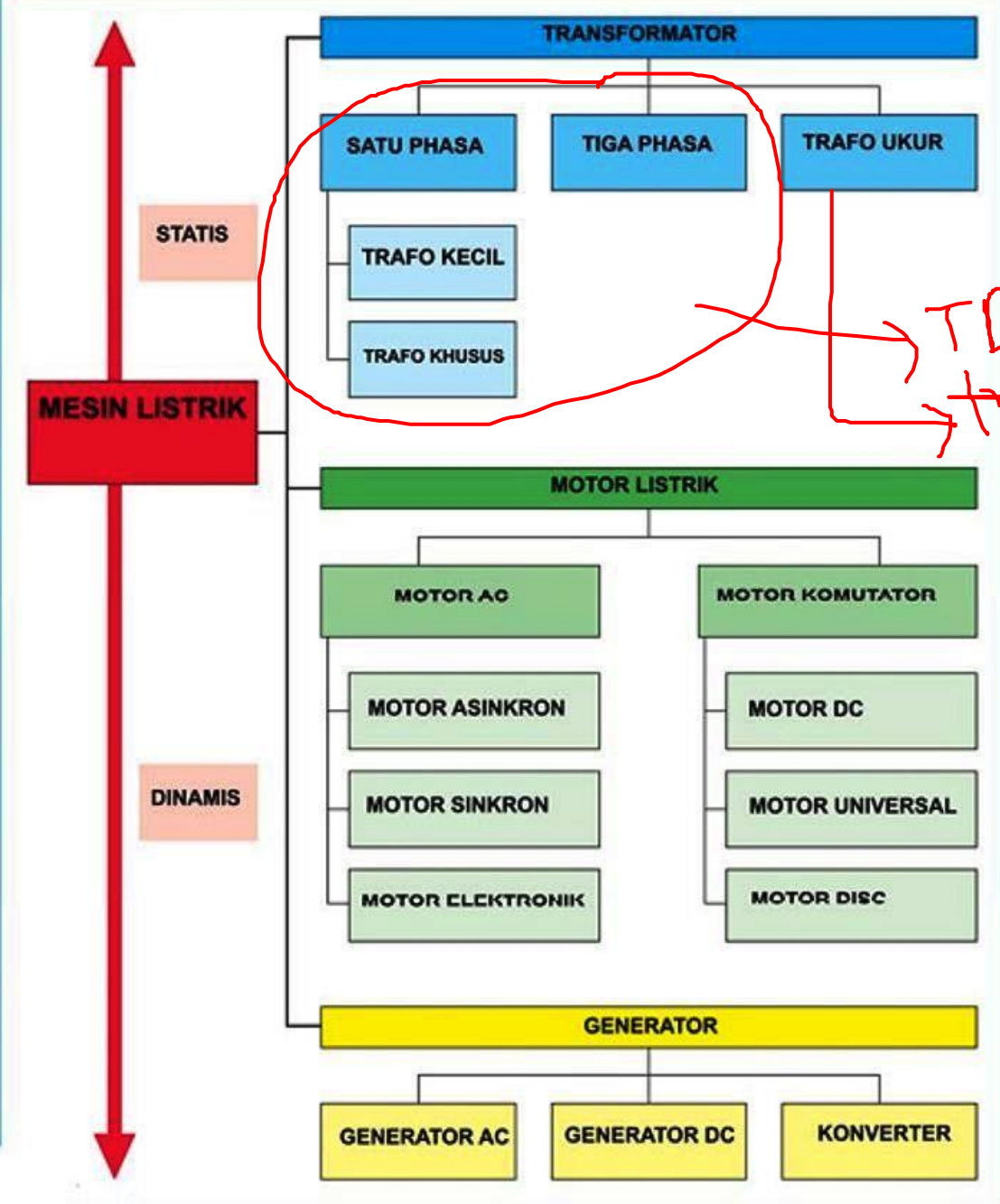


MOTOR INDUKSI







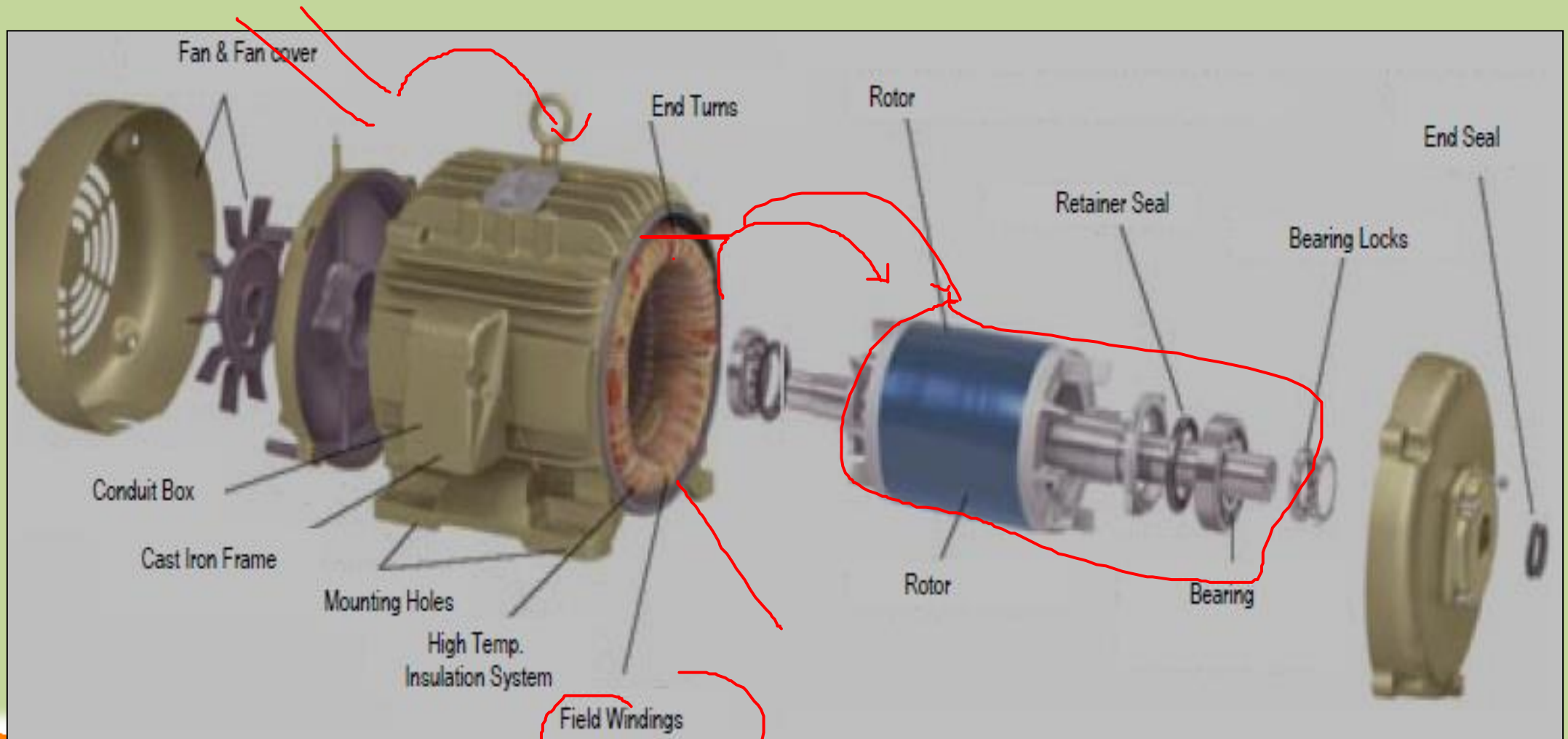
TO
standby
CT
PT/VT

PENDAHULUAN

- Arus rotor motor induksi bukan diperoleh dari sumber tertentu.
- Arus pada rotor terinduksi akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dan medan putar pada stator
- Dikatakan mesin Asinkron (tak serempak), karena putarannya tak sama dengan jumlah frekuensinya, jadi jumlah putarannya selalu lebih rendah karena adanya slip kecepatan.

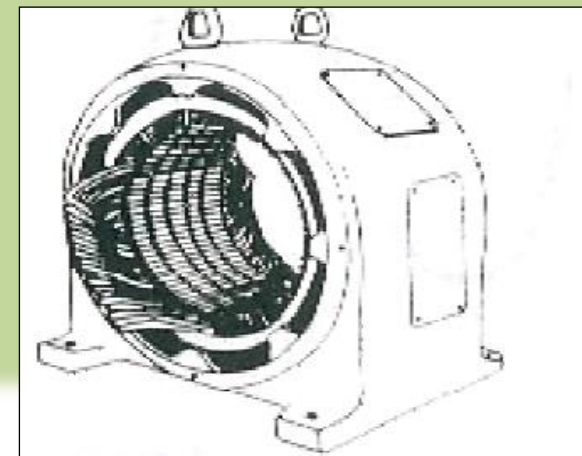


BAGIAN-BAGIAN MOTOR




KOMPONEN STATOR

- Rangka.
- Inti stator
- Kumparan/gulungan
- Pelat penutup



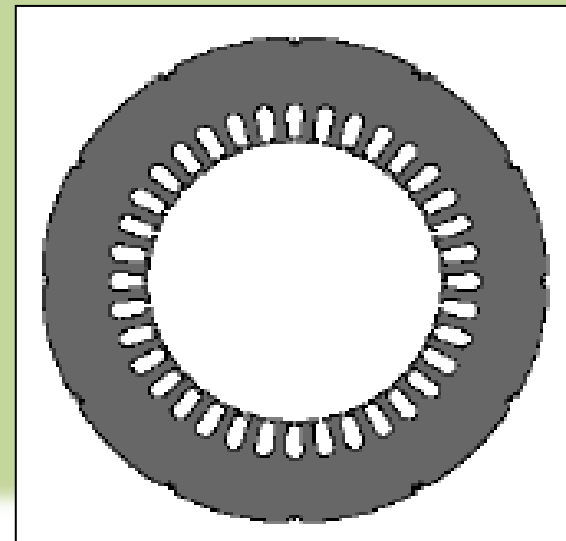
KONSTRUKSI STATOR

- Dibuat dari pelat-pelat tipis dengan slot. 
- Belitan ditempatkan pada slot
- Gulungan **tiga fasa** dilingkarkan untuk sejumlah kutub tertentu
- Gulungan diberi spasi geometri sebesar **120°** antar phasa



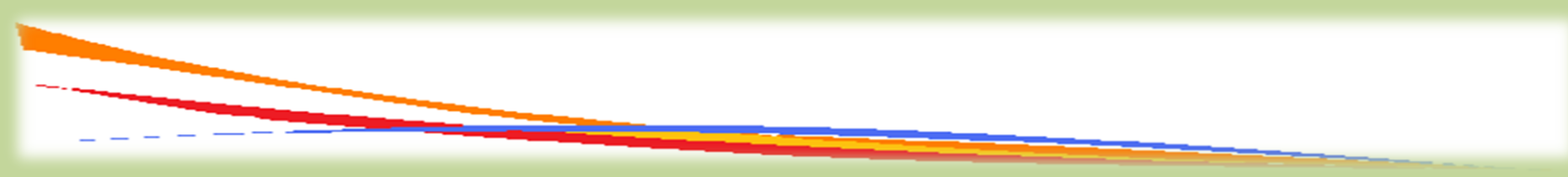
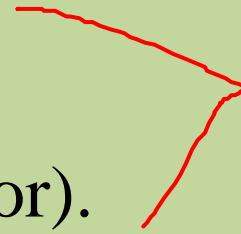
INTI STATOR

- Terbuat dari lempeng-lempeng baja silikon berlaminasi.
- Untuk memperkecil rugi-rugi besi akibat **arus pusar** → **Eddy Current** → **Agitasi Thermal**.



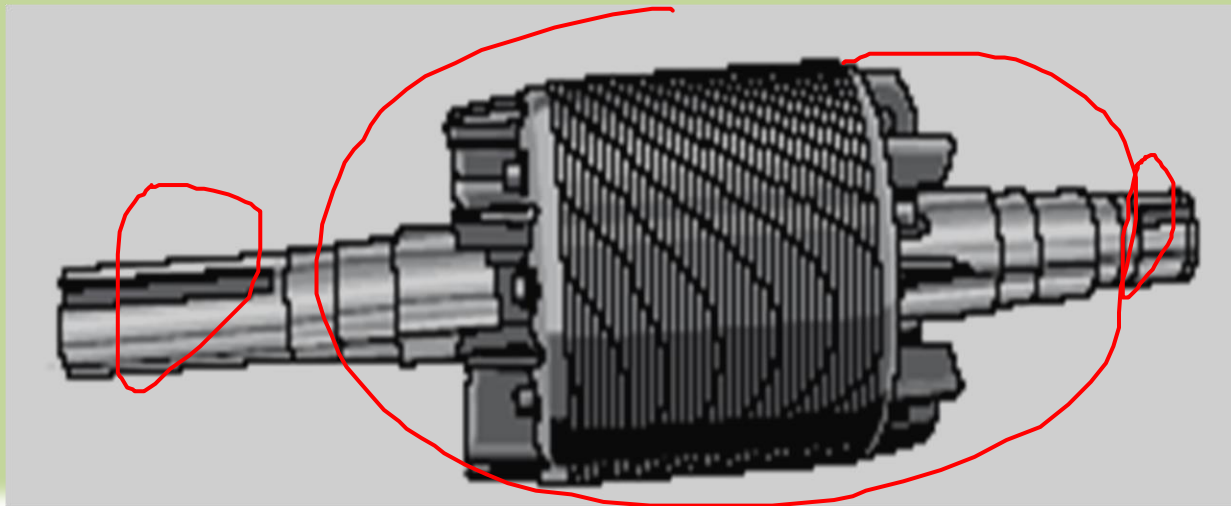
KONSTRUKSI ROTOR

- Fungsi :mengubah daya dari stator menjadi ~~tenaga mekanik~~.
- Terdapat dua tipe, yaitu :
 1. Rotor sangkar tupai.
 2. Rotor belitan (winding-rotor).
- Komponen-komponen Rotor:
 - Inti besi rotor,
 - Kumparan/batang penghantar,
 - Cincin
 - Poros (*shaft*).



