan oleh sebuah motor penggerak melalui gear dengan efisiensi 90%. Putaran motor penggerak 970 rpm. Hitung torsi beban total yang dinyatakan pada poros motor.

Penyelesaian : $T_D = \frac{N_L \cdot T_L}{N_D}$

$$= \frac{800 \cdot 30 \cdot 100}{90 \cdot 470} = 27.5 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Torsi pada Dinamika Starting.

Ada 3 komponen torsi yang terdapat dalam suatu system penggerak yaitu:

1. Torsi beban T_L
2. Torsi gesekan dari mesin, transmisi atau motor penggerak T_F
3. Torsi dinamik yaitu torsi yang mempercepat atau memperlambat pergerakan komponen system.

Harga aljabar semua torsi ini adalah merupakan torsi total T_D yang terpakai pada motor yaitu :

$$T_D = T_L + T_F + T_J$$

Torsi dinamik bisa positif, negatif atau nol.

Jika torsi motor dan torsi beban seimbang maka:

$$T_M = T_D$$

$$T_M = T_L + T_F + T_J$$

$$T_M = T_L + T_F + J \frac{d\omega}{dt}$$

Dalam persamaan tersebut torsi motor dianggap sebagai torsi gerak dan torsi beban sebagai torsi lawan. J adalah momen inersia dari system dalam $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ dan ω adalah kecepatan sudut dalam satuan/ detik.

Keadaan yang dapat terjadi pada system ini adalah:

1. $T_L < T_M, d\omega / dt < 0$ Pada keadaan ini motor penggerak akan mendapat percepatan
2. $T_L > T_M, d\omega / dt > 0$ Pada saat ini keadaan motor mendapat perlambatan percepatan sehingga berhenti.
3. $T_L = T_M, d\omega / dt = 0$ Pada keadaan ini motor akan tetap berputar pada kecepatan yang sama. Tetapi bila motor dalam keadaan diam, motor akan tetap diam.

Pernyataan diatas ini hanya berlaku bila beban motor merupakan beban positif. Bila beban negatif akan berlaku sebaliknya. Istilah $J d_2 / d_1$ disebut juga sebagai torsi dinamik yang akan timbul pada saat transient, yaitu pada saat terjadiperubahan kecepatan motor penggerak selama percepatan.

Torsi inersia searah dengan gerakan dan pada saat pengereman ia akan cenderung mempertahankan putaran system. Jadi torsi inersia mempunyai arah dan besaran dan merupakan penjumlahan torsi secara aljabar torsi motor dan torsi beban.

Torsi yang dihasilkan oleh motor dalam Newton-meter (N.m) motor merupakan beban aktif seperti alat angkat (hoist), maka :

$$P = T_M \omega$$
$$\omega = 2\pi n / 60$$
$$T_M = \frac{60 P \text{ watt sin kron}}{2\pi N_s}$$

Torsi dalam kilogram force meter (kgf.m)

$$T_M = \frac{60 P \cdot 1000}{9.81 \cdot 2 / 60}$$
$$\frac{\text{Watt}}{1,027} \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Torsi beban penuh motor yang dihasilkan pada output kecepatan beban penuh

$$T_M = f_L = \frac{9.55 P \cdot 1000}{N}$$

dimana: $T_M = f_L$ = Torsi beban penuh (N.m)

P= Daya nominal output beban penuh (watt)

N= Kecepatan beban penuh (rpm)

Jika jumlah kutub motor dan frekwensi diketahui sebagai frekwensi kecepatan beban penuh, dengan anggapan pada keadaan torsi beban penuh slip 4% maka:

$$T_M = \frac{9.55 P \cdot 1000}{0.96 N_s}$$

Latihan 1:

Pada suatu kecepatan motor menghasilkan torsi sebesar 80 N.m. Beban yang digerakan motor mempunyai torsi sebesar 60 N.m dan torsi gesekan 25 N,m

Tentukan:

- a. Torsi dinamik system
- b. Apakah system tersebut mengalami percepatan atau perlambatan.
- c. Harga torsi yang terpakai agar motor memungkinkan beroperasi dengan kecepatan konstan dengan torsi motor dan torsi gesekan adalah konstan.
- d. Berapa banyak torsi gesek yang diturunkan agar system mendapat percepatan

Catatan:

Untuk mendapat percepatan, torsi dinamik harus lebih besar 10% atau lebih dari beban terpakai dan torsi gerak.

Kunci Jawaban Latihan 1

a. $T_M = T_L = T_F = T_J$

$$T_J = T_M = T_L = T_F$$

$$= 80 - 65 - 25$$

$$T_J = -10 \text{ N.m}$$

b. Torsi nominal adalah negatif (system mengalami perlambatan).

c. Untuk kecepatan konstan $T_J = 0$

$$T_M = T_L = T_F$$

$$T_L = T_M = T_F$$

$$= 80 - 25$$

$$T_L = 55 \text{ N.m}$$

d. $T_J = 10\% T_L = T_F$

$$T_M = T_L = T_F = 10\% T_L = T_F$$

$$= 110\% T_L = 110\% T_F$$

$$= 110\% T_L = T_F$$

$$110\% T_F = T_M = 110\% T_L$$

$$T_F = \frac{80 \times 71.5}{1.1}$$

$$= 1.75 \text{ N.m}$$

KEGIATAN BELAJAR 2

METODA STARTING MOTOR LISTRIK

Tujuan :

Kegiatan belajar 2 ini memberikan kemampuan bagi anda dalam memilih metoda starting yang sesuai dengan karakteristik motor penggerak dan beban.

Uraian Materi :

Motor-motor listrik a c yang mempunyai kapasitas daya yang besar biasanya mempunyai persoalan yang cukup rumit dalam penentuan cara starting yang sesuai untuk motor tersebut.

Pemilihan motor starting untuk motor-motor ini biasanya banyak dipengaruhi oleh factor-faktor seperti kapasitas daya, jenis motor misalnya motor rotor sangkar atau motor rotor lilit, jenis rancangan motor (motor basic, torsi tinggi, torsi rendah) kemudian jenis-jenis beban yang digerakan.

Ada dua metoda starting yang di gunakan untuk menjalankan motor-motor listrik a.c yaitu:

1. Starting dengan menggunakan tegangan penuh dari jaringan.

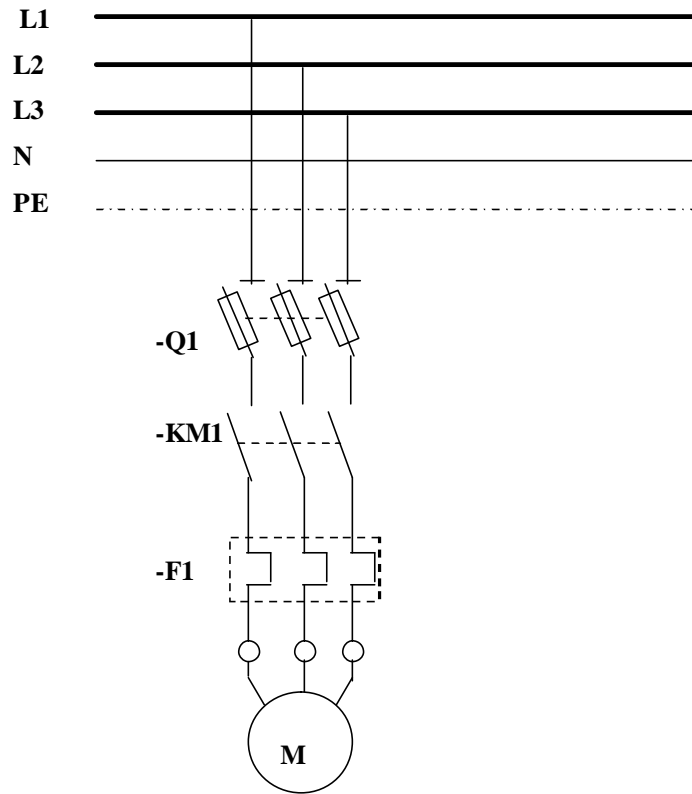
Starting dengan metoda ini menggunakan tegangan jala-jala penuh yang dihubungkan langsung keterminal motor. Metoda starting ini sering juga disebut "Direct on Line Starting (DOL Starting).

2. Starting dengan penurunan tegangan

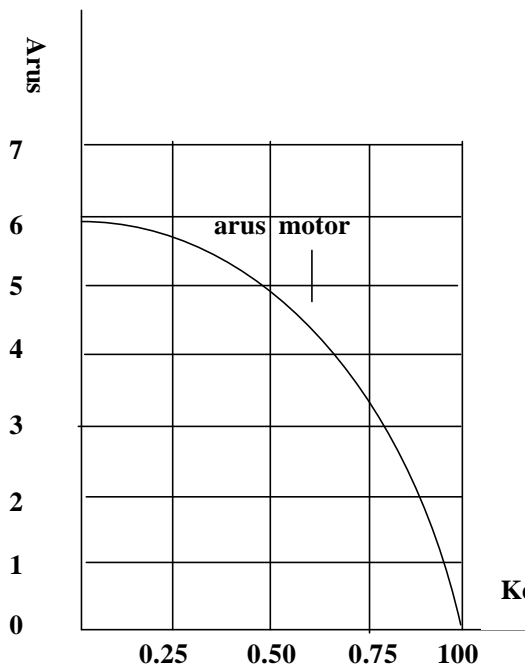
2.1. Starting Dengan Tegangan Penuh

Penggunaan metoda ini sering dilakukan untuk motor-motor a.c yang mempunyai kapasitas daya yang kecil.

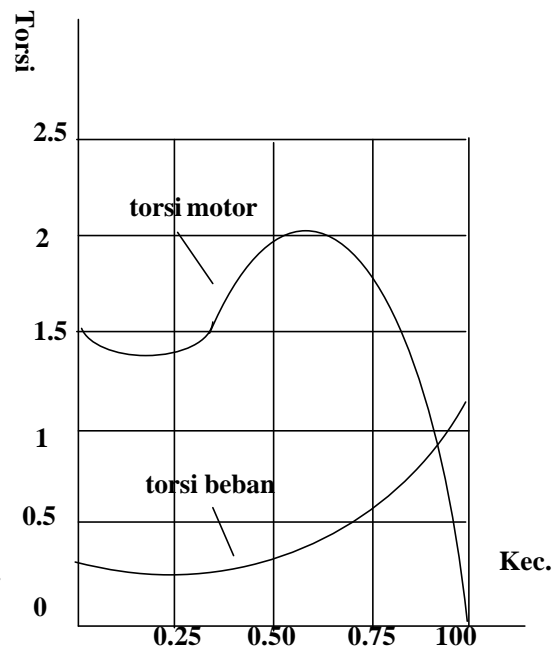
Pengertian penyambungan langsung disini, motor yang akan dijalankan langsung di swich On ke sumber tegangan jala-jala sesuai dengan besar tegangan nominal motor. Artinya tidak perlu mengatur atau menurunkan tegangan pada saat starting (lihat gambar 2.1)



Gambar 2.1 Diagram Starter dengan DOL (Direct On Line)



Gambar a.
Karakteristik arus-kecepatan
Dengan starting DOL



Gambar b.
Karakteristik Torsi-kecepatan
dengan starting DOL

Gambar 2.2. Karakteristik starting motor (DOL starting)

Misalnya motor penggerak mesin bor, mesin gergaji, pompa air atau mesin-mesin perkakas yang lain.