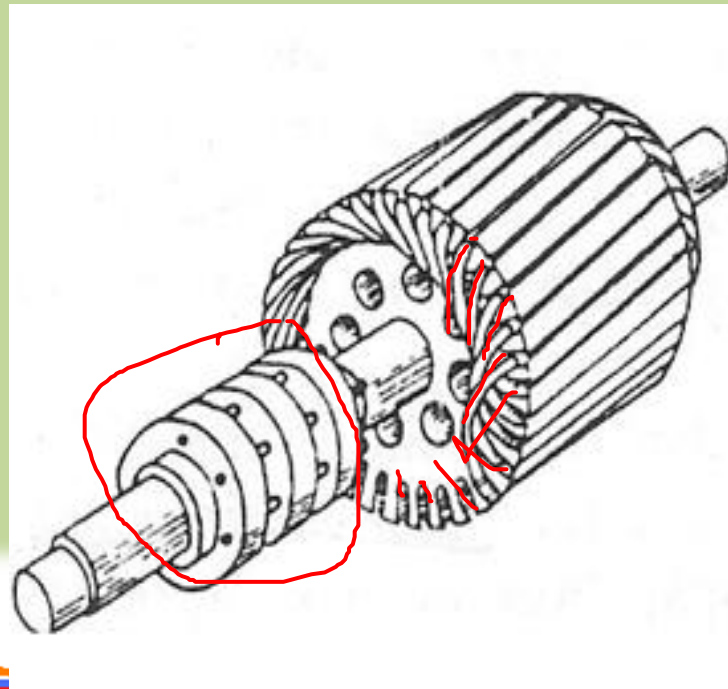
ROTOR SANGKAR

- Terdiri dari batang penghantar tebal yang diletakkan pada petak-petak slot paralel
- Kedua ujungnya dihubungkan dengan cincin



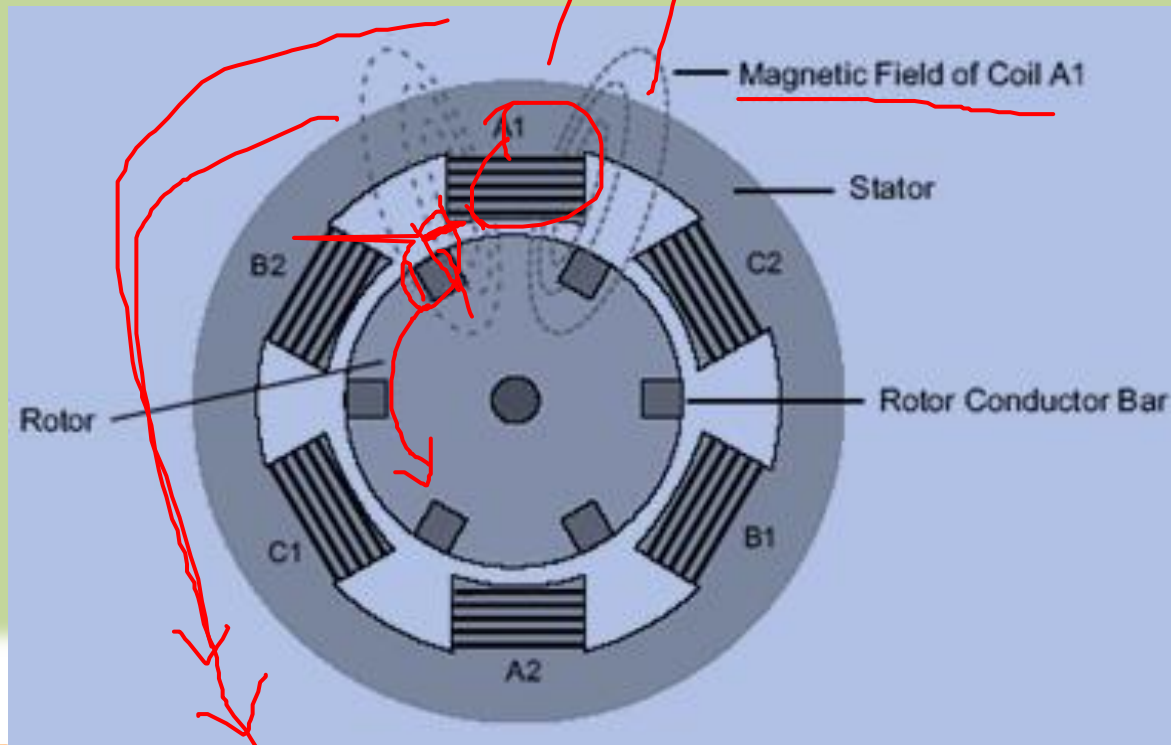
ROTOR BELITAN

- Konduktor yang digunakan adalah belitan
- Belitan terhubung ke cincin geser yang dipasang pada shaft
- Belitan terhubung ke resistor melalui sikat karbon



PRINSIP KERJA

- Prinsip kerja motor induksi mirip trafo
- Rangkaian primer (stator) dan sekunder (rotor) tidak satu inti.
- Rangkaian sekunder berputar



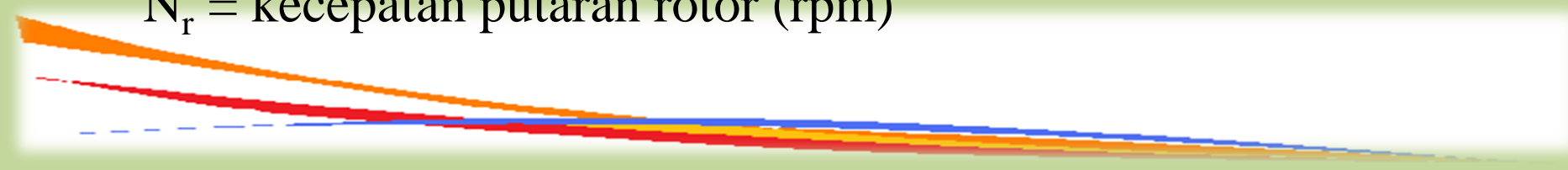
SLIP

- Dalam praktek rotor tidak pernah berputar pada kecepatan sinkron.
- Perbedaan kecepatan antara putaran medan stator dan kecepatan rotor disebut slip

$$\text{Slip}(\%) = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100$$

N_s = kecepatan putaran sinkron/ stator (rpm)

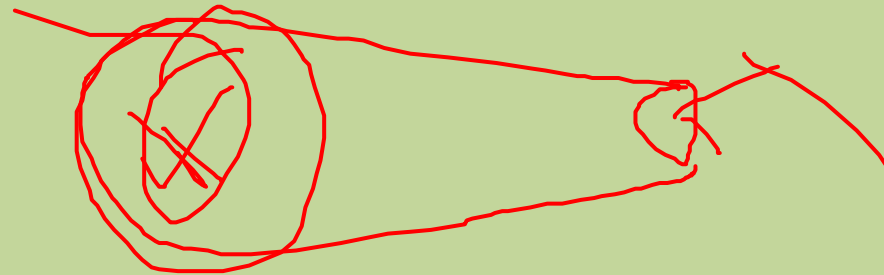
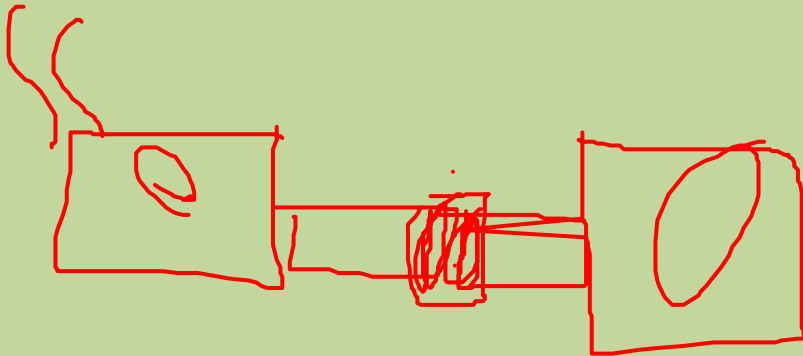
N_r = kecepatan putaran rotor (rpm)



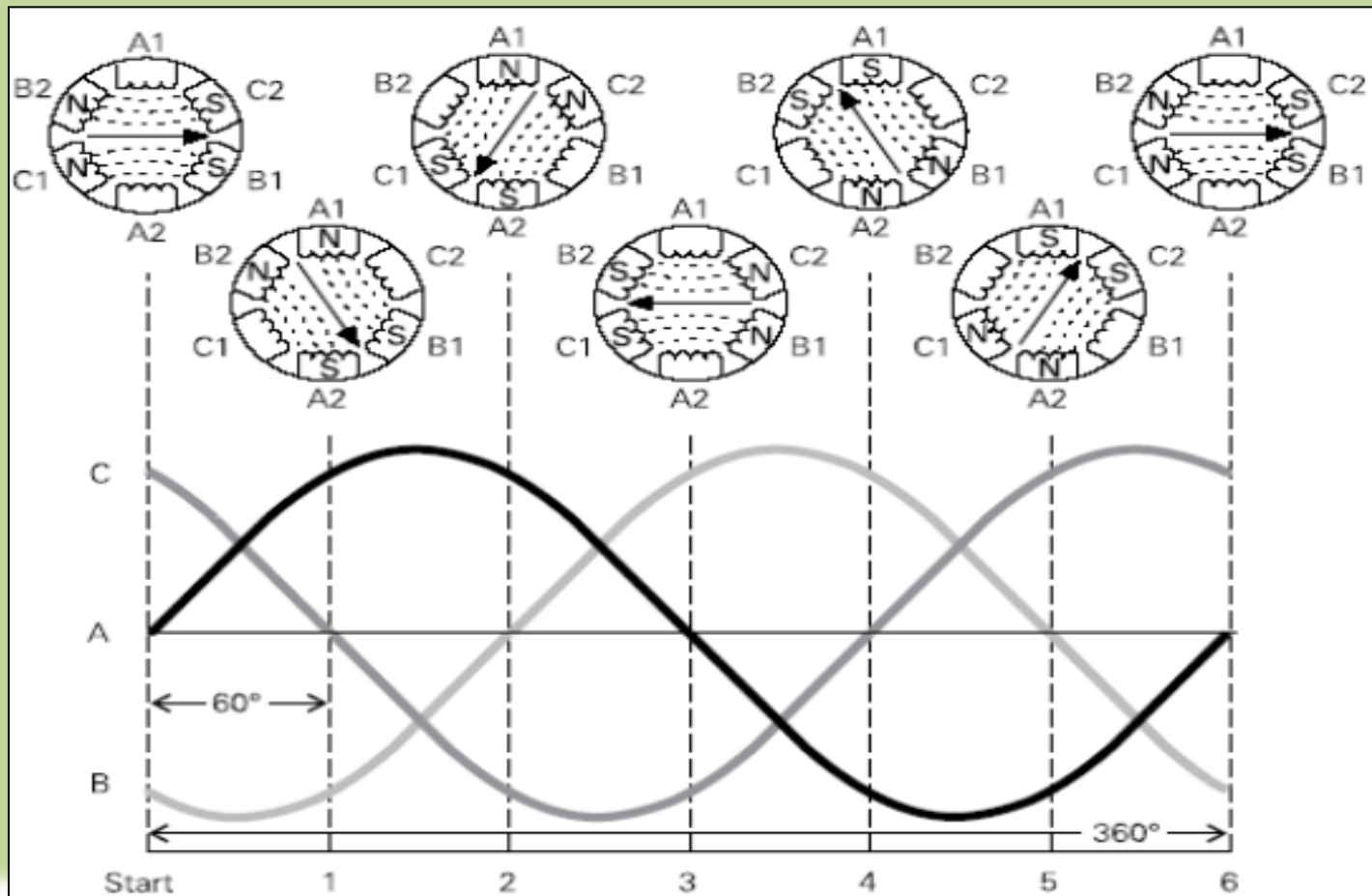
Slip

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

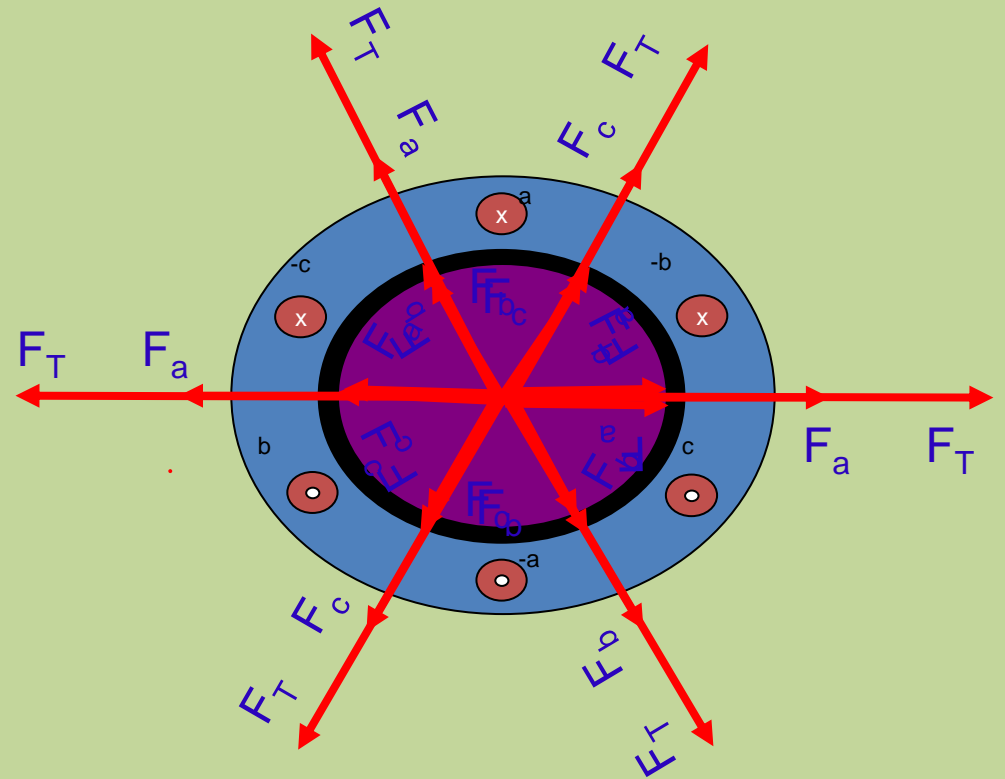
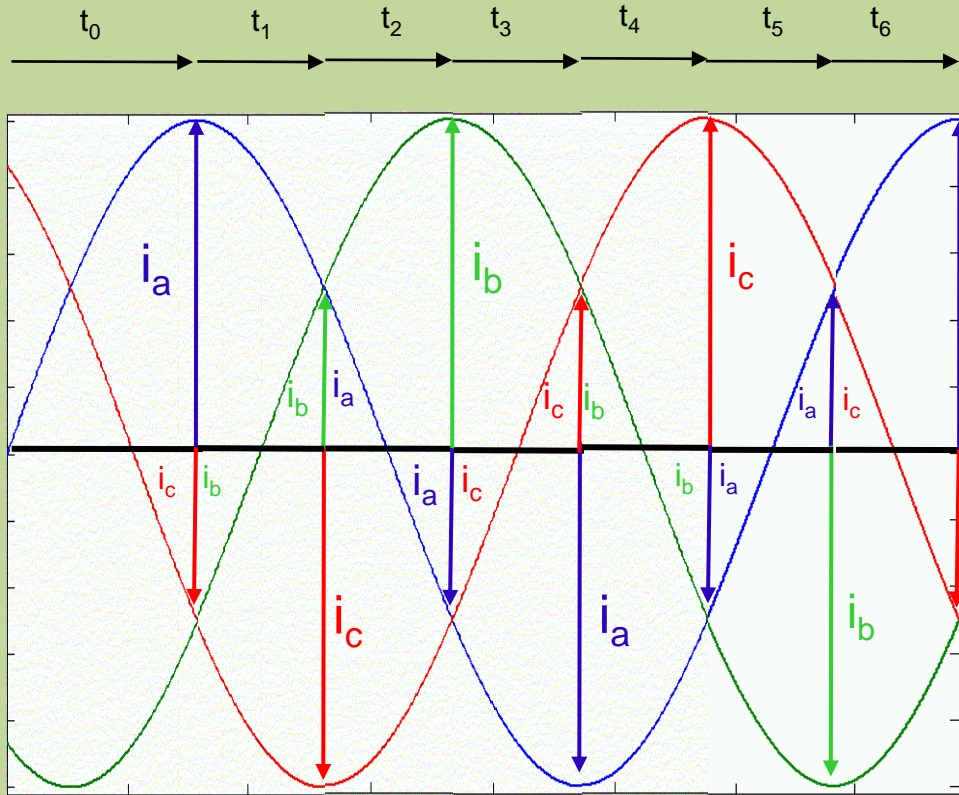
- Slip menghasilkan **kopel motor** untuk memutar rotor.
- Bila $n_s = n_r \rightarrow$ tidak menghasilkan arus induksi pada kumparan jangkar rotor **sehingga tidak dihasilkan kopel. \rightarrow Tidak bergerak (rotor diam).**



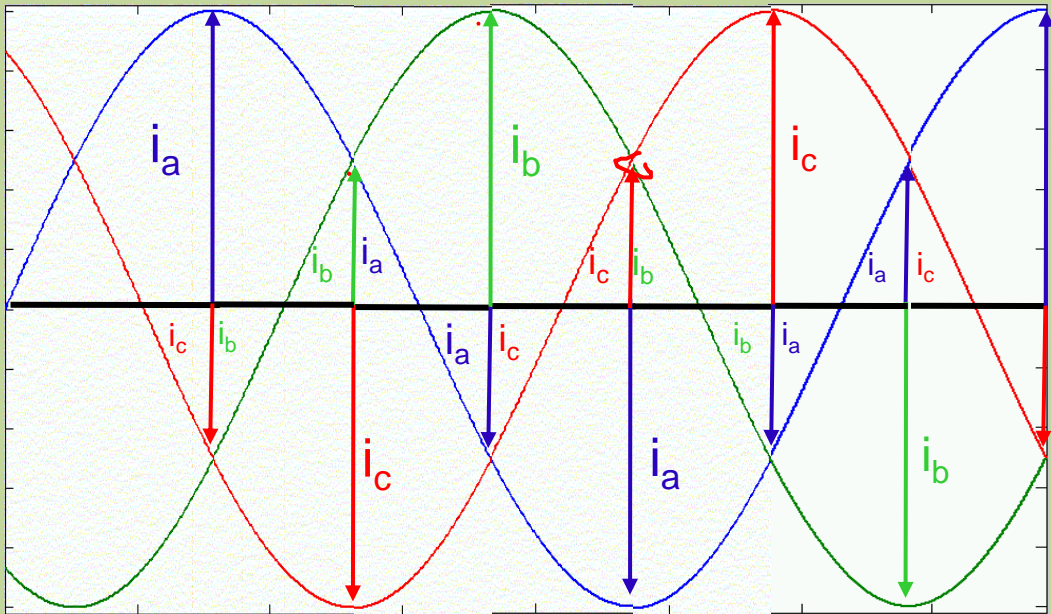
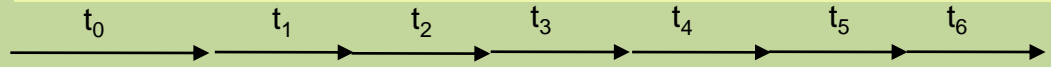
KONSEP MEDAN PUTAR



Prinsip Kerja



Prinsip Kerja



t_0

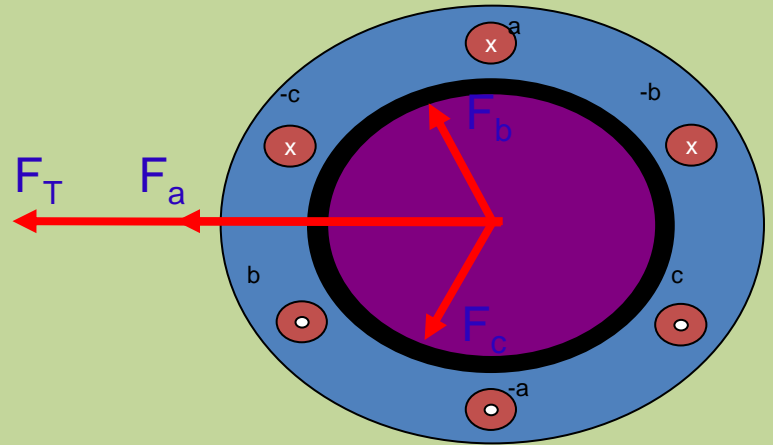
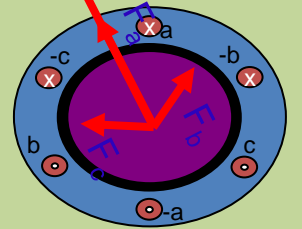
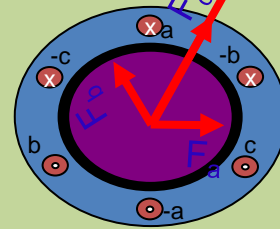
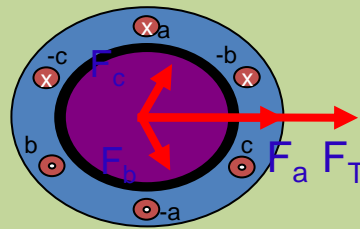
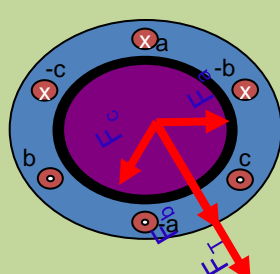
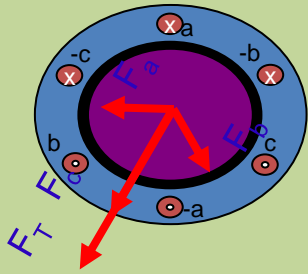
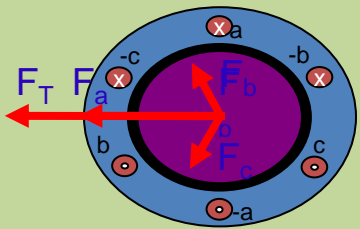
t_1