Dalam pemilihan metoda starting system DOL (langsung) harga torsi dan arus motor pada saat starting dapat ditentukan dari persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \text{Daya} &= \text{Torsi} \times \text{Kecepatan sudut} \\ &= T \times \omega \quad (\text{watt}) \end{aligned}$$

Kalau, $\omega = 2\pi Ns$ maka,

$$\text{Daya masukan motor (motor input)} = 2\pi Ns \times T$$

$$\text{Atau} \quad \text{Daya masukan motor} = k \cdot T$$

$$\text{Rugi-rugi tembaga} = s \times \text{motor input}$$

$$3I_2^2 R_2 = s k T$$

Jika harga R_2 sama maka,

$$T = \frac{3I_2^2 R_2}{s k}$$

Dari persamaan nilai 3, R_2 dan K merupakan konstanta.

$$T = \text{harga } T = \frac{I_2^2}{s}$$

Sekarang $I_2 = I_1$

$$T = \text{harga } T = \frac{I_1^2}{s}$$

$$\text{atau} \quad T = \frac{K I_1^2}{s} \quad K = \text{konstanta baru}$$

Pada saat startng harga $s = 1$

$$T_{st} = \frac{K I_{st}^2}{s} \quad \text{---} \quad s = 1$$

$$T_{st} = K I_{st}^2$$

$$\text{dan torsi beban penuh} \quad T_f = \frac{K I_{st}^2}{K I_f^2 / s_f}$$

maka perbandingan torsi starting dengan torsi beban penuh menjadi :

$$\frac{T_{st}}{T_f} = \frac{K I_{st}^2}{K I_f^2 / s_f}$$

$$\frac{T_{st}}{T_f} \approx \frac{T_{st}^2}{I_{st}^2} \cdot s_f$$

$$\frac{T_{st}}{T_f} \approx \left(\frac{I_{st}}{I_f} \right)^2 \cdot s_f$$

Kalau pada sistem DOL (langsung) arus starting yang mengalir pada motor kita sebut arus hubung singkat (I_{sc}) maka:

$$I_{st} = I_{sc}$$

Sehingga:
$$\frac{T_{st}}{T_f} \approx \left(\frac{I_{sc}}{I_f} \right)^2 \cdot s_f$$

Kalau
$$\frac{I_{sc}}{I_f} \approx a$$

Maka
$$\frac{T_{st}}{T_f} \approx a^2 \cdot s_f$$

Rumus perbandingan ini dapat memberi gambaran kepada kita besarnya torsi jika di starting jika distarting langsung ke jala-jala (DOL) di dasarkan pada torsi beban penuh.

Sebagai contoh:

Jika suatu motor listrik a.c 3 fasa, dengan jenis motor adalah Basic Design (arus starting kira-kira 7 kali arus beban penuh motor dan slip pada beban penuh 4%. Motor distarting pada tegangan normal. Harga torsi starting dapat ditentukan sebagai berikut:

Diketahui:

$$I_{st} \approx I_{sc} \approx 7 I_f$$

$$s_f \approx 4\% \approx 0.04$$

Sehingga:
$$\frac{T_{st}}{T_f} \approx \left(\frac{I_{sc}}{I_f} \right)^2 \cdot s_f$$

$$\frac{T_{st}}{T_f} \approx \left(\frac{7 I_f}{I_f} \right)^2 \cdot 0.04$$

$$\frac{T_{st}}{T_f} \approx 7^2 \cdot 0.04$$

$$T_{st} \approx 1.96T_f$$

Hasil perhitungan ini menunjukkan bahwa jika motor distarting langsung ke jala-jala (DOL) starting dengan mengambil arus starting kira-kira 7 kali arus beban penuh, maka torsi starting motor akan sama dengan 1.96 kali torsi beban penuh.

Cara starting ini biasanya mengambil arus 600 % kali arus beban penuh. Tapi harga ini bervariasi antara 400% sampai dengan 800% tergantung pada kecepatan, ukuran dan karakteristik motor.

2.2. Starting Dengan Penurunan Tegangan

Untuk menjalankan sebuah motor listrik diperlukan daya yang besar yang diberikan oleh tegangan sumber.

Besarnya daya yang diperlukan ini cukup besar dibandingkan dengan motor sesudah beroperasi penuh (running).

Besarnya daya yang diperlukan oleh motor ini untuk start sama dengan besarnya arus yang diambil oleh motor itu sendiri. Besar arus ini berkisar antara 4 sampai dengan 8 kali arus beban penuh motor.

Meskipun besarnya arus yang mengalir itu hanya dalam waktu yang singkat, tetapi untuk kapasitas motor yang besar akan mengambil daya besar, akan dapat mengganggu system jaringan yang ada dan merusak system motor itu sendiri. Oleh karena itu untuk mengatasi bahaya yang mungkin timbul akibat besarnya arus yang mengalir pada waktu start, digunakan beberapa metoda starting dengan cara menurunkan tegangan yaitu:

- a. Starting dengan menggunakan system sambungan Δ / Δ (Δ / Δ starting).
- b. Starting dengan menggunakan tahanan primer (Primary Resistance Starting).
- c. Starting dengan menggunakan menggunakan Autotransformer (Autotransformer Starting).

2.2.1. Starting dengan menggunakan system sambungan Δ / Δ .

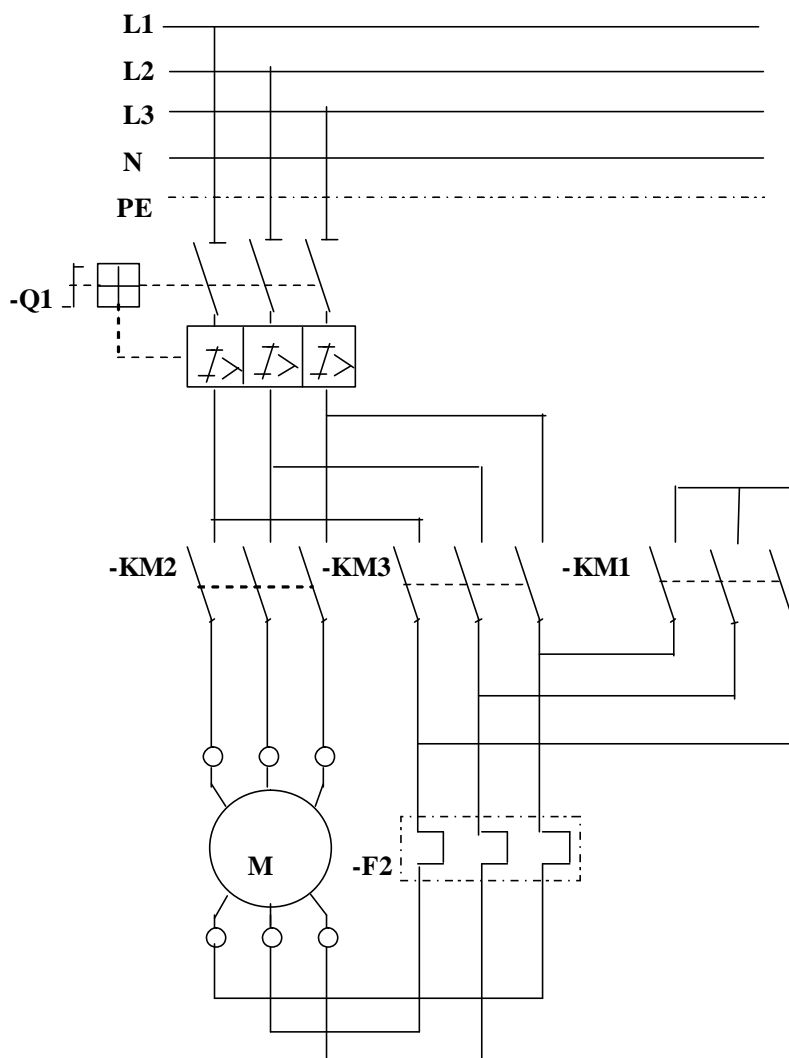
Starting ini banyak digunakan untuk menjalankan motor induksi motor sangkar yang mempunyai daya diatas 5 kW (atau sekitar 7 HP).

Cara pengoperasian motor ini biasanya tergantung dari jenis starter yang dipilih. Jenis starter dipasaran banyak kita temukan antara lain; saklar putar Δ / Δ , saklar khusus Δ / Δ

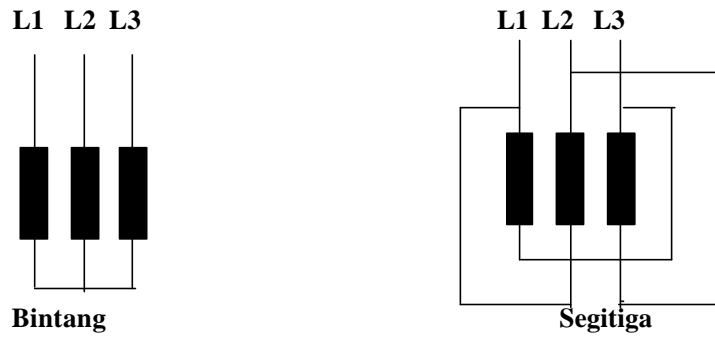
atau dapat juga menggunakan beberapa kontaktor yang dirancang khusus untuk membuat sambungan motor dalam hubungan bintang atau segitiga.

Apabila sebuah motor yang dirancang khusus pada tegangan 220/380 volt, sedangkan tegangan jala-jala sumber 3 fasa yang tersedia 380 volt, maka motor itu hanya boleh dijalankan dalam hubungan bintang (?). Artinya kalau motor ini akan distarting tidak boleh menggunakan system starting ?/?. Tetapi bila motor ini dilayani oleh sumber tegangan jala-jala 3 fasa 220 volt, maka system starting ?/? dapat digunakan.

besarnya tegangan starting motor dapat kita lihat dari uraian gambar berikut ini.

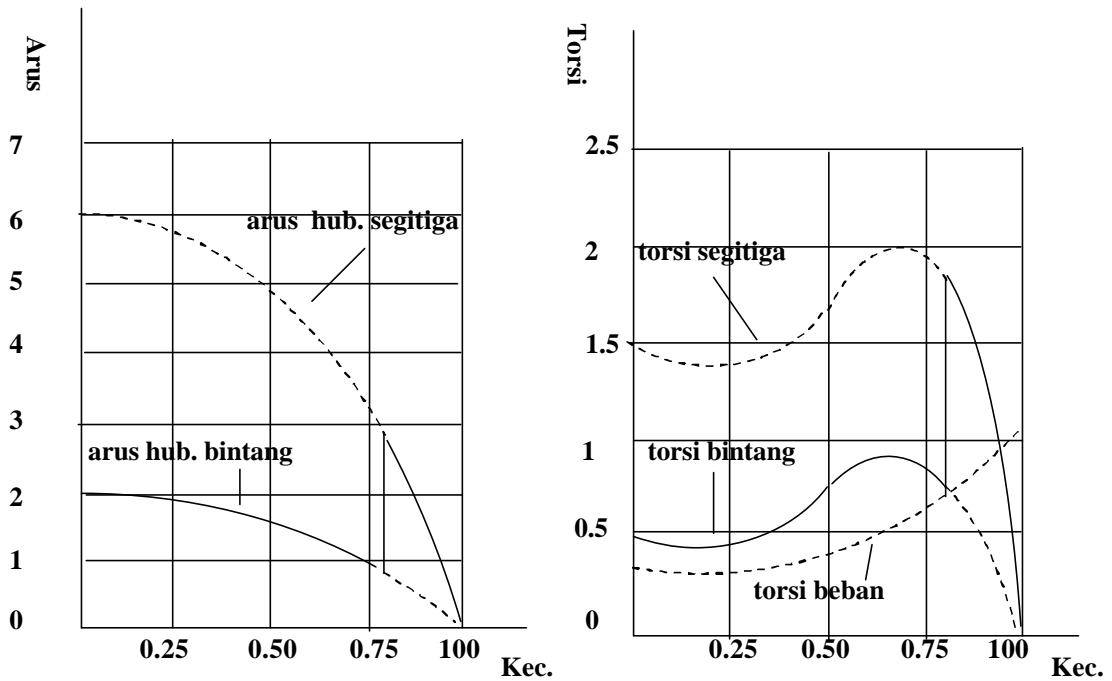


Gambar a. Diagram Starter Bintang-Segitiga



Gambar b. Hubungan kumparan motor

Gambar 2.3. Diagram Starting motor untuk starting ??



Gambar a. Karakteristik Arus-Kecepatan Starting ??

Gambar b. Karakteristik Torsi-Kecepatan Starting ??

Gambar 2.4. Karakteristik Starting Motor ??

Misalnya:

Tegangan motor 220/380 volt

Pernyataan ini mempunyai arti lilitan fasa motor dapat menerima tegangan sebesar 220 volt. Jadi kalau motor diberi sumber listrik 220 volt tegangan yang diterima oleh lilitan fasa menjadi:

$$\frac{220}{\sqrt{3}} \approx 127 \text{ volt pada waktu hubungan bintang (?)}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{start}} &= I_{\text{jala-jala}} = \frac{\text{tegangan fasa}}{Z_{\text{fase}}} \sqrt{3} \\ &= \frac{V_{\text{fase}}}{Z_{\text{fase}}} \sqrt{3} \end{aligned}$$

Kalau $I_{\text{start}}^?$ dibandingkan dengan I_{start} akan diperoleh nilai sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{I_{\text{start}}^?}{I_{\text{start}}} &= \frac{V / \sqrt{3}}{Z_{\text{fase}}} / \frac{V}{Z_{\text{fase}}} \sqrt{3} \\ &= \frac{V / \sqrt{3}}{Z_{\text{fase}}} \cdot \frac{Z_{\text{fase}}}{V \sqrt{3}} \\ &= \frac{1}{\sqrt{3} \sqrt{3}} \\ &= \frac{1}{3} \end{aligned}$$

$$\text{Jadi } \frac{I_{\text{start}}^?}{I_{\text{start}}} = \frac{1}{3} \quad \text{atau} \quad I_{\text{start}}^? = \frac{1}{3} I_{\text{start}}$$

Dari hasil ini kita dapat lihat bahwa besar arus yang mengalir kalau dihubungkan bintang adalah 1/3 kali besarnya arus jika motor dihubungkan segitiga.

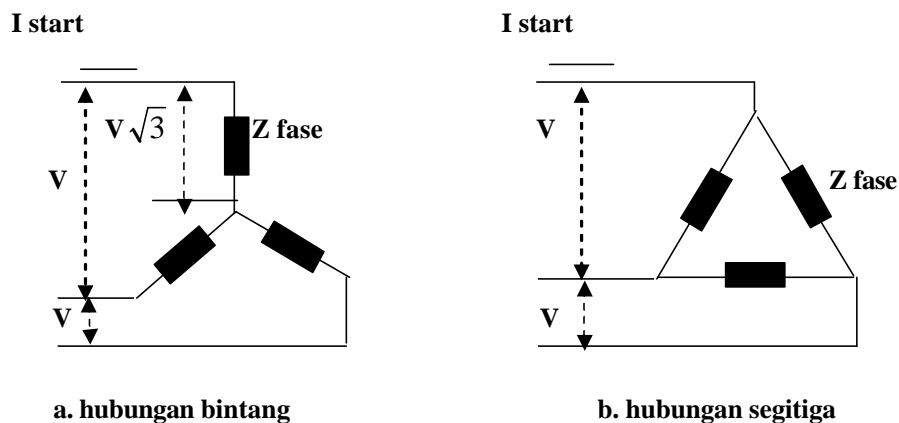
Sebagai contoh:

Sebuah motor induksi Basic Design di start langsung ke jala-jala dengan mengambil arus start sebesar 600% kali arus beban penuh.

Hitunglah arus start motor jika motor distarting ? / ?

Jawab:

Pada waktu hubungan segitiga (?) lilitan fasa motor akan menerima tegangan sebesar 220 volt



Gambar 2.5. Perbandingan arus starting hubungan bintang dan segitiga

Arus start dalam hubungan bintang (?):

Jika motor dihubungkan dalam bintang, motor akan mendapat tegangan sebesar V volt sedangkan lilitan motor mempunyai impedansi sebesar Z ohm, maka besarnya arus start motor dalam hubungan bintang menjadi:

$$I_{start} ? \frac{V/\sqrt{3}}{Z_{fase}} ? \frac{Tegangan_{fase}}{Z_{fase}}$$

Besarnya I_{start} ? sama dengan besarnya arus jala-jala atau sama dengan besarnya arus fase atau:

$$I_{start} ? = I_{jala-jala} ? = I_{fase} ?$$

Harga ini akan berlaku untuk setiap saat starting

Arus start dalam hubungan segitiga (?):

Secara prinsip harga arus disini dapat ditentukan melalui perbandingan tegangan dan impedansi motor pada saat hubungan segitiga sehingga besarnya arus start dalam hubungan segitiga menjadi:

$$I_{start} ? = I_{jala-jala} ? = I_{fase} ? \sqrt{3}$$

Perbandingan I_{start} langsung (DOL) dengan $I_{start} ?$ /?

$$I_{start} DOL = I_{start} ? = 600% ? I_{beban\ penuh}$$

$$I_{start} ? / ? = 1/3 I_{start} DOL = 1/3 ? 600% = 200% I_{beban\ penuh}$$

Torsi yang dihasilkan pada waktu starting ? /?

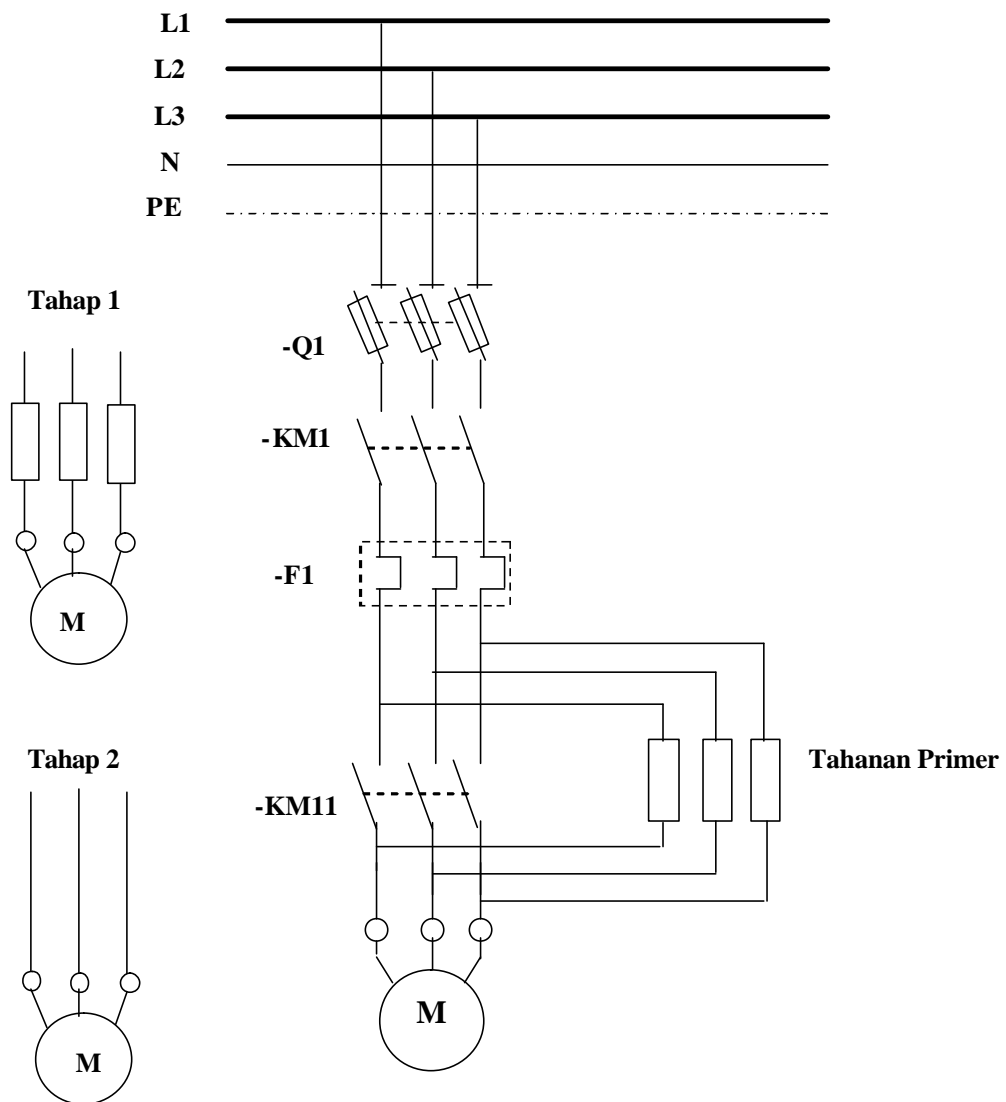
$$T \propto I^2 \frac{R_2}{s}$$

Torsi starting juga ikut turun sebanding dengan penurunan arus starting kuadrat (I^2)

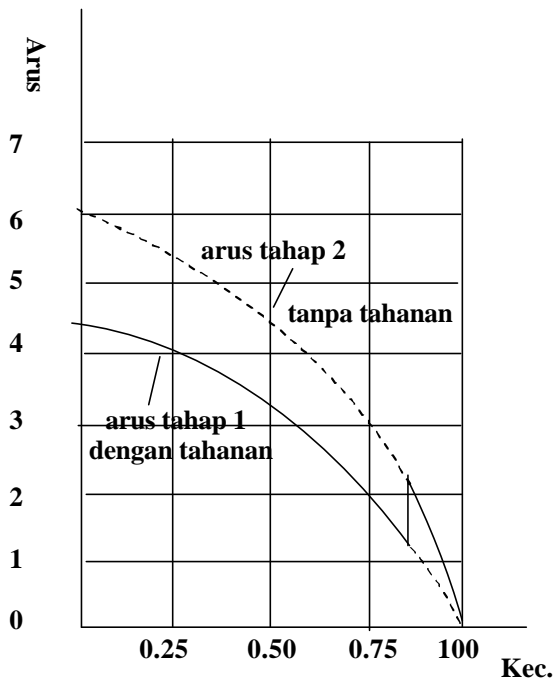
yaitu: $\frac{1}{\sqrt{3}} \propto \frac{1}{\sqrt{3}} \propto \frac{1}{3}$ dari torsi DOL.

2.2.2. Starting Dengan Menggunakan Tahanan Primer

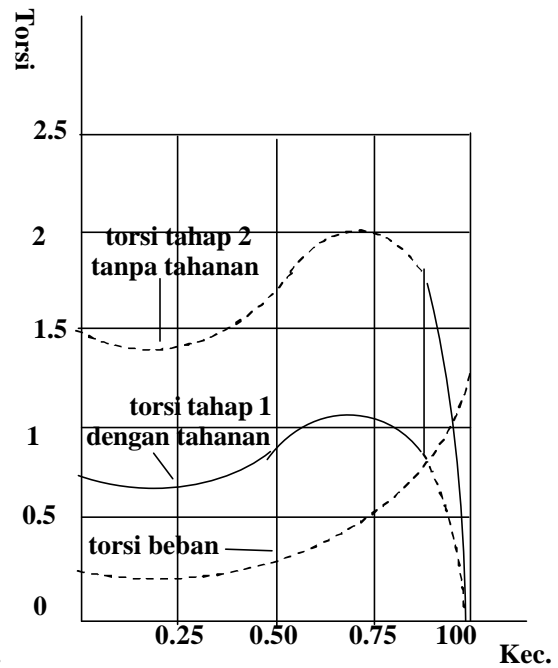
Starting dengan menggunakan tahanan primer adalah suatu cara menurunkan tegangan yang masuk kemotor melalui tahanan yang disebut tahanan primer karena tahanan ini terhubung pada sisi stator.