t_2

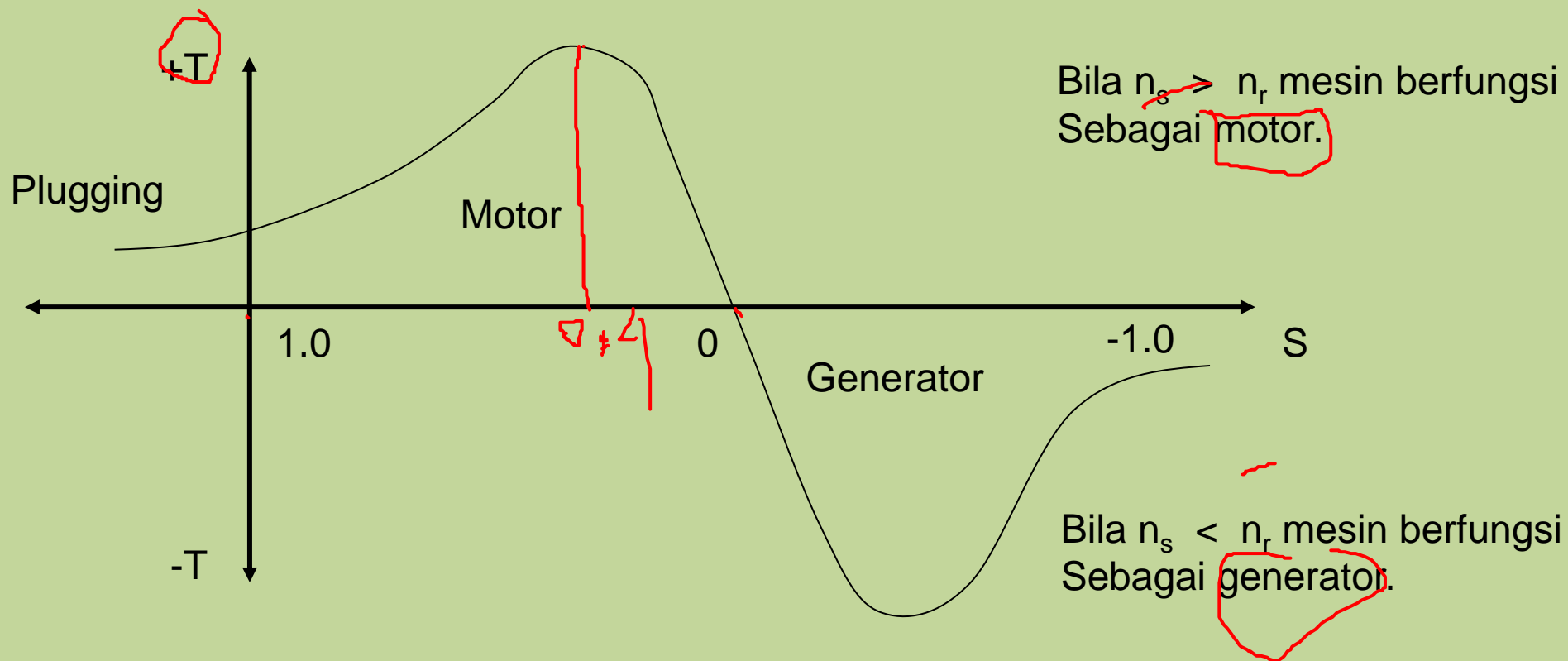
t_3

t_4

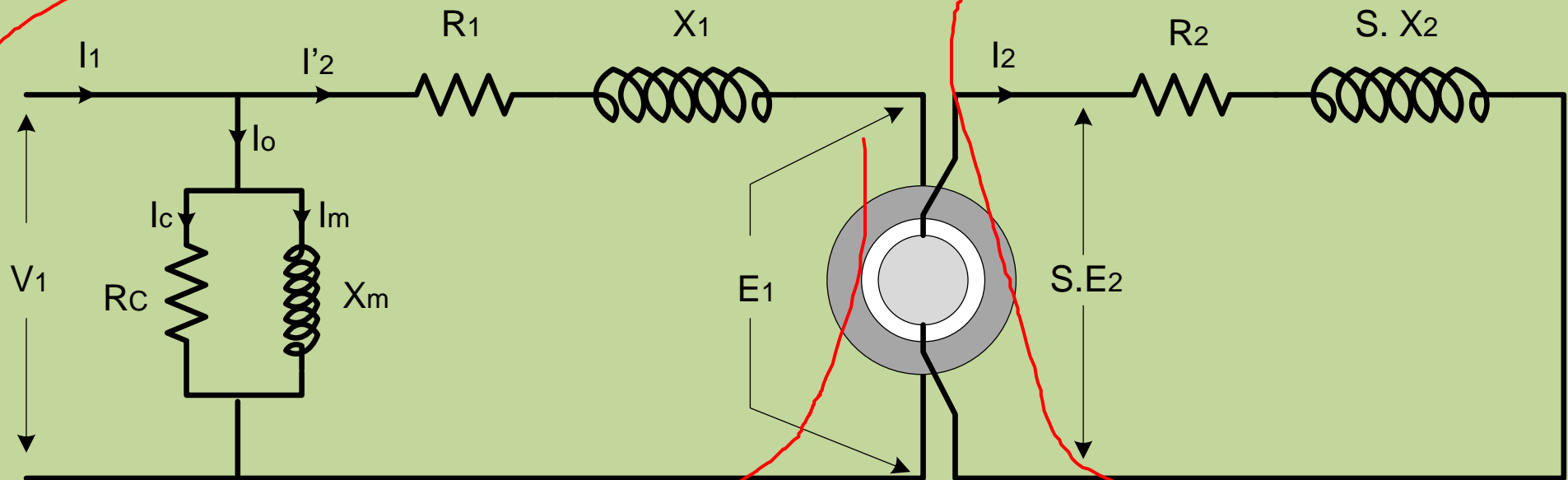
t_5



Mode Operasi



RANGKAIAN EKIVALEN



V_1 = tegangan stator

R_1 = tahanan stator

X_1 = reaktansi bocor stator

R_C = tahanan inti besi

E_1 = tegangan (ggl) stator

R_2 = tahanan rotor

X_2 = reaktansi bocor rotor

X_m = reaktansi magnetisasi

S = Slip

Daya motor Induksi

Daya masuk Stator :

$$P_1 = 3V_1 I_1 \cos \varphi$$

Daya masuk rotor :

$$P_2 = 3(I_2')^2 a^2 \left(\frac{R_2}{S} \right)$$

Dimana $a =$ perbandingan transformasi

$$a = (N_1 KW_1) / N_2 KW_2$$

Daya keluar rotor (P mekanis)

$$P_m = 3(I_2')^2 a^2 R_2 \left(\frac{1-S}{S} \right)$$

Rugi-rugi daya :

$$P_r = 3(I_2')^2 a^2 R_2$$

Sehingga $P_2 : P_m : P_r = 1 : (1 - S) : S$

PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI

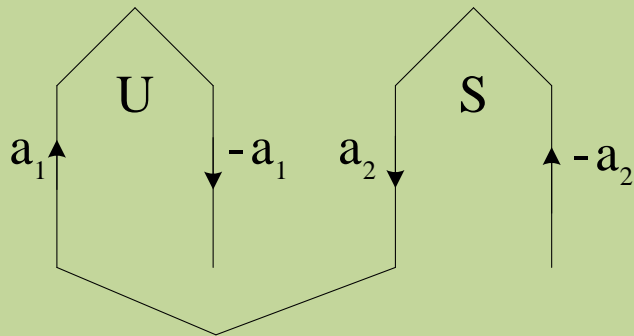
- Umumnya berputar dengan kecepatan konstan, mendekati kecepatan sinkronnya.
- Pada penggunaan tertentu dikehendaki adanya pengaturan putaran.
- Pengaturan kecepatan putaran motor induksi dapat dilakukan dengan beberapa cara :
 1. Mengubah jumlah kutub motor
 2. Mengubah frekuensi masukan
 3. Mengatur tegangan masukan



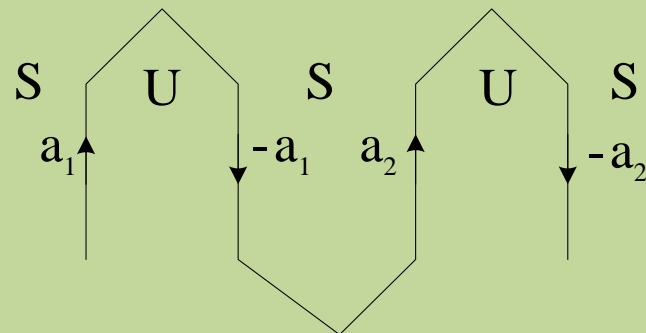
PENGATURAN DENGAN MENGUBAH JUMLAH KUTUB

$$n_s = \frac{120f}{p}$$

Jumlah kutub dapat diubah dengan merencanakan kumparan stator sedemikian rupa sehingga dapat menerima tegangan masuk pada posisi kumparan yang berbeda-beda.



2 Kutub



4 Kutub



PENGATURAN DENGAN MENGUBAH FREKUENSI

1. Pengaturan putaran motor dapat dilakukan dengan mengubah-ubah harga frekwensi jala
2. Hanya saja untuk menjaga kesimbangan kerapatan fluks,
3. Pengubahan tegangan harus dilakukan bersamaan dengan pengubahan frekwensi



Pengaturan Motor Induksi

Mengubah frekuensi jala-jala dan jumlah kutup :

$$n_s = \frac{120 f}{p}$$

Bila p (jumlah kutup) semakin besar maka semakin lambat kecepatan putaran dan sebaliknya.

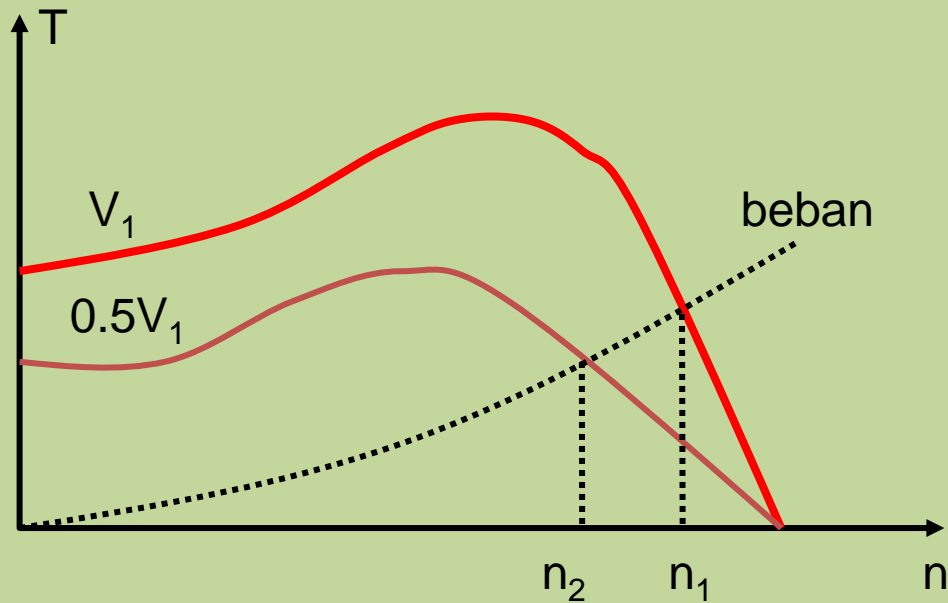
Jumlah kutup dapat diubah² dengan merencanakan kumparan stator sedemikian shg dapat menerima tegangan masuk pada posisi yang berbeda-beda .

Dari persamaan diatas diketahui bahwa dengan mengubah f semakin besar maka Menyebabkan kecepatan motor akan semakin besar juga dan sebaliknya.

Pengaturan Motor Induksi

Mengatur tegangan jala – jala :

$$T = \frac{3}{\omega} V_1^2 \frac{S a^2 R_2}{(a^2 R_2)^2 + S^2 (a^2 X_2)^2}$$



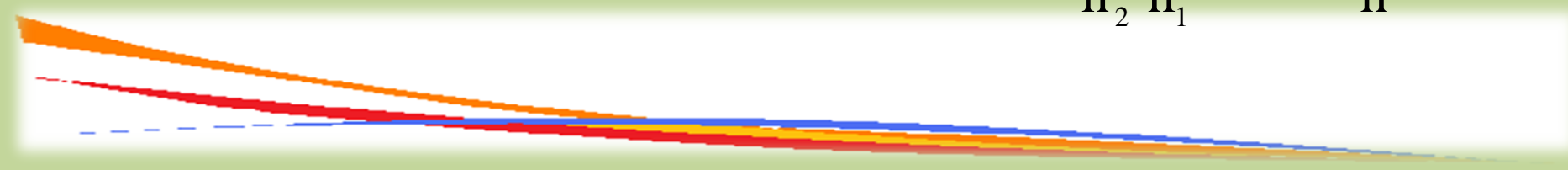
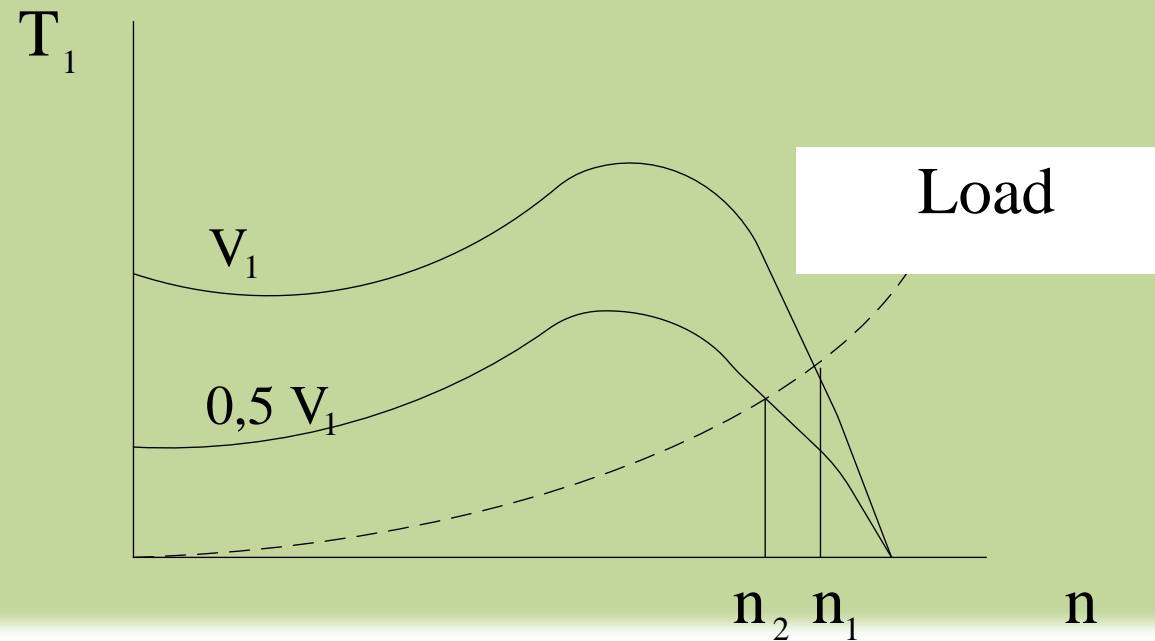
Besarnya kopel motor induksi sebanding dengan pangkat dua tegangan yang di berikan (V_1) $T = k V^2$.

Karakteristik beban dapat dilihat seperti gambar disamping, kecepatan akan be rubah dari n_1 ke n_2 untuk tegangan masuk setengah dari tegangan semula.