Gambar 2.6. Diagram Starter dengan Primer (Primary Resistance Starter)



Gambar b.
Karakteristik Arus-Kecepatan Starting dengan Tahanan Primer



Gambar c.
Karakteristik Torsi-Kecepatan Starting dengan Tahanan Primer

Gambar 2.7. Diagram starting motor dengan menggunakan Tahanan Primer (Primary Resistance Starting)

Metoda starting dengan Tahanan Primer adalah menggunakan prinsip tegangan jatuh. Dari gambar terlihat kalau tap berubah menjadi $x V$ sehingga berlaku persamaan:

$$I_{start} = x I_{sc} \text{ dan } T_{start} = x^2 T_{sc}$$

$$\frac{T_{start}}{T_f} = \left(\frac{I_{start}}{I_f} \right)^2 s_f$$

$$= \left(\frac{x I_{sc}}{I_f} \right)^2 s_f$$

$$= x^2 \left(\frac{I_{sc}}{I_f} \right)^2 s_f$$

$$= x^2 a^2 s_f$$

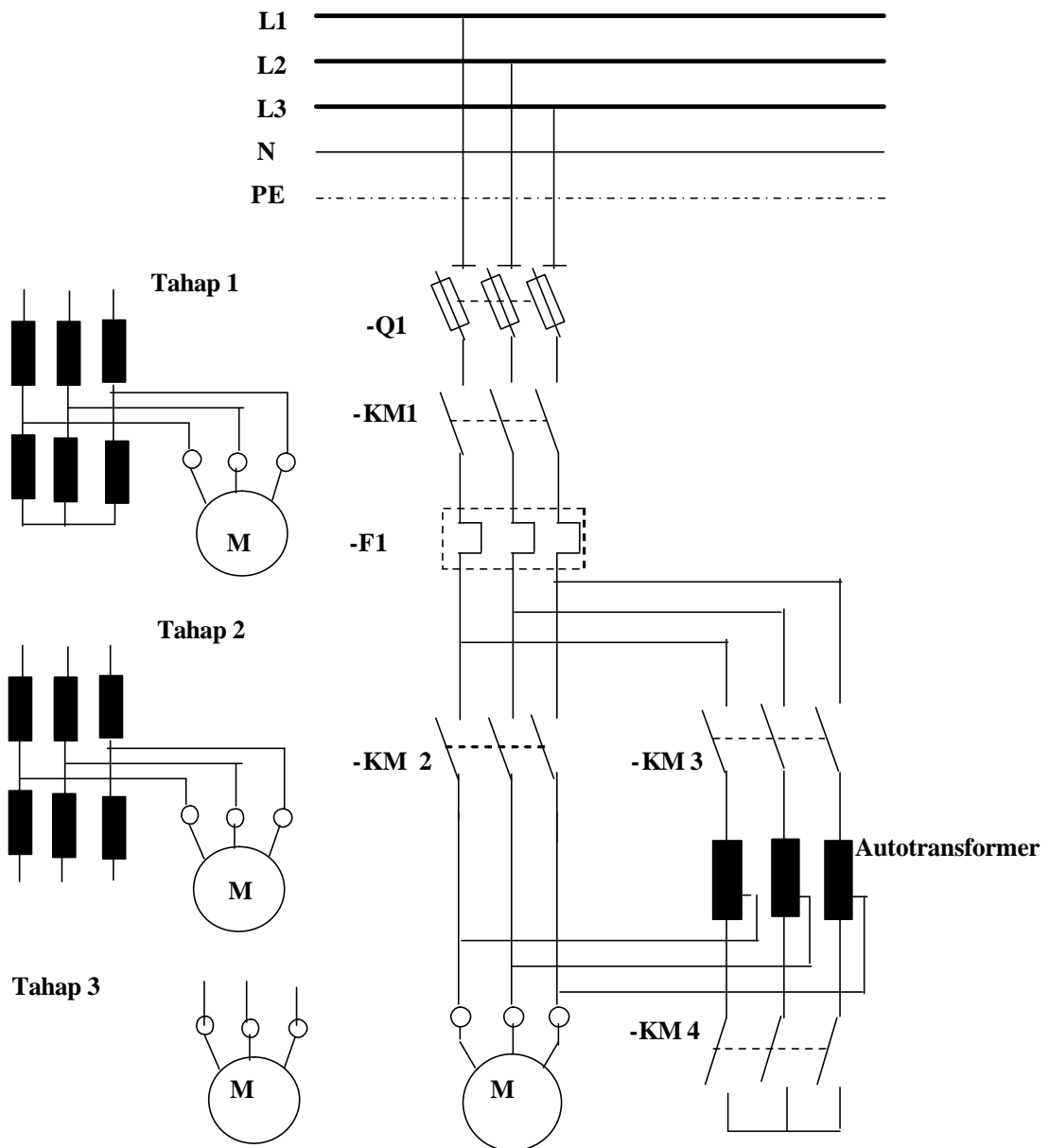
Perbandingan torsi starting dengan torsi beban penuh:

$$\frac{T_{st}}{T_f} = x^2 a^2 s_f$$

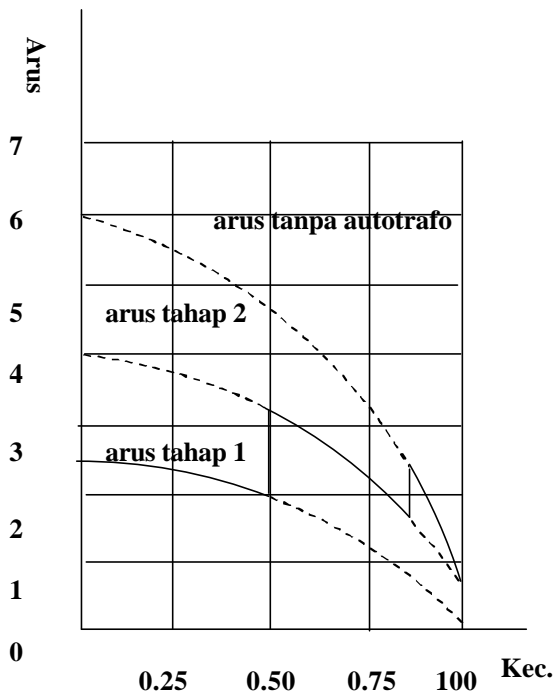
Penggunaan metoda starting ini banyak digunakan untuk motor-motor kecil.

2.2.3. Starting dengan menggunakan Autotransformer (Autotransformer starting)

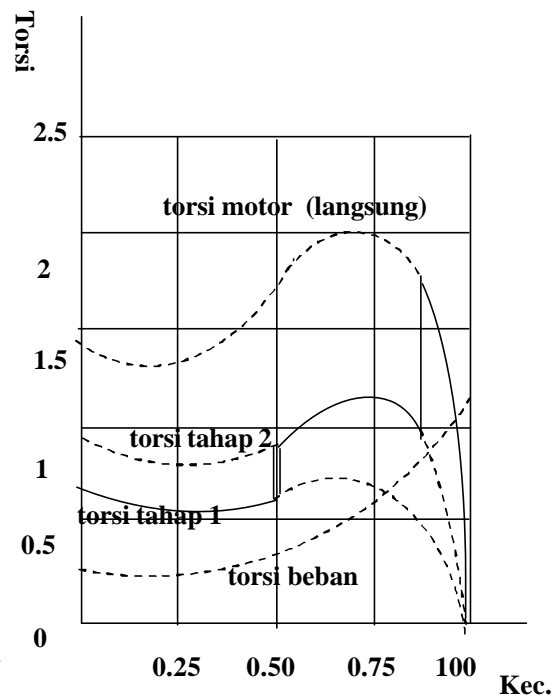
Starting dengan cara ini adalah dengan menghubungkan motor pada tap tegangan sekunder autotransformer terendah. Setelah beberapa saat motor dipercepat tap autotransformer diputuskan dari rangkaian dan motor terhubung langsung pada tegangan penuh.



Gambar 2.8 Diagram startyer dengan Autotransformer Starting



Gambar a.
Karakteristik Arus-Kecepatan
Autotransformer Starting



Gambar b.
Karakteristik Torsi-Kecepatan
Autotransformer Starting

Gambar 2.9 Karakteristik starting motor dengan Autotransformer Starting

Autotransformer dibuat dari sejumlah tahapan tegangan sekunder yang besarnya 83%, 67% dan 50% dari tegangan primer.

Jika perbandingan tap tegangan sama dengan 'k' maka, untuk tap 67%, $k = 0.67$. Ini berarti bahwa tegangan pada motor akan sama dengan k kali tegangan jaringan atau sama dengan $k \cdot V$ volt.

Arus yang diambil motor akan menjadi k kali bila motor tersebut distarting langsung gejala-gejala (DOL starting) yang sama dengan $k \cdot I$.

Dengan mengabaikan arus magnetisasi transformator, arus primer yang diambil sama dengan k kali arus sekunder yang sama dengan $k^2 I$. Jadi k^2 adalah penurunan arus actual motor jika distarting dengan Autotransformer Starting.

Sebagai contoh:

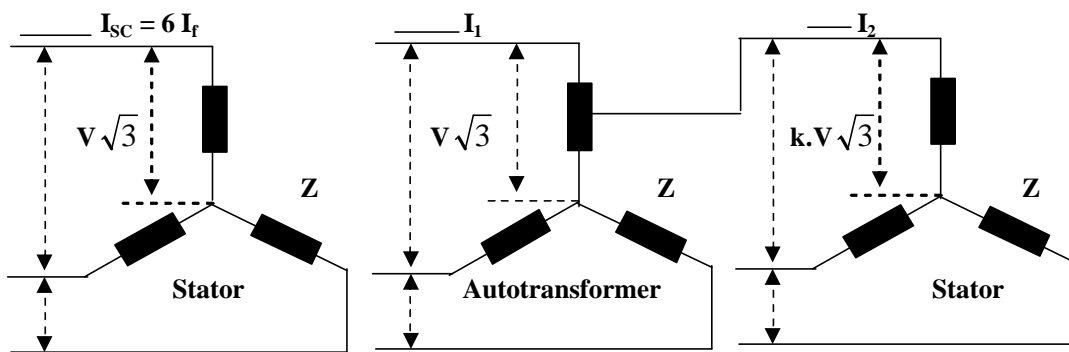
Jika motor distart langsung jala-jala mengambil arus 600% kali arus beban penuh. Pada tap 67% arus pada terminal motor akan sama dengan 400%. Akan tetapi arus primer pada waktu starting akan sama dengan k kali 400% atau sama dengan 267% dari arus beban penuh. Ini adalah arus yang diambil dari system suplai.

Torsi starting sebanding dengan kuadrat arus motor.

Pada tap dengan perbandingan tegangan k, torsi akan menjadi k² kali torsi starting yang dihasilkan pada waktu motor distarting langsung jala-jala.

Pada tap 67%, torsi starting akan menjadi 67% kuadrat atau sama dengan 45% dari harga torsi DOL.

Keuntungan dari metoda starting ini adalah motor distart pada kondisi torsi yang cukup besar daripada metoda starting dengan Tahanan Primer (Primary Resistance Starting), pada penurunan tegangan yang sama dan arus jaringan yang sama.



Gambar a. DOL Starting

Gambar b. Autotransformer Starting

Gambar 2.10 Diagram hubungan arus dan tegangan pada DOL Starting dan Autotransformer Starting

Pada gambar a. terlihat saat motor terhubung langsung pada tegangan nominal motor sehingga:

$$I_{st} = I_{sc} = 6 I_f$$

Jika tegangan jala-jala adalah V, kemudian tegangan motor per fase $\frac{V}{\sqrt{3}}$, maka

$$I_{st} = I_{sc} = 6 I_f = \frac{V}{\sqrt{3} Z}$$

dimana Z adalah impedansi stator per fase.

Jika menggunakan Autotransformer starting dengan tap pengaturan k, maka tegangan motor per fase :

$$\frac{kV}{\sqrt{3}}$$

Arus motor pada saat starting

$$\begin{aligned} I_2 &= \frac{k \cdot V}{\sqrt{3} \cdot Z} \\ &= k \cdot \frac{V}{\sqrt{3} \cdot Z} \\ &= k \cdot I_{sc} \\ &= k \cdot 6 \cdot I_f \end{aligned}$$

Arus yang mengalir pada Autotransformator:

$$I_f = k \cdot I_2$$

dimana, $I_2 = k \cdot I_{sc}$

$$I_f = k^2 \cdot 6 \cdot I_f$$

Kesimpulan:

Jika arus magnetisasi diabaikan, maka arus motor hanya direduser sebesar k. Sedangkan arus jala-jala akan direduser sebesar k².