Harmonic tinggi dan power factor rendah , pengaturan ini biasanya dipakai untuk peralatan starting torque rendah

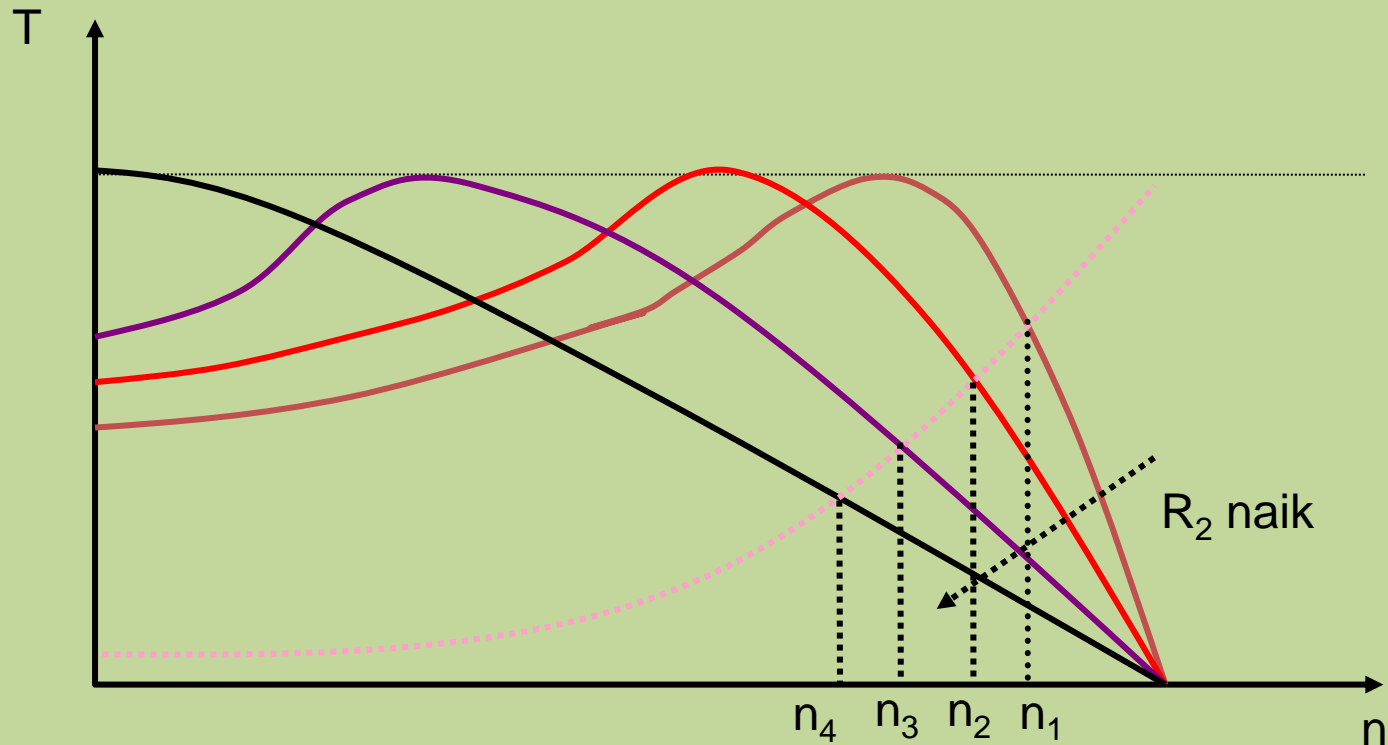
PENGATURAN DENGAN MENGUBAH TEGANGAN

$$T = \frac{3}{\omega} \cdot V_1^2 \cdot \frac{s \cdot a^2 R_2}{(a^2 R_2)^2 + s^2 \cdot (a^2 X_2)^2}$$



Pengaturan motor induksi

Pengaturan tahanan luar

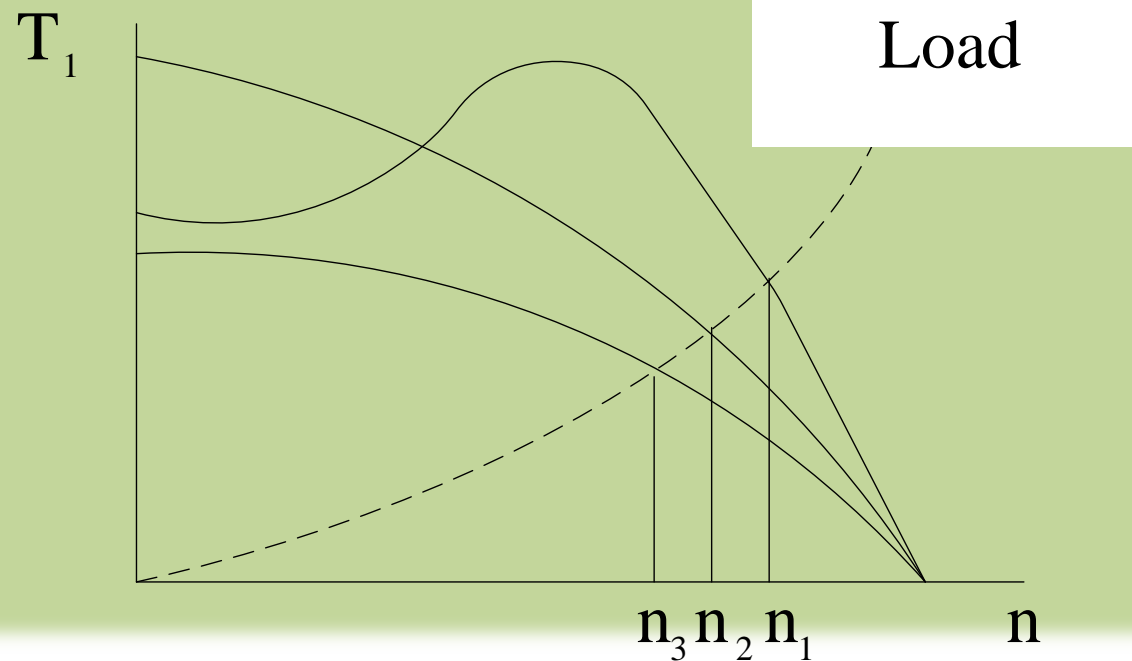


- Penambahan tahanan luar R_2 pada rotor belitan sampai harga tertentu dapat torka Start maksimum.
- Penambahan tahanan luar juga diperlukan untuk membatasi arus awal yg besar saat Start.
- Dengan mengubah² tahanan luar juga diperlukan untuk mengatur kecepatan motor.
- Cara ini mengakibatkan rugi daya yang cukup besar pada rotor

Kurva T terhadap speed (n) dengan mengubah-ubah R_2

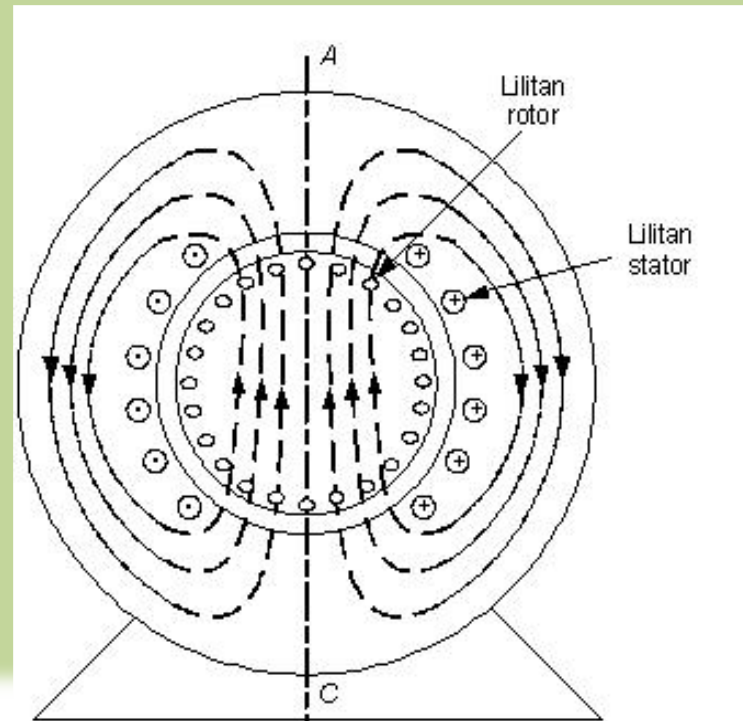
PENGATURAN DENGAN TAHANAN LUAR

$$T = \frac{3}{\omega} \cdot V_1^2 \cdot \frac{s \cdot a^2 R_2}{(a^2 R_2)^2 + s^2 \cdot (a^2 X_2)^2}$$



MOTOR INDUKSI SATU FASA

- Motor satu fasa tidak dapat *self-starting*
- Perlu metode start khusus



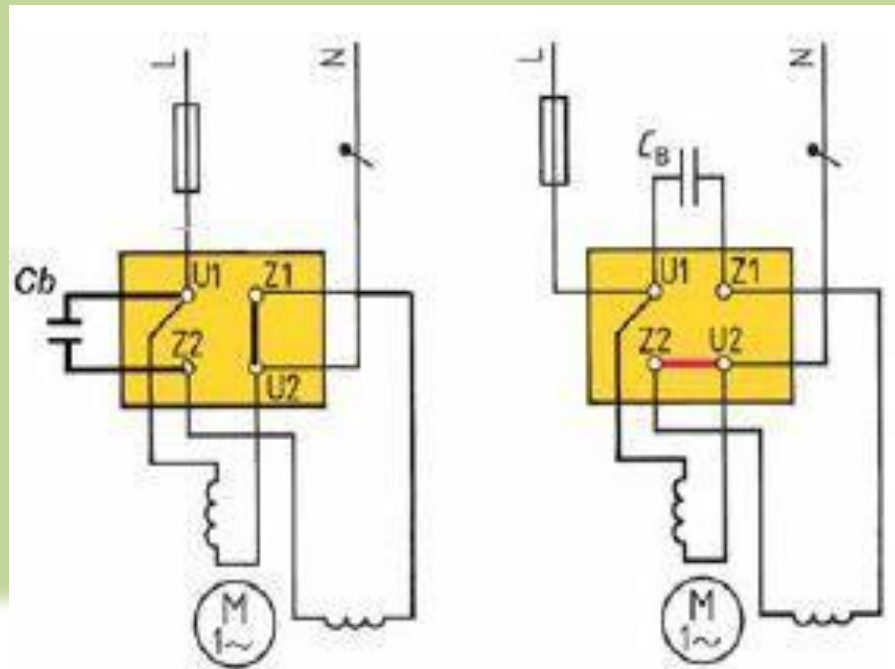
MOTOR KAPASITOR

- Banyak digunakan dalam peralatan rumah tangga
- Contoh : motor pada pompa air, mesin cuci lemari es, AC



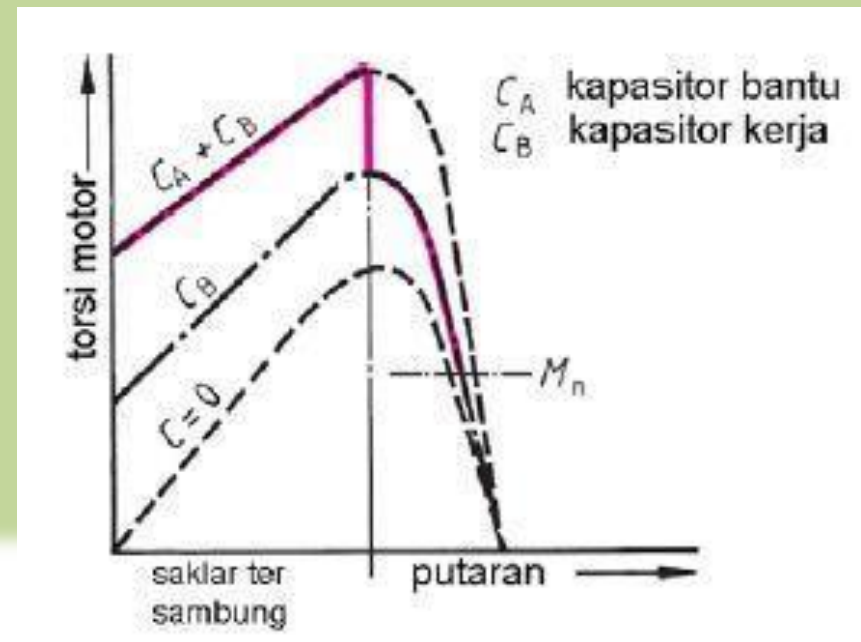
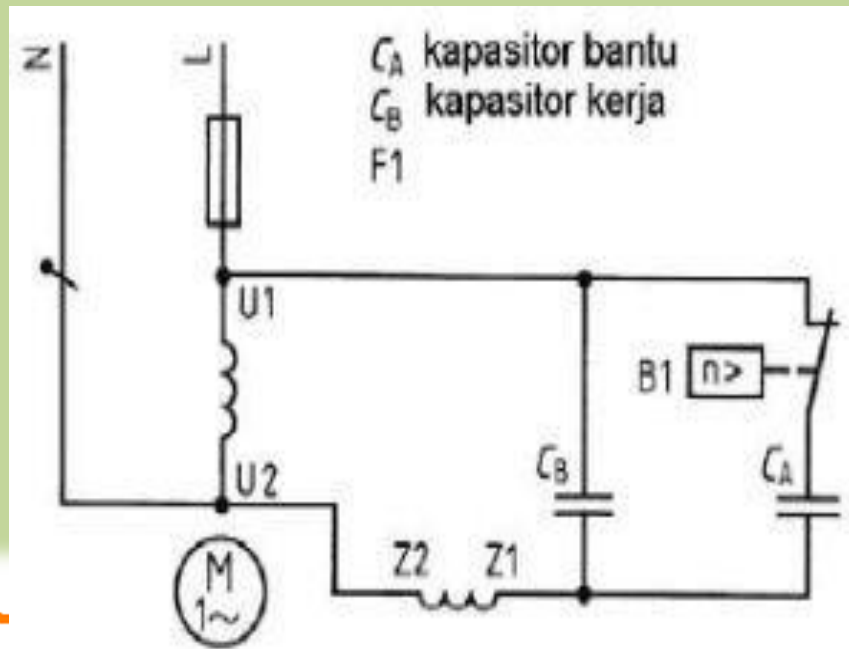
KONFIGURASI BELITAN MOTOR KAPASITOR