Hubungan antara torsi start dengan torsi beban penuh:

☞ Tegangan starting pada jala-jala = $\frac{V}{\sqrt{3}}$ dan arus starting $I_{st} = I_{sc}$

☞ Tegangan dengan pengaturan = $\frac{k \cdot V}{\sqrt{3}}$ dan arus starting $I_{st} = k \cdot I_{sc}$

Karena itu:

$$T_{st} = k^2 \cdot I_{sc}$$

Pada waktu start slip motor = 1

Maka, $T_{st} = I_{st}^2$

Dan $I_f = \frac{I_f^2}{s_f}$

$$\frac{T_{st}}{T_f} = \frac{I_{st}^2}{I_f^2} s_f$$

atau
$$\frac{T_{st}}{T_f} = k^2 \frac{I_{sc}^2}{I_f^2} s_f$$

$$I_s = k I_{sc}$$

Contoh soal:

Tentukan presentase tautotransformer, jika suatu motor rotor sangkar akan distart $\frac{1}{4}$ kali torsi beban penuh.

Arus hubung singkat (I_{sc}) pada tegangan nominal adalah 4 kali arus beban penuh (I_f) dan slip beban penuh 3%

Jawab:

$$\frac{T_{st}}{T_f} = \frac{1}{4} \frac{I_{sc}}{I_f} s_f = 0.03$$

$$\frac{T_{st}}{T_f} = k^2 \frac{I_{sc}^2}{I_f^2} s_f$$

$$\frac{1}{4} = k^2 \cdot 4^2 \cdot 0.03$$

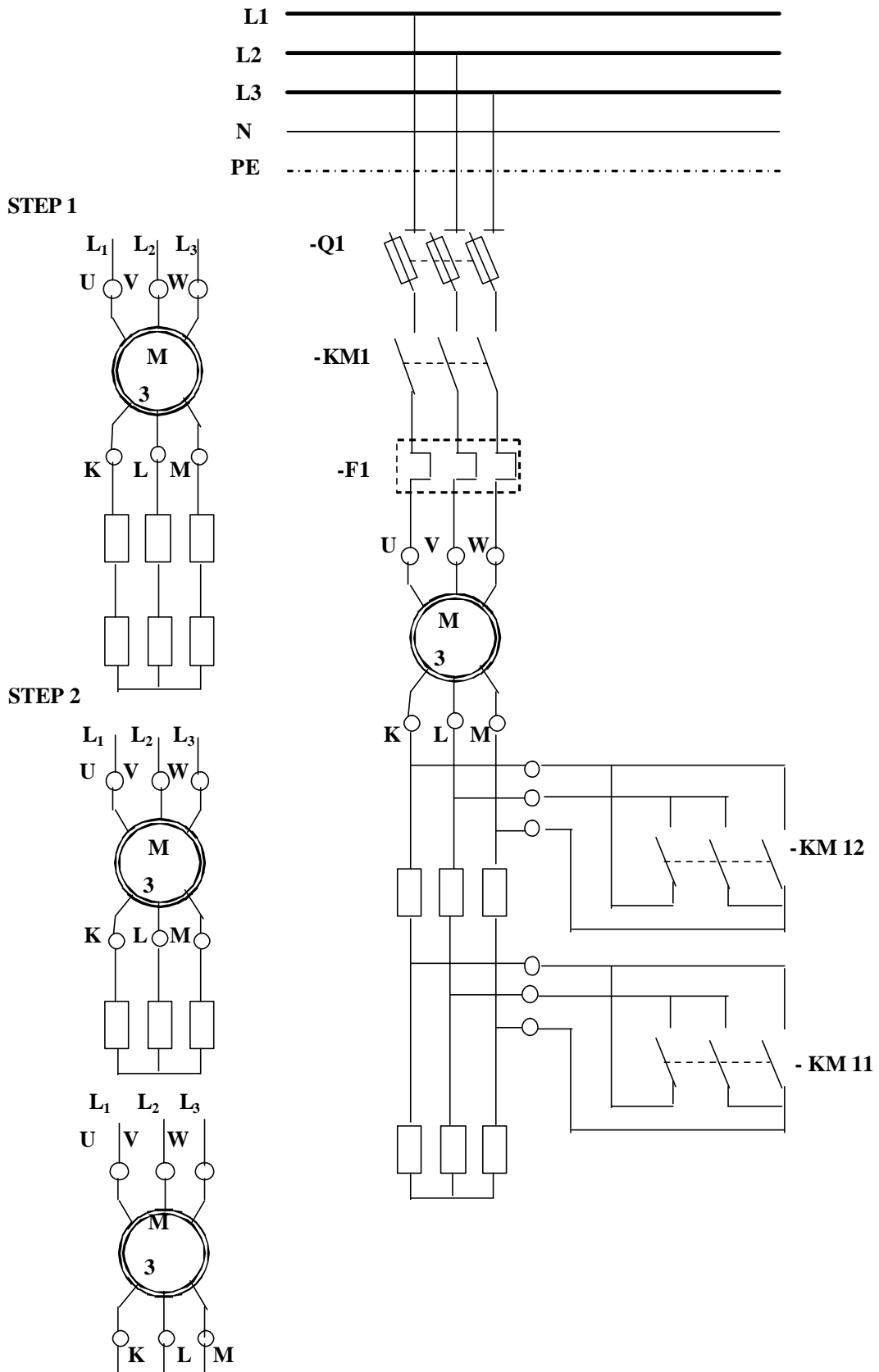
$$k^2 = \frac{1}{16 \cdot 0.03 \cdot 4}$$

$$k = 0.722$$

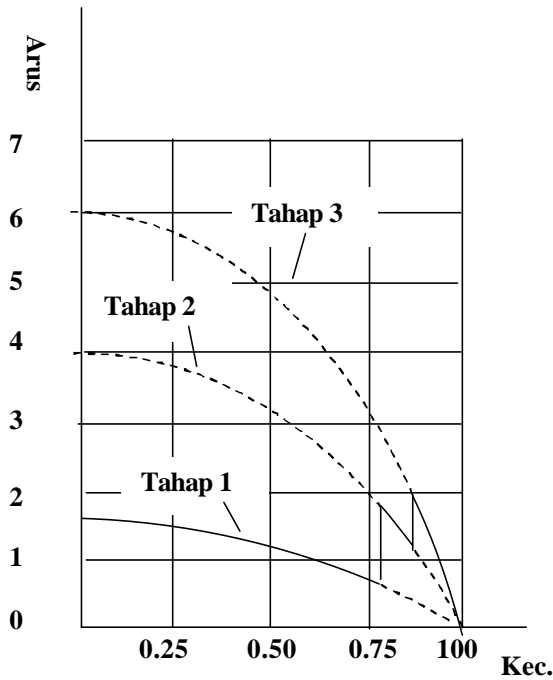
atau $k = 72.2\%$

2.2.4. Starting dengan Pengaturan Tahanan Rotor

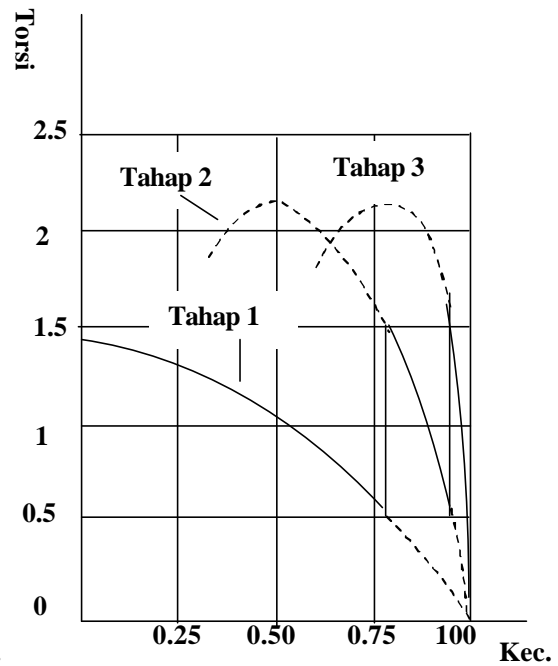
Metoda lain untuk menurunkan arus starting (I_s) adalah dengan menggunakan tahanan (R) yang dihubungkan pada rangkaian rotor. Starting ini hanya dapat dipakai untuk motor induksi rotor lilit (motor slipring). Sedangkan untuk motor induksi rotor sangkar hal ini tidak bias dilakukan.



Gambar 2.11. Diagram starter dengan mengatur Tahanan Rotor.



Gambar a.
Karakteristik Arus-Kecepatan Starting dengan Tahanan Rotor.



Gambar b.
Karakteristik Torsi-Kecepatan starting dengan Tahanan Rotor

Gambar 2.12. Karakteristik starting motor slipring dengana pengaturan Tahanan Rotor

Motor induksi rotor lilit juga disebut motor induksi cincin geser (slipring). Rotornya mempunyai lilitan yang dihubungkan ke slipring yang kemudian dihubungkan ke tahanan luar. Pada waktu starting, motor dihubungkan dengan tahanan (Rheostat) dengan harga R yang maksimum. Setelah motor running, rheostat dihubung singkat.

Pada saat motor diam slip = 1

Jadi $f_2 = f_1$

$$\text{Arus motor } I_2 = \frac{E_2}{Z_2} = \frac{E_2}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}}$$

Pada saat rotor bergerak harga slip mulai berkurang dari slip = 1
Saampai pada suatu harga slip beban penuh.

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

$$n_s - n_r = s n_s$$

$$n_r = n_s - s n_s$$

$$n_r = n_s (1 - s)$$

$$n_r = \frac{120f}{P} (1 - s)$$

Sewaktu diam reaktansinya: $X_2 = 2\pi f_2 L_2$

Pada saat berputar, reaktansinya $X = 2\pi f_2 s L_2 = s X_2$

Contoh soal:

Motor induksi 4 kutub dipasang pada jala-jala dengan dengan frekuensi $f = 50$ Hz,

putaran motor 1455 rpm

Hitung beban slip dan f_2

Jawab :

$$n_r = \frac{120f}{P} (1 - s)$$

$$1445 = \frac{6000}{4} (1 - s)$$

$$1445 = 1500 (1 - s)$$

$$s = \frac{1500 - 1445}{1500}$$

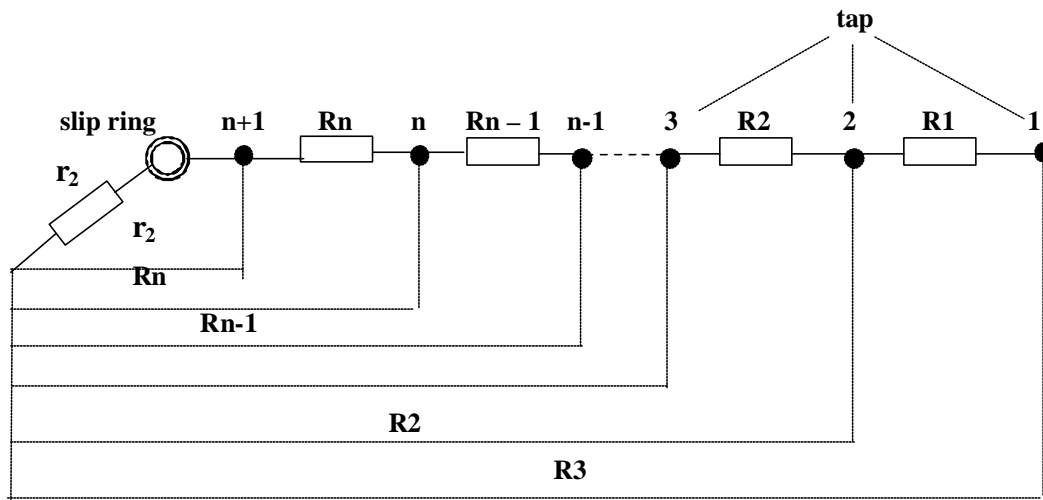
$$\text{slip : } s = 0.03$$

$$f_2 = s f$$

$$= 0.03 \times 50$$

frekuensi rotor

$$f_2 = 1.5 \text{ Hz}$$



Gambar 2.13. Diagram starting motor dengan pengaturan tahanan rotor

Pada waktu rotor masih diam, slip = 1. ggl yang dibangkitkan mempunyai frekuensi yang sama dengan jala-jala.