- U1 dan U2 : Terminal belitan utama
- Z1 dan Z2 : Terminal belitan bantu
- Condenser berfungsi agar belitan utama dan belitan bantu berbeda 90°

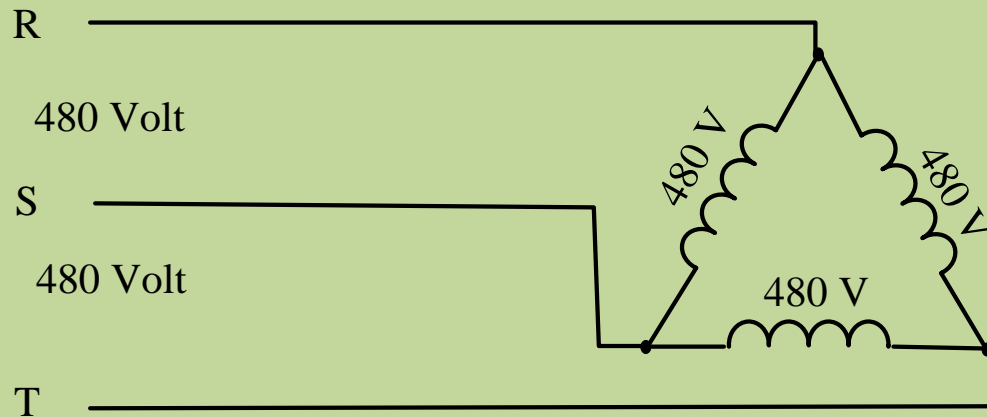


MOTOR KAPASITOR DENGAN CENTRIFUGAL SWITCH

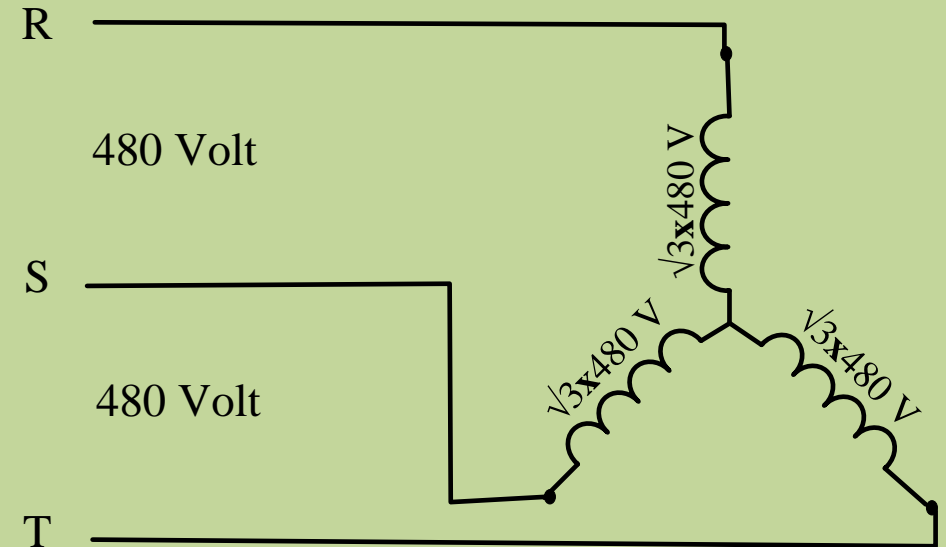
- Digunakan pada motor kapasitor dengan kapasitas diatas 1kW
- Terdapat 2 buah kondensor
- Saat 70% putaran nominal, saklar centrifugal membuka untuk memutuskan satu kondensor



MOTOR INDUKSI TIGA FASA



Hubungan Delta



Hubungan Bintang



NAMEPLATE MOTOR INDUKSI

| SIEMENS | | | | | | | | | |
|--|--------------|-------------|---|-------------|----------------|-----------------|------|-----------|--|
| HIGH EFFICIENT | | | | | | | | | |
| ORD.NO. | 1LA02864SE41 | | | | E. NO. | | | | |
| TYPE | RGZESD | | | | FRAME | 286T | | | |
| H.P. | 30.00 | | | | SERVICE FACTOR | 1.15 | | 3 PH | |
| AMPS | 35.0 | | | | VOLTS | 460 | | | |
| R.P.M. | 1765 | | | | HERTZ | 60 | | | |
| DUTY | CONT | | | | 40°C AMB. | | | DATE CODE | |
| CLASS INSUL | F | NEMA DESIGN | B | K.V.A. CODE | G | NEMA, NOM. EFF. | 93.0 | | |
| SH. END BRG. | 50BC03JPP3 | | | | OPP. END BRG. | 50VC03JPP3 | | | |
|   | | | | | | | | | |
|  Made in Mexico by SIEMENS      | | | | | | | | | |

51-770-642

INFORMASI PADA NAMEPLATE

- Horse Power =: Kemampuan putaran rotor menggerakkan beban maksimum. $1\text{HP} = 746\text{ W}$
- Volt : biasanya mempunyai toleransi 10 %
- AMPS : Kemampuan motor dengan beban maksimum
- HERZT : Frekuensi jaringan listrik
- RPM : Kecepatan putaran rotor saat tersambung beban maksimum
- Service Factor : Faktor perkalian kemampuan daya mekanik dimana motor bisa dioperasikan



INSULATION CLASS

Pembagian Kelas Isolasi :

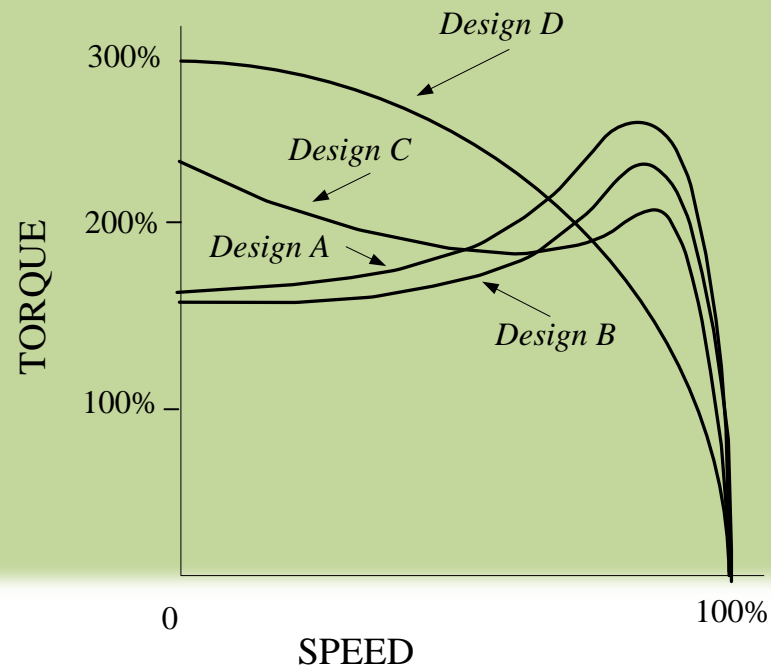
- Class A, kemampuan isolasi hanya 105°C
- Class B, kemampuan isolasi hanya 130°C
- Class C, kemampuan isolasi hanya 155°C
- Class D, kemampuan isolasi hanya 180°C



NEMA DESIGN

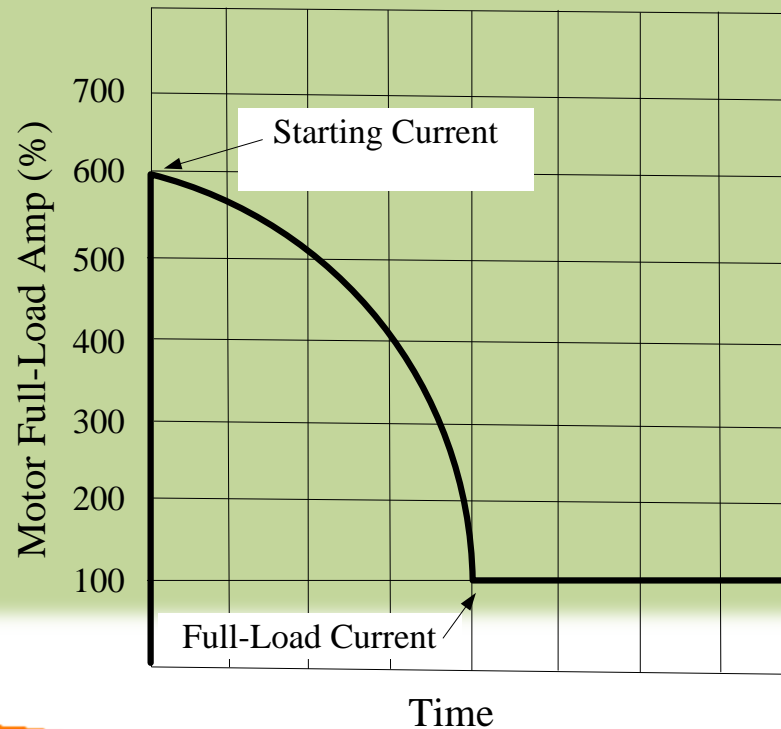
Menerangkan Karakteristik kemampuan torsi output rotor:

- Nema A, motor mempunyai arus start tinggi dan torsi awal normal
- Nema B, motor mempunyai arus start rendah dan torsi awal normal
- Nema C, motor mempunyai arus start rendah dan torsi awal tinggi
- Nema D, motor mempunyai arus start rendah dan torsi awal sangat tinggi

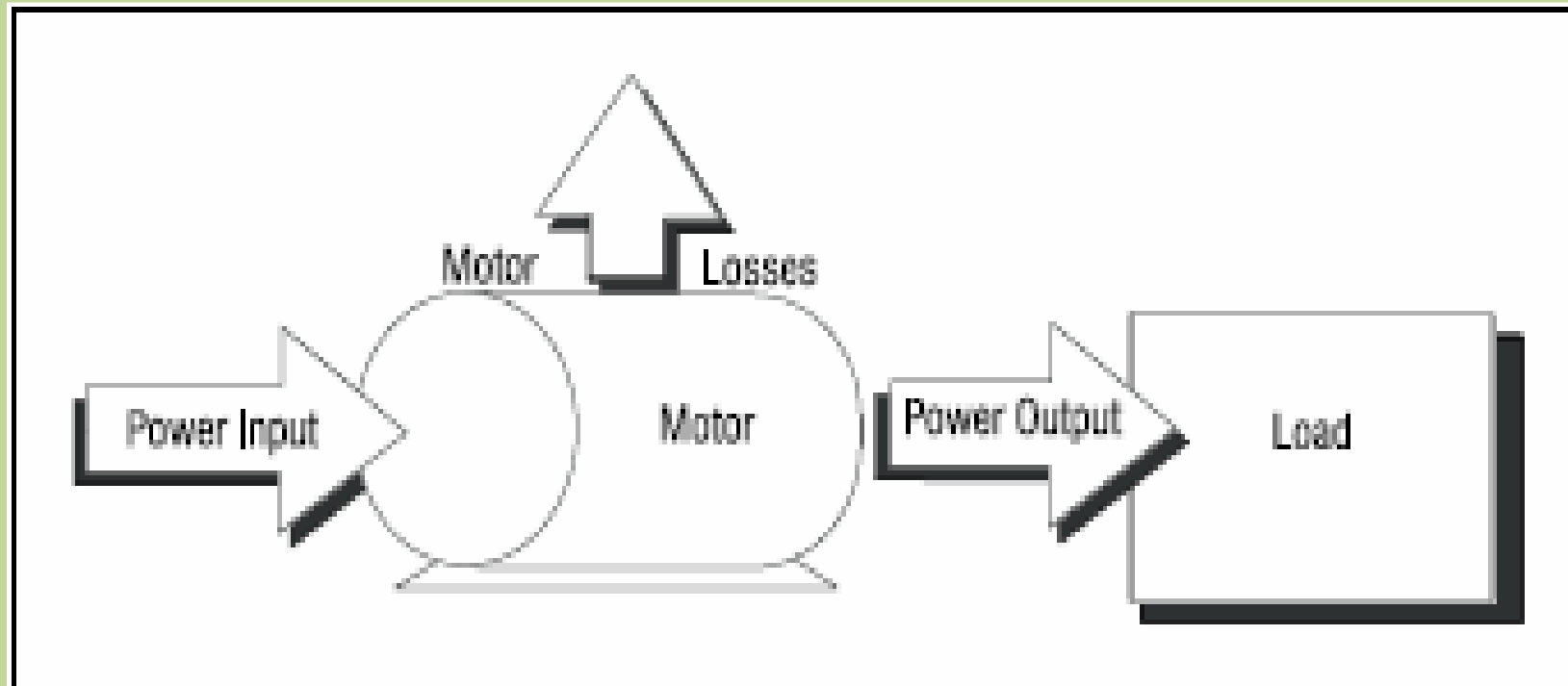


ARUS START

- Mereferensikan terjadinya lock rotor,
- Rotor terkunci sehingga akan menarik sumber sangat besar sekali
- Biasanya untuk motor Nema Design B sebesar 600 – 650 % arus beban penuh



KONVERSI ENERGI PADA MOTOR



EFISIENSI MOTOR INDUKSI

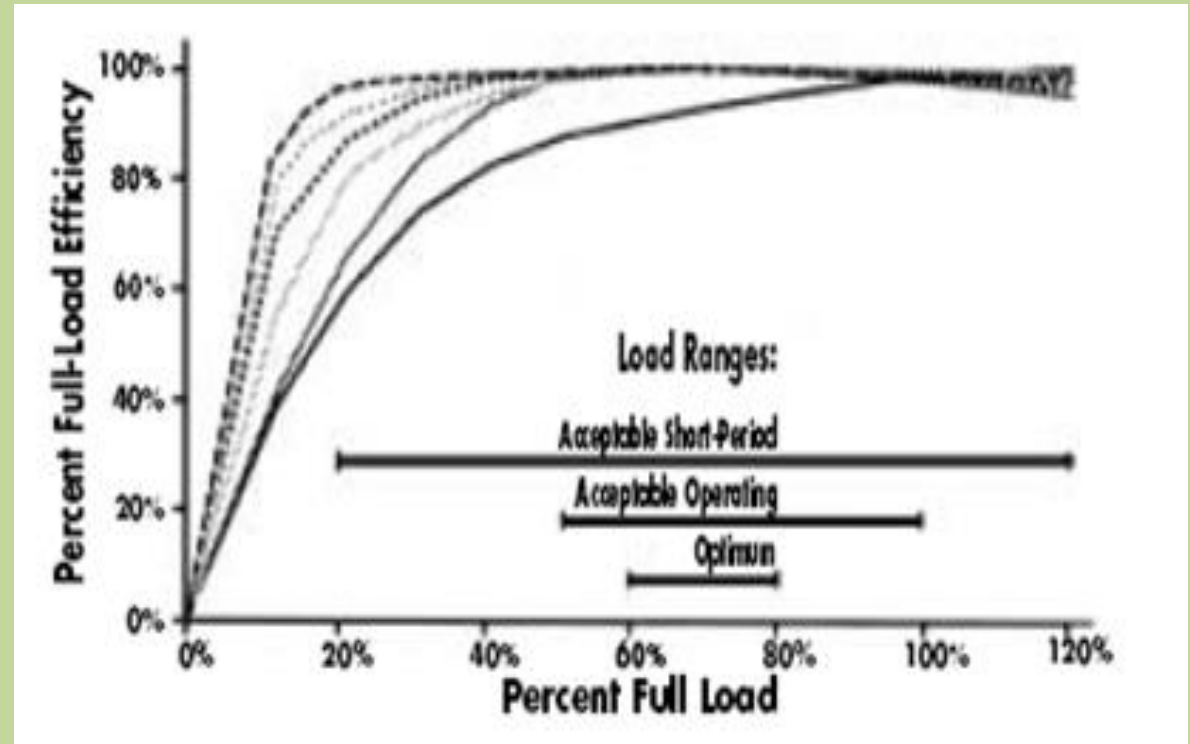
$$\eta = \frac{\text{daya keluaran}}{\text{daya masukan}}$$

Ditentukan oleh kehilangan dasar yang hanya dapat dikurangi oleh perubahan pada rancangan motor dan kondisi operasi

| Jenis kehilangan | Persentase kehilangan total (100%) |
|---|---------------------------------------|
| Kehilangan tetap atau kehilangan inti | 25 |
| Kehilangan variabel: kehilangan stator I ² R | 34 |
| Kehilangan variabel: kehilangan rotor I ² R | 21 |
| Kehilangan gesekan & penggulangan ulang | 15 |
| Kehilangan beban yang menyimpang | 5 |

FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI EFISIENSI

- Usia
- Kapasitas
- Kecepatan
- Jenis
- Suhu
- Penggulungan ulang
- Beban



BEBAN MOTOR

$$\text{Beban} = \frac{P_i \times \text{eff}}{\text{HP} \times 0,746}$$

Eff. = Efisiensi operasi motor dalam %

HP = Nameplate untuk HP

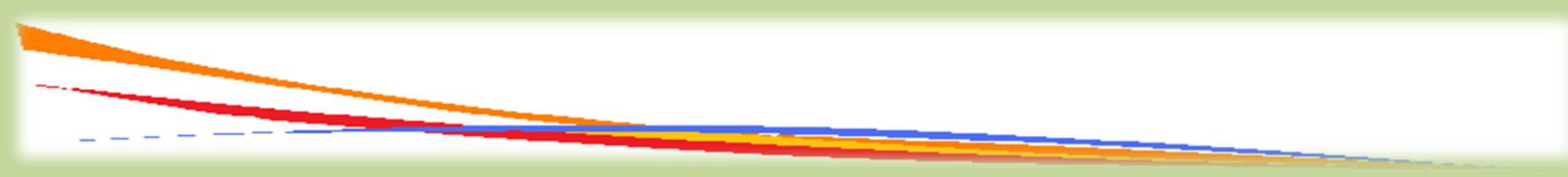
Beban = Daya yang keluar sebagai % laju daya

P_i = Daya tiga phasa dalam kW



METODE UNTUK MENENTUKAN BEBAN MOTOR

1. Pengukuran daya masuk. Metode ini menghitung beban sebagai perbandingan antara daya masuk (diukur dengan alat analisis daya) dan nilai daya pada pembebanan 100%.
2. Pengukuran jalur arus beban ditentukan dengan membandingkan amper terukur (diukur dengan alat analisis daya) dengan laju amper.
3. Metode Slip. Beban ditentukan dengan membandingkan slip yang terukur bila motor beroperasi dengan slip untuk motor dengan beban penuh.



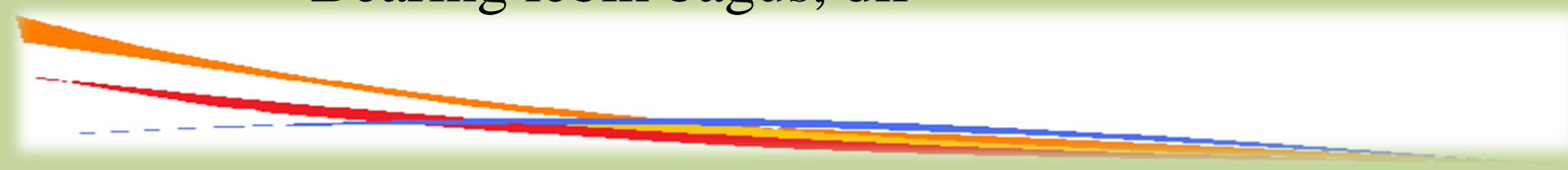
FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KINERJA MOTOR LISTRIK

1. Mengganti motor Standar dengan motor efisiensi tinggi
2. Penurunan Pembebanan (menghindari motor yang ukurannya berlebihan).
3. Ukuran Motor untuk Beban Yang Bervariasi
4. Memperbaiki Kualitas Daya
5. Penggulungan Ulang (Rewinding)
6. Koreksi Faktor Daya Dengan Memasang Kapasitor

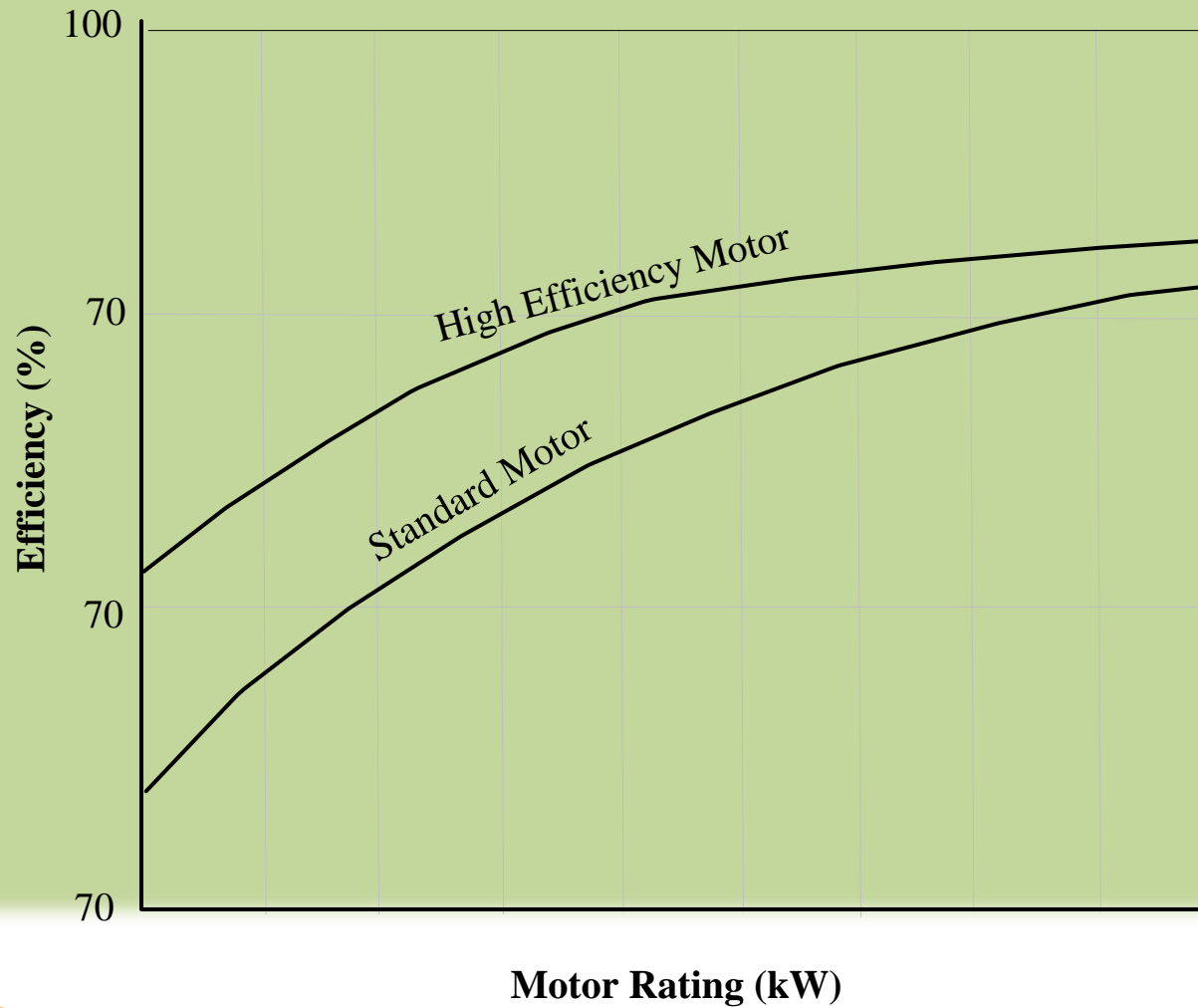


MOTOR EFISIENSI TINGGI

1. Efisiensinya sekitar 3% - 7% lebih besar dari motor standar
2. Desain motor disesuaikan untuk menurungkan kehilangan dasar motor
3. Karakteristik motor efisiensi tinggi :
 - Menggunakan baja silikon
 - Inti lebih panjang
 - Kawat lebih tebal
 - Laminasi lebi tipis
 - Celah udara lebih tipis
 - Bearing lebih bagus, dll