$$f_2 = f$$

arus rotor:
$$I_2 = \frac{E_2}{Z_2} = \frac{E_2}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}}$$

factor daya:
$$\cos \phi_2 = \frac{R_2}{X_2} = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}}$$

Torsi:
$$T = k \cdot I_2 \cdot \cos \phi_2$$

$$k = \frac{E_2 \cdot R_2}{R_2^2 + X_2^2}$$

Dimana:

k = konstanta

ϕ = jumlah garis gaya perkutub dari medan putar

E_2 = tegangan pada rotor waktu diam

I_2 = arus rotor pada harga slip

R_2 = tahanan rotor

f_2 = sudut antara I_2 dan E_2

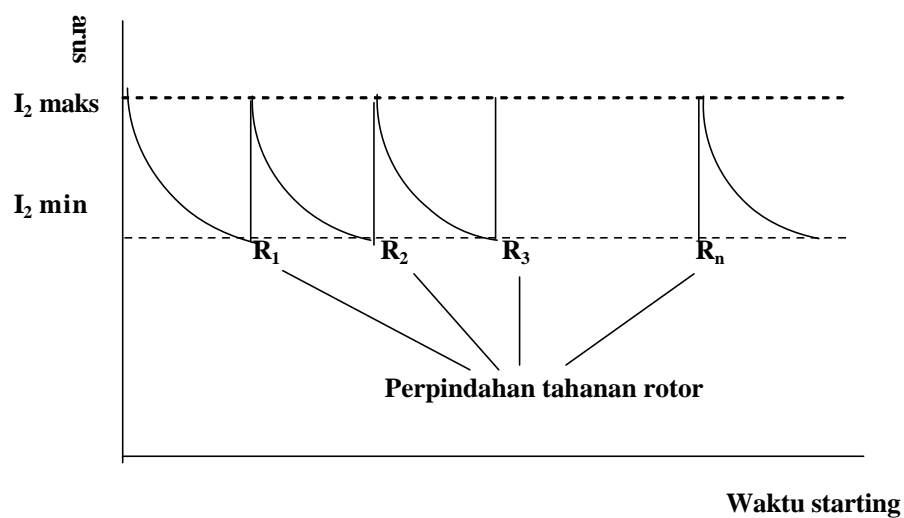
f = frekuensi arus jala-jala

Pada gambar diperlihatkan r fase dari rheostat 3 fase, mempunyai n tap dan rangkaian rotor R_1, R_2, \dots dst, merupakan tahanan rotor per fase.

s_1, s_2, s_3, \dots dst merupakan tahanan luar rotor dimana harganya adalah selisih antara dua titik R (misalnya $s_1 = R_1 - R_2$)

S_1, S_2, S_3, \dots Dst adalah harga slip untuk perubahan dari setiap harga Rheostat.

I_2 max merupakan harga arus pada setiap pembukaan tap rheostat dan I_2 minimum pada saat perpindahan nilai Rheostat.



Gambar 2.14. Perubahan arus rotor selama proses starting.

Dimana: $I_2 maks = \frac{s_2 E_2}{\sqrt{R_2^2 + s_1 X_2^2}}$

$$= \frac{E_2}{\frac{R_2/s_2 + X_2^2}{s_2}}$$

Sebelum peralihan harga R_2 arus diberikan I_2 min dan slip menjadi s_2 maka diperoleh

$$I_2 min = \frac{E_2}{\sqrt{\frac{R_2}{s_2} + X_2^2}}$$

$$k^n = \frac{r_2}{smaks}$$

jadi $k = (s_{maks})^n$

dimana n merupakan banyaknya tap R dari Rheostat.

$$R_1 = R_1 + R_2 + R_1 + k R_1$$

$$R_1 = k R_1$$

$$R_2 = R_2 + R_3 + k R_1 + k^2 R_1$$

$$R_2 = k R_1 + k R_1$$

$$R_2 = k R_1$$

$$R_3 = R_3 + R_4 + k_2 R_1 + k_3 R_1$$

$$R_3 = k R_1 + k R_1$$

$$R_3 = k R_1$$

$$R_3 = k^2 R_1$$

Latihan 2.

Sebuah motor rotor lilit distart dengan Rheostat yang mempunyai 5 tap (R_1, R_2, R_3, R_4 dan R_5) slip maksimal 2% sedangkan tahanan rotor perfase 0.02 ohm.

Hitunglah besar R_1, R_2, R_3, R_4 dan R_5 dan tahanan luar

Kunci Jawaban Latihan 2.

$$s_{maks} = 2\% = 0.02$$

$$r^2 = 0.02 \text{ O dan } n = 5$$

$$R_2 = \frac{r_2}{s_{maks}} = \frac{0.02}{0.02} = 1 \text{ O}$$

$$k = \frac{s_{maks}}{s_{maks}^n} = \frac{0.02}{0.02^5}$$

$$= 0.02$$

$$= 0.4573$$

$$R_1 = 1 \text{ O}$$

$$R_2 = k \cdot R_1$$

$$= 0.4573 \times 1$$

$$= 0.4573 \text{ O}$$

$$R_3 = k^2 \cdot R_1$$

$$= 0.4573^2 \times 1$$

$$= 0.2091 \text{ O}$$

$$\begin{aligned} R_4 &= k \cdot R_3 \\ &= 0.4573 \times 0.2091 \\ &= 0.0956 \text{ O} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_5 &= k \cdot R_4 \\ &= 0.4573 \times 0.0956 \\ &= 0.0437 \text{ O} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_2 &= k \cdot R_5 \\ &= 0.4573 \times 0.0437 \\ &= 0.01998 \text{ O} \approx 0.02 \text{ O} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ?_1 \text{ ? } R_1 \text{ ? } R_2 \\ &= 1 - 0.4573 \\ &= 0.5427 \text{ O} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ?_2 \text{ ? } R_2 \text{ ? } R_3 \\ &= 0.4573 - 0.2091 \\ &= 0.2482 \text{ O} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ?_3 \text{ ? } R_3 \text{ ? } R_4 \\ &= 0.2091 - 0.0956 \\ &= 0.1135 \text{ O} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ?_4 \text{ ? } R_4 \text{ ? } R_5 \\ &= 0.0956 - 0.0437 \\ &= 0.0519 \text{ O} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ?_5 \text{ ? } R_5 \text{ ? } r_2 \\ &= 0.0437 - 0.02 \\ &= 0.0237 \text{ O} \end{aligned}$$

KEGIATAN BELAJAR 3

PERHITUNGAN WAKTU STARTING

Tujuan :

Kegiatan belajar 2 ini memberikan kemampuan bagi anda dalam menentukan waktu starting yang sesuai dengan karakteristik motor penggerak dan beban.

Uraian materi :

Proses run up dari motor adalah proses yang terjadi pada saat starting sampai dengan saat motor beroperasi pada kecepatan yang telah ditetapkan atau motor dalam kondisi “steady state”.

Belitan motor 3 fase bilamanabilamana dihubungkan pada sumber tegangan (tegangan supply) tiga fase, maka akan menghasilkan suatu gelombang medan putar (berjalan), dengan demikian rotor akan berputar. Karena motor dihubungkan dengan alat starting, maka motor akan dipercepat dari keadaan diam (stand still) dimana slip = 1 sampai pada suatu harga slip yang mendekati nol dimana pada saat itu motor kita katakan dalam keadaan ‘run’.

Selama waktu percepatan ini adalah merupakan proses ‘run up’ dari motor induksi dan selama ini torsi yang dihasilkan oleh motor adalah merupakan penjumlahan dari torsi lawan beban tetap (mencakup torsi gesekan) ditambah dengan momen inersia dari bagian yang berputar yang sebanding dengan perubahan kecepatan sudut per waktu atau dengan suatu bentuk persamaan yang dapat kit tulis sebagai berikut:

$$T_M - T_L = J \frac{d\omega}{dt}$$

dimana: T_M = Torsi motor dalam N.m

T_L = Torsi lawan beban tetap yang mencakup gesekan (friction) dalam N.m

ω = Kecepatan sudut dalam rad/sec.

J = Momen inersia dari bagian-bagian yang berputar dalam kg.m².

t = Waktu dalam detik.

Waktu starting (run up time) yang terlalu lama akan menjadikan motor panas.

Dari persamaan yang diberikan diatas besarnya torsi percepatan:

$$T_j = T_M - T_L = J \frac{d\omega}{dt}$$

dimana T_j = torsi percepatan (torsi dinamik) dan oleh karena itu waktu percepatan ditentukan oleh persamaan:

$$T_j = J \frac{d\omega}{dt}$$

$$dt = \frac{J d\omega}{T_j}$$

$$t = J \int \frac{1}{T_j} d\omega$$

Apabila torsi percepatan T_j ini konstan antar dua percepatan ω_m dan ω_n , maka waktu starting (run up time) pada interval kecepatan tersebut adalah:

$$t = \frac{J}{T_j} (\omega_n - \omega_m)$$

Persamaan diatas menunjukkan bahwa pada suatu harga kecepatan ω_m yang telah ditetapkan pada waktu start atau pada waktu diam dimana slip = 1. untuk mencapai kecepatan ω_n yang telah ditetapkan untuk run, membutuhkan proses 'run up time' yang tergantung pada besarnya momen inersia dari bagian-bagian yang berputar serta besarnya torsi percepatan.

Motor induksi dengan rancangan dasar (basic design) jika distarting langsung kejala (DOL starting) akan mengambil arus sebesar 6 kali arus beban penuh motor.

Jika starting dengan percepatanyang terlalu lama maka lilitan motor akan panas dan akan merusak isolasi.

Untuk menghitung waktu starting yang tepat dapat kita tentukan sebagai berikut:

Jika interval kecepatan $\omega_m - \omega_n = \Delta\omega$. Dan interval waktu dari t_1 ke $t_2 = \Delta t$ maka:

$$\Delta t = \frac{J}{T_j} \Delta\omega$$

$$\Delta t = \frac{2J}{60} \frac{\Delta\omega}{T_j} \omega_n$$

$$t = \frac{J_T \cdot \Delta n}{9.55 T_J \text{ rata-rata}}$$

dimana:

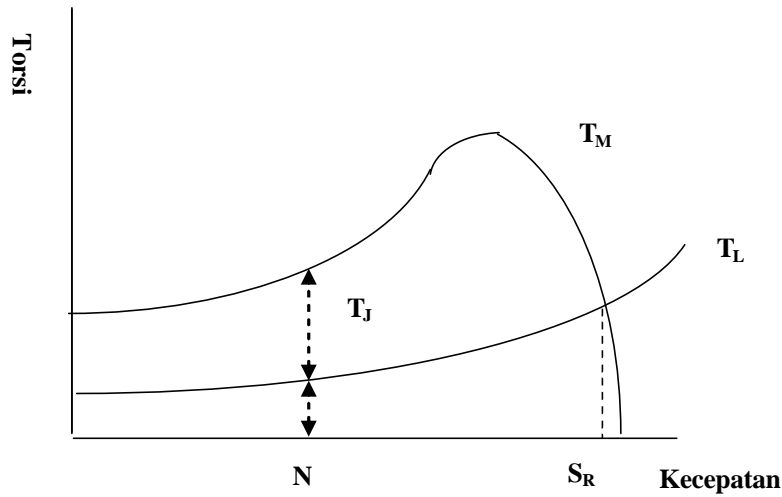
t = waktu percepatan dalam detik

J_T = momen inersia total dalam kg. m² yang ditinjau terhadap poros motor

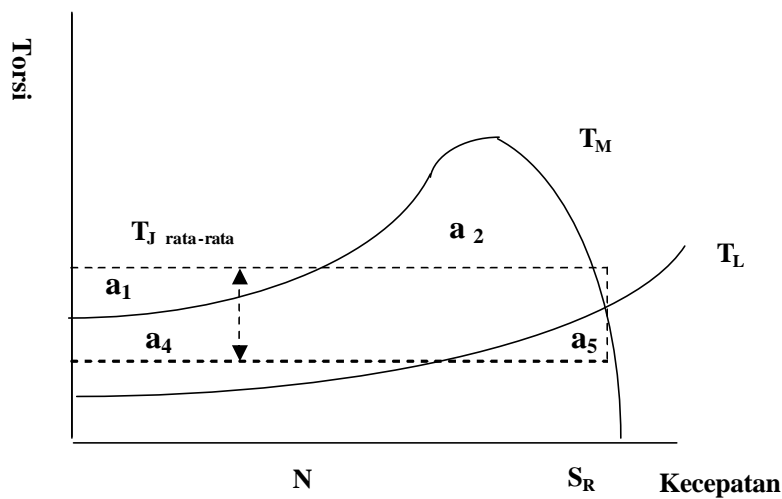
T_J rata-rata = torsi percepatan rata-rata dalam N.m

$$T_J = T_M - T_L$$

n = Putaran poros (rpm) disesuaikan dengan interval putaran yang ditetapkan.



Gambar 3.1. Torsi inersia yang diperoleh dari karakteristik motor dan beban.



Gambar 3.2. Perhitungan torsi inersia rata-rata.

Contoh Soal 1.

Sebuah motor menghasilkan torsi rata-rata sebesar 290 N.m.

Motor mempunyai momen inersia 1.3 kg,m², motor distarting tanpa beban hingga kecepatan 1495 rpm.

Tentukan waktu yang diperlukan selama percepatan.

Jawab:

$$t = \frac{J_T \cdot \omega}{9.55 T_j}$$
$$= \frac{1.3 \cdot 1495}{9.55 \cdot 290}$$
$$t = 0.7 \text{ detik}$$

Besarnya momen percepatan adalah tergantung pada inersia total dari system yang dinyatakan pada kecepatan poros motor meliputi, jumlah momen inersia beban, system transmisi serta bagian-bagian yang berputar dari motor itu sendiri.

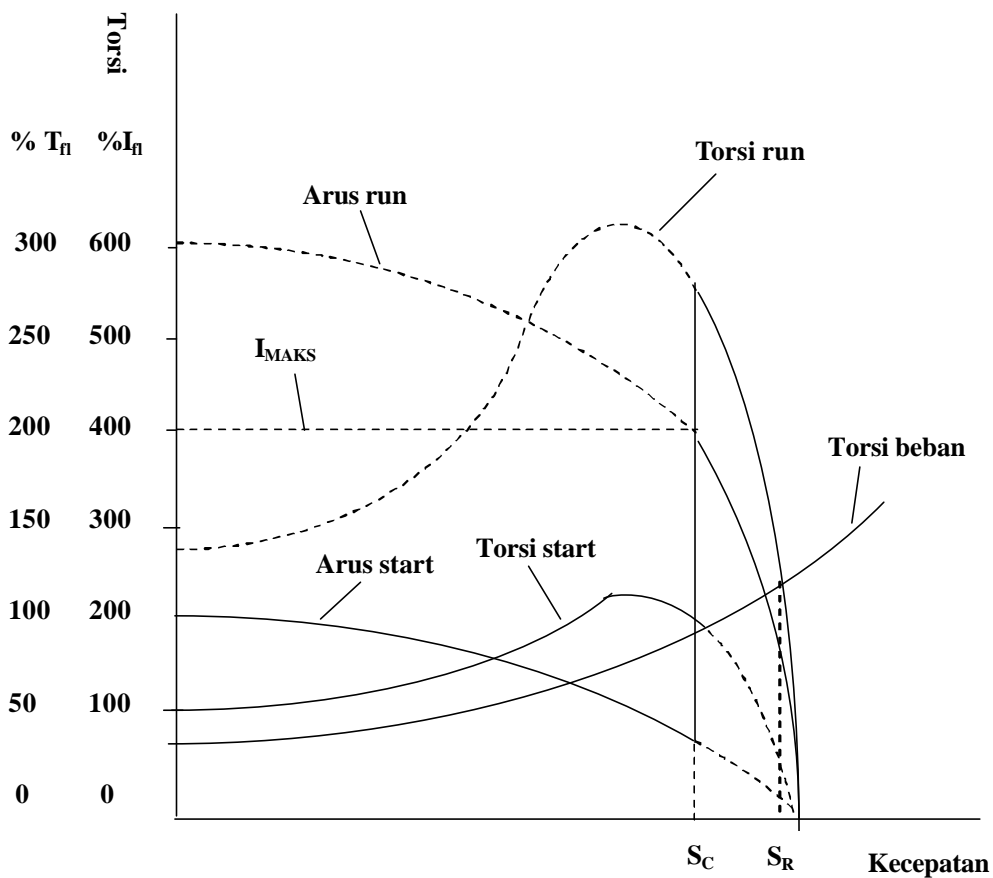
$$J_T = J_D + J_M$$

dimana: J_T = momen inersia total dari system

J_D = momen inersia total yang dinyatakan pada poros motor

J_M = momen inersia dari motor itu sendiri

Keadaan Peralihan (Change Over)



Gambar 3.3. Karakteristik Torsi-Kecepatan yang diperoleh saat ‘Change Over’

Waktu starting pada metoda starting dimana tegangan diturunkan, tidak boleh melebihi batas waktu yang ditentukan.

Waktu total yang diperlukan untuk DOL starting yang sudah direkomendasikan tidak boleh lebih dari 10 detik.

Selama periode starting, terjadi over heating pada belitan motor.

Waktu total percepatan terdiri dari 2 periode yaitu:

1. Periode dimana operasi tegangan yang ditentukan.
2. Periode dimana operasi pada tegangan nominal.

$$t_{\text{total}} = t_s + t_R$$

$$t_{\text{total}} = \frac{J_R \omega \frac{1}{s_c} N_s}{9.55 T_{JS}} + \frac{J_R \omega \frac{1}{s} N_s}{9.55 T_{JR}}$$

Keterangan :

s = slip pengoperasian normal.

s_c = slip change over.

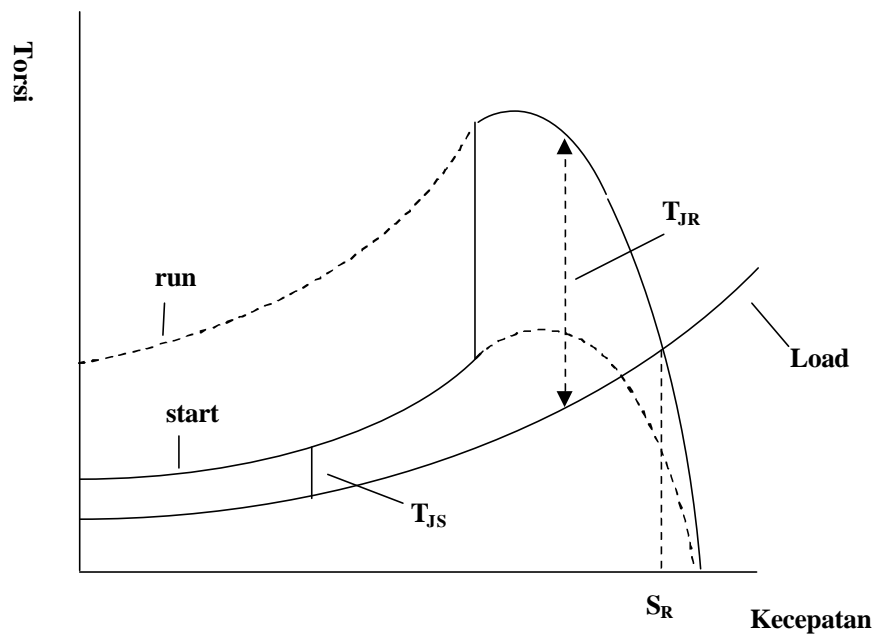
N_s = kecepatan sinkron

T_{JS} = torsi dinamik pada waktu tegangan diturunkan

T_{JR} = torsi dinamik pada waktu tegangan penuh (nominal).

t_s = waktu yang dibutuhkan motor untuk mencapai slip change over

t_R = waktu yang dibutuhkan untuk mencapai slip pengoperasian normal.



Gambar 3.4. Karakteristik Torsi Dinamik pada waktu 'Start' dan pada waktu 'Run'

Latihan 3.

Sebuah motor induksi 4 kutub, 50 Hz, 415 volt dengan beban mekanik yang mempunyai momen inersia 0.5 kg.m^2 pada poros motor.

Motor distarting dengan cara mereduser tegangan.

Pada waktu tegangan direduser, torsi dinamik rata-rata yang dihasilkan 15 N.m dan pada tegangan penuh 33 N.m. Slip pada operasi normal 4% dan change over terjadi pada slip 25%

Hitunglah:

- Waktu yang diambil motor untuk mencapai slip 25%.
- Waktu yang diambil motor pada percepatan slip 25% sampai slip 4%
- Waktu percepatan total (waktu starting).