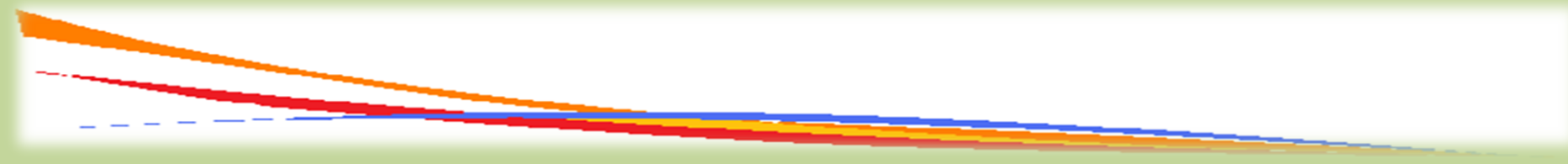


PERBANDINGAN MOTOR EFISIENSI TINGGI DENGAN MOTOR STANDAR



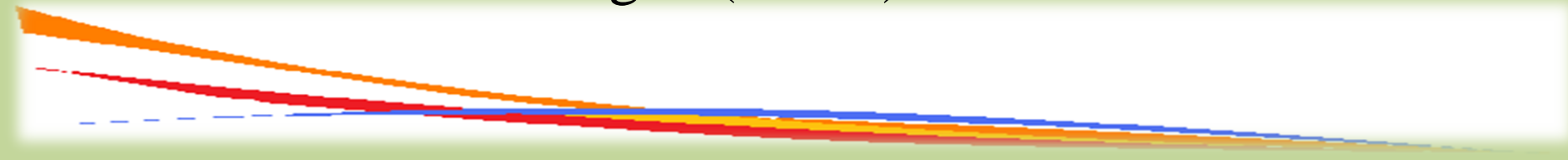
PENURUNAN PEMBEBANAN

1. Beban yang kurang akan menurunkan efisiensi motor.
2. Ukuran motor harus dipilih berdasarkan pada evaluasi beban dengan hati-hati
3. Penyebab ketidak efisienan :
 - a. Pembuat peralatan cenderung menggunakan faktor keamanan yang besar bila memilih motor
 - b. Peralatan kadangkala digunakan dibawah kemampuan yang semestinya.
 - c. Dipilih motor yang besar agar mampu mencapai keluaran pada tingkat yang dikehendaki, bahkan jika tegangan masuk rendah dalam keadaan tidak



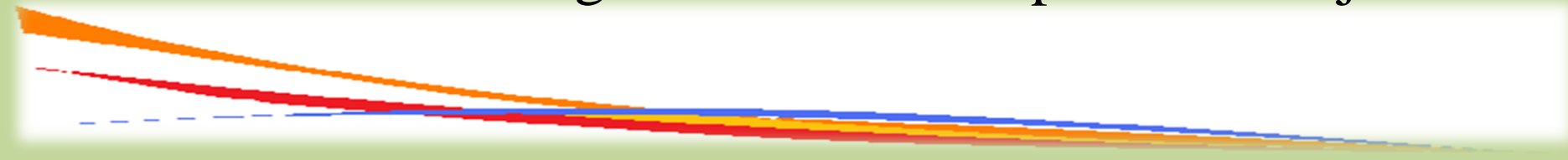
UKURAN MOTOR UNTUK BEBAN YANG BERVARIASI

- Motor industri sering beroperasi pada beban bervariasi
- Biasanya dipilih motor dengan antisipasi paling tinggi
- Alternatifnya: memilih motor sedikit lebih rendah dari beban antisipasi tertinggi
- Hal ini memungkinkan karena motor biasanya dirancang 15 % di atas nilai beban
- Kriteria pemilihan motor :
Kenaikan suhu rata-rata di atas siklus operasi aktual harus tidak lebih besar dari kenaikan suhu pada operasi beban penuh yang berkesinambungan (100%)



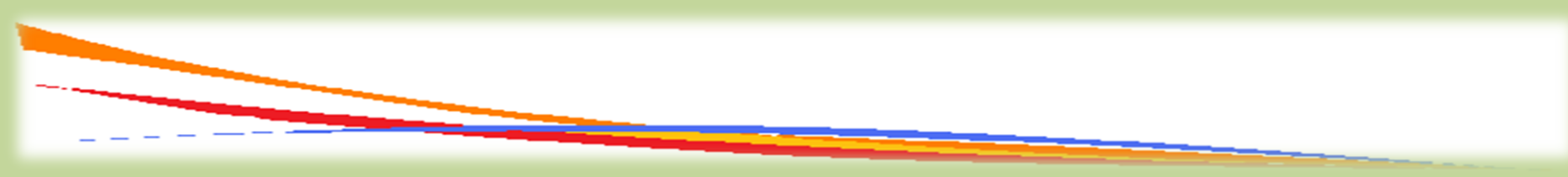
MEMPERBAIKI KUALITAS DAYA

- Fluktuasi tegangan dan frekuensi dapat merigikan kinerja motor
- Ketidakseimbangan tegangan akan lebih merugikan .
Dapat terjadi akibat penggunaan kabel dengan ukuran yang berbeda
- Keseimbangan fasa maksimum 1%
- Minimisasi ketidakseimbangan dapat dilakukan dengan
 1. Menyeimbangkan setiap beban fasa tunggal diantara seluruh tiga fasa
 2. Memisahkan setiap beban fasa tunggal yang mengganggu keseimbangan beban dan umpankan dari jalur/trafo terpisah



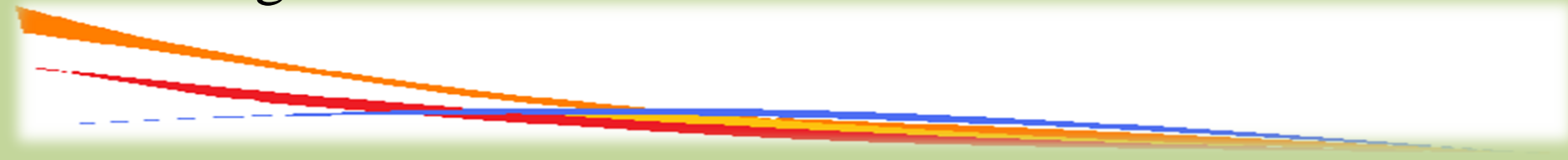
PENGGULUNGAN ULANG (REWINDING)

- Biasanya dilakukan pada motor yang terbakar
- Faktor yang dapat mempengaruhi efisiensi motor:
 - a. Desain slot dan gulungan
 - b. Bahan gulungan
 - c. Kinerja pengisolasi
 - d. Suhu operasi
- Indikator keberhasilan penggulungan ulang adalah perbandingan arus dan tahanan sator tanpa sesudah digulung ulang dan kondisi orisinal



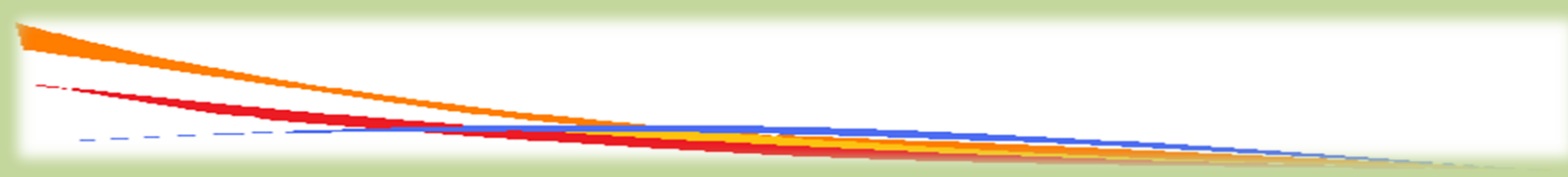
HAL YANG HARUS DIPERTIMBANGKAN SAAT REWINDING

- Gunakan perusahaan yang bersertifikasi ISO 9000 atau anggota dari Asosiasi Layanan Peralatan Listrik.
- Jika biaya pegulungan ulang melebihi 50% hingga 65% dari harga motor baru yang efisien energinya, lebih baik membeli motor yang baru
- Ukuran motor kurang dari 40 HP dan usianya lebih dari 15 tahun (terutama motor yang sebelumnya sudah digulung ulang) sebaiknya diganti.
- Untuk motor dibawah 15 HP sebaiknya mengganti motor baru, agar lebih ekonomis



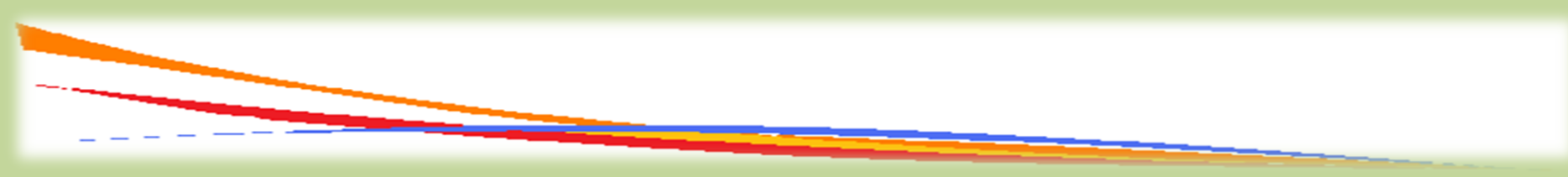
KOREKSI FAKTOR DAYA DENGAN MEMASANG KAPASITOR

- Faktor daya motor induksi < 1
- Efisiensi seluruh sistem pabrik akan rendah
- Kapasitor yang dihubung paralel dapat digunakan untuk memperbaiki faktor daya.
- Kapasitas kapasitor ditentukan kVA R tanpa beban yang diserap motor
- Kapasitas kapasitor tidak boleh lebih dari 90% kVAR motor tanpa beban.
- Kapasitas terlalu besar dapat menyebabkan motor terbakar



PERAWATAN MOTOR INDUKSI

- Perawatan yang buruk dapat memperburuk efisiensi
- Pelumasan yang tidak benar dapat menyebabkan meningkatkan gesekan motor dan penggerak transmisi peralatan
- Kondisi ambien juga akan mempengaruhi kinerja motor
 - suhu ekstrim,
 - kadar debu yang tinggi,
 - atmosfer yang korosif,
 - dan kelembabandapat merusak sifat-sifat bahan isolasi



PERIKSA PERAWATAN MOTOR INDUKSI

- Pemeriksaan motor secara teratur untuk pemakaian bearings dan
- Pemeriksaan kondisi beban untuk meyakinkan bahwa motor tidak kelebihan atau kekurangan beban
- Pemeriksaan secara berkala untuk sambungan motor yang benar dan peralatan yang digerakkan
- Dipastikan bahwa kawat pemasok dan ukuran kotak terminal dan pemasangannya benar
- Penyediaan ventilasi yang cukup dan menjaga agar saluran pendingin motor bersih

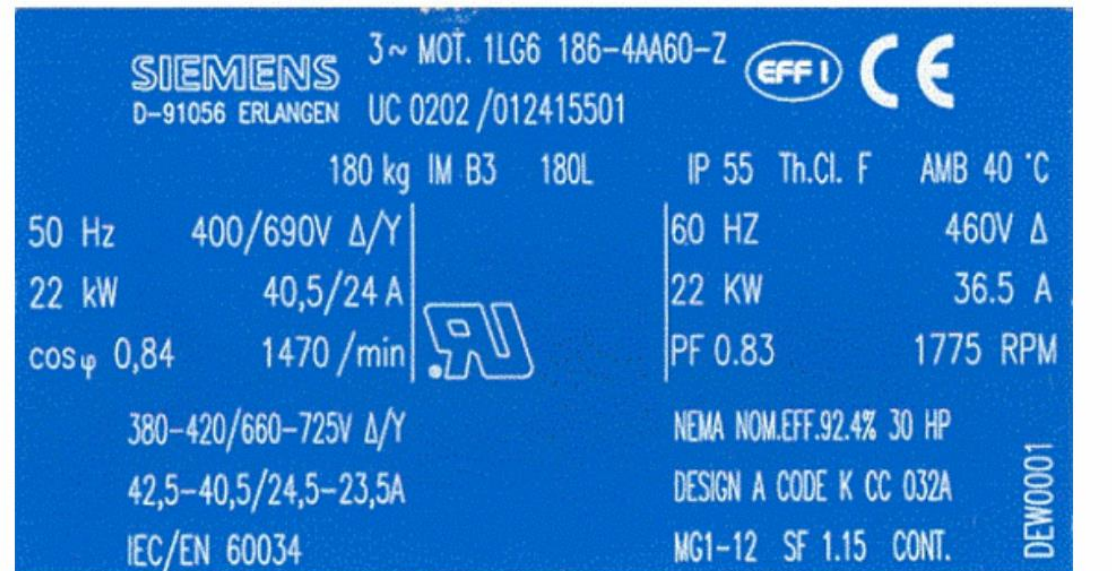


Terima Kasih

Tugas 10 :

1. Membaca dan membuat short resume Chapter 13
Buku Theodore Wildi.

2. Coba pelajari cara membaca nameplate Motor Induksi



Terima Kasih

Tugas 11 :

1. Sebutkan dan Jelaskan Metode Starting/Pengasutan Motor Induksi!
2. Download Software EKTS <https://veppa.com/ekts/>
3. Ambil salah satu Teknik starting motor induksi 3 phasa, dan simulasikan di EKTS.

Cth :

<https://www.youtube.com/watch?v=CH66d3Tyo3c&t=423s>