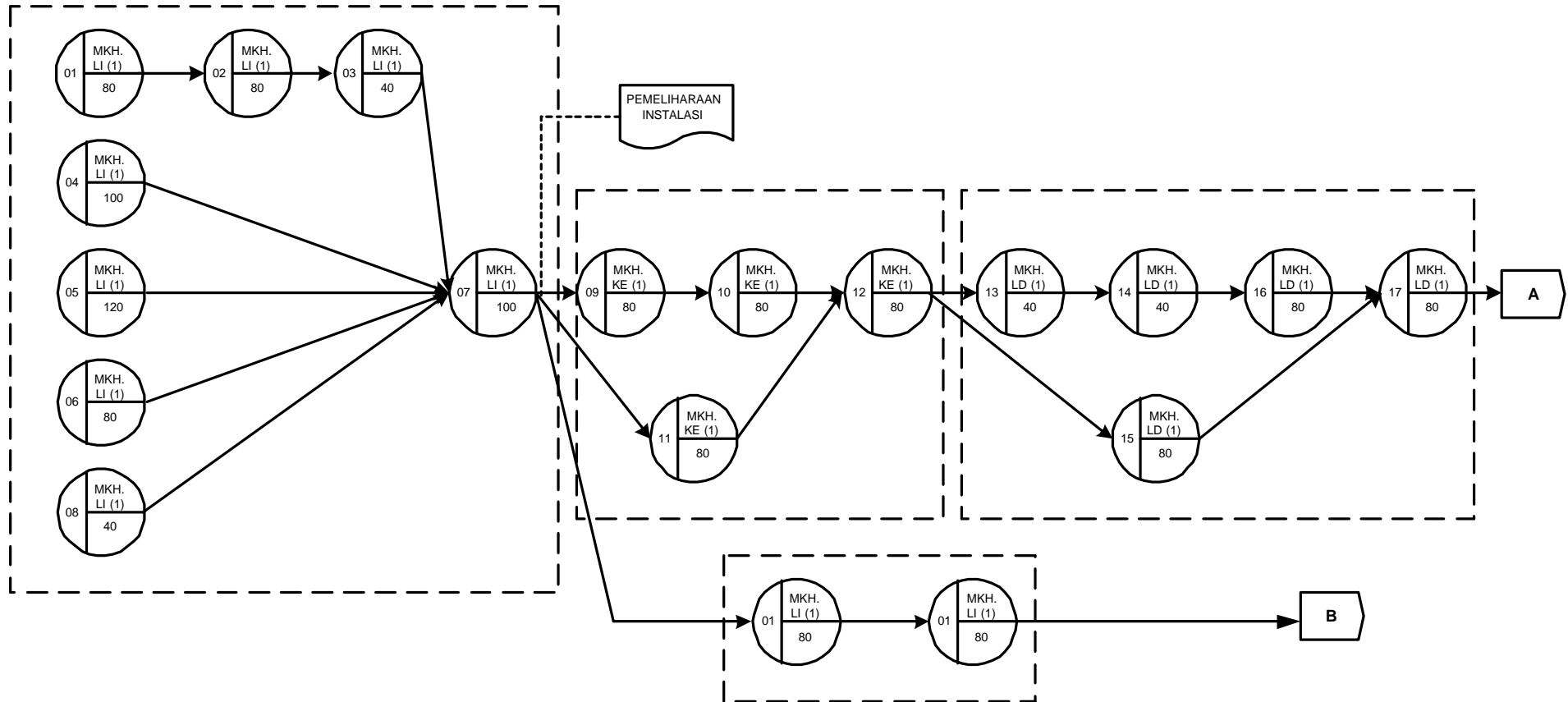
Kunci Jawaban Latihan 3

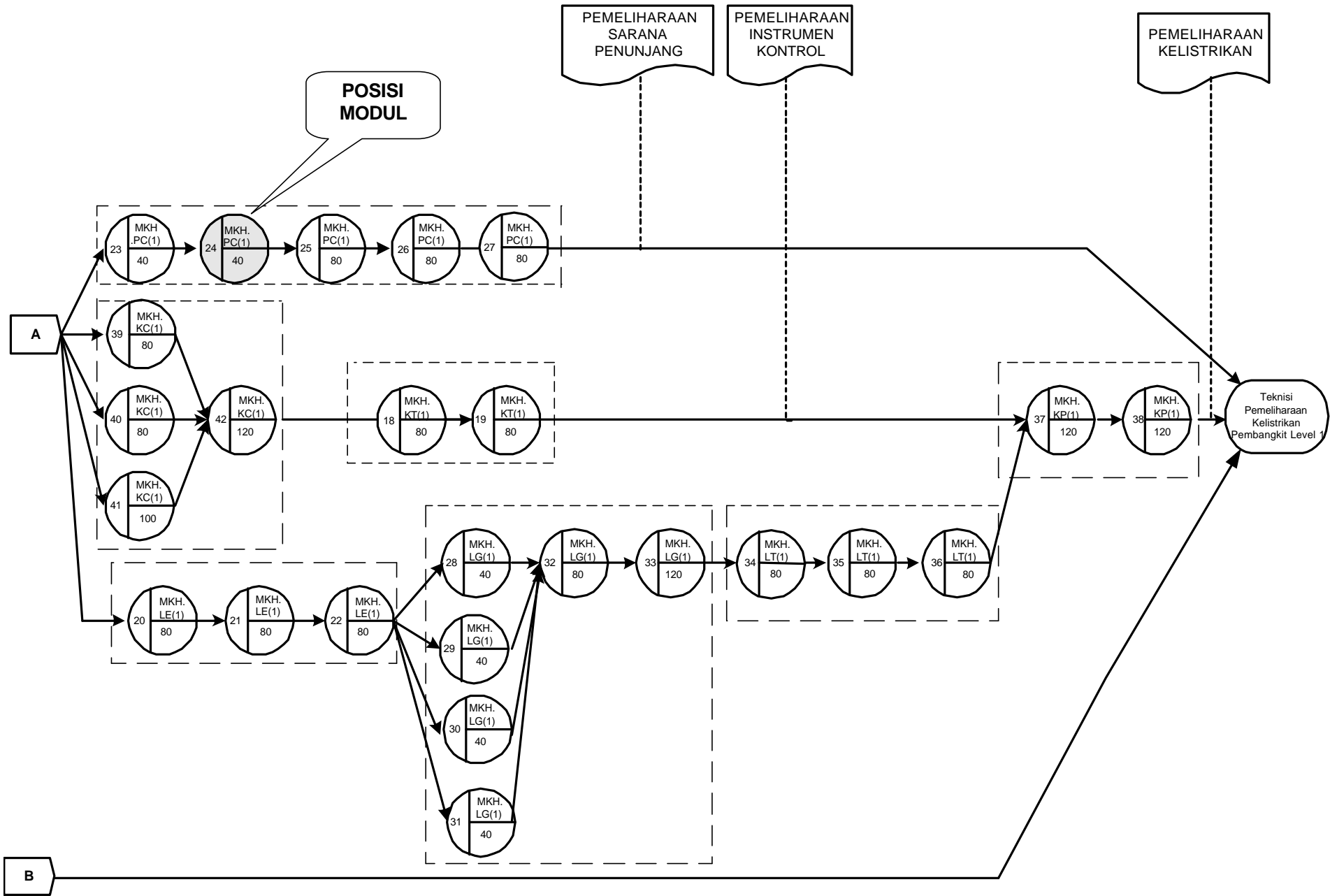
$$\begin{aligned} \text{a. } t_s &= \frac{J_T \cdot \omega_s \cdot N_s}{9.55 T_{JS}} \\ &= \frac{0.5 \cdot \omega_s \cdot 0.25 \cdot 1500}{9.55 \cdot 15} \\ &= 3.95 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } t_R &= \frac{J_T \cdot \omega_s \cdot s \cdot N_s}{9.55 \cdot 33} \\ t_R &= \frac{0.5 \cdot 0.25 \cdot 0.04 \cdot 1500}{9.55 \cdot 33} \\ t_R &= 0.5 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$\text{c. } t_{\text{total}} = 0.93 + 0.5 = 4.43 \text{ detik}$$

PETA POSISI MODUL KOMPETENSI SMK PROGRAM KEAHLIAN TEKNIK PEMBANGKITAN TENAGA LISTRIK





III. EVALUASI

Bagian A.

1. Sebutkan tiga faktor yang perlu diperhatikan pada system dalam kaitannya dengan efek starting.

Jawab :

.....
.....
.....

2. Sebutkan tiga komponen torsi yang terdapat dalam suatu system penggerak.

Jawab :

.....
.....
.....

3. Jelaskan apa yang terjadi pada system penggerak jika terjadi hubungan antara torsi motor T_M dan torsi beban T_L serta percepatan sebagai berikut: $T_L > T_M < d? / dt > 0$ untuk beban pasif.

Jawab :

.....
.....
.....

4. Jelaskan apa yang dimaksud dengan beban aktif dan beban pasif pada suatu system penggerak.

Jawab :

.....
.....
.....

5. Sebutkan metoda startng yang digunakan untuk motor induksi berdasarkan tipe serta karakteristik motor.

Jawab :

.....
.....
.....

6. Jelaskan perbandingan besarnya arus starting ? dan ?

Jawab :

.....
.....
.....

7. Sebutkan factor-faktor yang mempengaruhi dalam perhitungan waktu starting.

Jawab :

.....
.....
.....

8. Jelaskan besarnya waktu starting (run up time) system jika torsi motor sama besarnya dengan torsi beban.

Jawab :

.....
.....
.....

9. Jelaskan pengaruh inersia dari bagian-bagian yang berputar pada system terhadap perhitungan waktu starting.

Jawab :

.....
.....
.....

10. Jelaskan cara pengaturan tahanan motor pada starting motor induksi rotor lilit (rotor starting).

Jawab :

.....
.....
.....

Bagian B.

1. Motor induksi 3 fase, 100kW, 400 volt, 6 kutu, 50 Hz. Berputar pada kecepatan

beban penuh 950 rpm. Jika arus starting DOL yang diambil motor 120.3 A,

Tentukan perbandingan torsi starting dengan torsi beban penuh jika motor:

- a. Di start langsung ke-jala-jala.
- b. Di start dengan menggunakan starting bintang – segitiga (? /? starting).
- c. Di start dengan menggunakan tahanan stator Primary Resistance Starting), yang dibatasi pada arus starting 401A.

Anggap efisiensi beban penuh motor 0.9 dan faktor daya motor 0.8

2. Motor induksi rancangan torsi rendah 7.5 kW, 4 kutub, 50 Hz, 415 volt menghasilkan torsi percepatan rata-rata sama dengan torsi beban penuh motor dengan slip 0.04.

Tentukan waktu percepatan jika motor distarting tanpa beban, dimana kecepatan motor pada slip beban penuh adalah 1440 rpm dan momen inersia motor torsi rendah 0.03 kg,m².

KUNCI JAWABAN

Bagian A.

1. - Efek starting pada power supply (system kelistrikan).
 - Efek starting pada motor penggerak itu sendiri.
 - Efek starting pada system mekanik (hubungan mekanik dengan beban).
2. - Torsi beban
 - Torsi gesekan dari mesin
 - Torsi dinamik yaitu torsi yang mempercepat dan memperlambat pergerakan system.
3. Pada keadaan ini motor mendapat perlambatan gerakan sehingga berhenti.
4. - Beban aktif adalah beban yang memberikan percepatan atau perlambatan pada system.
 - Beban pasif adalah beban yang tidak memberikan pengaruh apa-apa pada system.
5. - Starting dengan menggunakan tegangan penuh dari jala-jala (sama dengan tegangan nominal motor).
 - Starting dengan penurunan tegangan
6. $\frac{I_{start?}}{I_{start?}} ? \frac{1}{3}$ atau $I_{start?} ? \frac{1}{3} I_{start?}$
7. - Besarnya momen inersia system
 - Kecepatan system
 - Torsi lawan beban tetap serta torsi gesekan.
- 8.. Torsi percepatan sama dengan nol atau tidak terjadi percepatan atau perlambatan (pada saat running). Kalau motor dalam keadaan diam, motor tidak dapat distarting.
9. Inersia dapat mempengaruhi waktu percepatan motor (waktu starting).
10. Pengaturan tahanan starting motor diatur maksimum pada waktu start kemudian diturunkan secara bertahap sesuai dengan tahapan starting sampai tahanan luar motor sama dengan nol (tahanan rotor dihubung singkat) motor running.

Bagian B.

1. Arus beban penuh yang ditarik motor:

$$= \frac{100 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.9 \cdot 0.8}$$
$$= 200.5 \text{ A}$$

Slip beban penuh:

$$= \frac{1000 - 950}{1000}$$
$$= 0.05$$

Dari persamaan:

$$\frac{T_{st}}{T_f} = \left(\frac{I_{st}}{I_f} \right)^2 \cdot s_f$$

Tetapi I_{st} sebanding dengan tegangan motor karena itu:

$$I_{st} = x \cdot I_{DOL}$$

dimana I_{DOL} merupakan arus yang diambil motor jika dipswitch langsung ke jala - jala dan x adalah factor tegangan motor jika motor distart dengan penurunan tegangan.

Karena itu:

$$1. \quad x = 1; \quad \frac{I_{DOL}}{I_f} = \frac{1203}{200.5} = 6$$

$$\text{karena itu, } \frac{T_{st}}{T_f} = 6^2 \cdot 0.05 = 1.8$$

2. Jika distart dengan starting, tegangan pada waktu hubungan bintang adalah:

$$x = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

karena itu:

$$\frac{T_{st}}{T_f} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 1.8 \times 0.882$$

3. Jika distart dengan tahanan stator (Primary Resistance Starting):

$$x = \frac{401}{1203} = \frac{1}{3}$$

karena itu:

$$\frac{T_{st}}{T_f} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 1.8 \times 0.2$$

2. $T_M f_L = \frac{9.55 \times P \times 1000}{1440}$
 $= \frac{9.55 \times 7.5 \times 1000}{1440}$

$$T_M f_L = 49.8 \text{ Nm}$$

$$t = \frac{J \times n}{9.55 T_j}$$

$$= \frac{0.03 \times 1495}{9.55 \times 49.8}$$

$$= 0.094 \text{ detik}$$

IV. PENUTUP

Dengan mempelajari keseluruhan isi modul Starting Motor Tiga Fase ini secara sistematis sesuai dengan anjuran pembelajaran modul ini, anda dapat memiliki kemampuan secara utuh dalam menentukan system starting yang benar untuk setiap system penggerak yang menggunakan motor listrik sebagai penggerak (driver), khususnya motor listrik tiga fase. Selain itu anda dapat menentukan system pemeliharaan unit penggerak beban terutama system control startingnya serta penentuan letak gangguan.

DAFTAR PUSTAKA

Christian A.M. Mamesah, *Study Pengaturan dan Pengontrolan Induction Synchronous Motor pada Pabrik Semen Cibinong*, Bandung 1981.

Manual Combi Trainer, Model LEM-BCC-F, P.T labtech Penta International

M.G. Say, *The Performance and Design of Alternating Current Machines*, The English Language Book Society and Pitman Publishing, New York 1974.

Walter N.A Alerich, *Electric Motor Control*, Delmar Publisher, Albany New York,