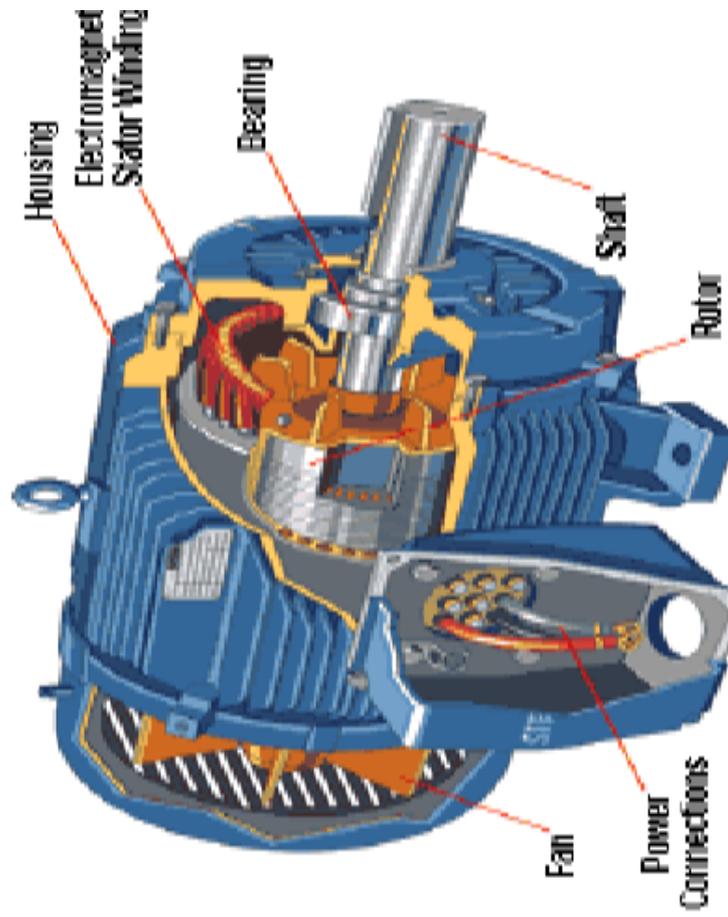


ELECTRICAL MOTOR



□ HASBULLAH, ST, MT

Bandung,
Februari 2009

DEFINISI MOTOR LISTRIK

- Motor listrik merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik.
- Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya, memutar *impeller* pompa, fan atau blower, menggerakkan kompresor, mengangkat beban, dll.
- Motor listrik digunakan juga di rumah (*mixer, bor listrik, fan angin*) dan di industri.
- *Motor listrik* kadangkala disebut “kuda kerja” nya industri sebab diperkirakan bahwa motor-motor menggunakan sekitar 70% beban listrik total di industri.

Mekanisme Kerja Motor

- Arus listrik dalam medan magnet akan memberikan gaya
- Jika kawat yang membawa arus dibengkokkan menjadi sebuah lingkaran/*loop*, maka kedua sisi *loop*, yaitu pada sudut kanan medan magnet, akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan.
- Pasangan gaya menghasilkan tenaga putar/*torque* untuk memutar kumparan.
- Motor-motor memiliki beberapa *loop* pada dinamonya untuk memberikan tenaga putaran yang lebih seragam dan medan magnetnya dihasilkan oleh susunan elektromagnetik yang disebut kumparan medan.

JENIS MOTOR LISTRIK

Motor Listrik

- Motor Arus Bolakbalik (AC) :
 - Sinkron & Induksi : Satu Fase & Tiga Fase
- Motor Arus Searah (DC) :
 - a. *Self Excited* : *Seri, Shunt & Campuran*
 - b. *Separately Excite*

MOTOR DC

- Motor arus searah, sebagaimana namanya, menggunakan arus langsung yang tidak langsung/ *direct-unidirectional*.
- *Motor DC digunakan pada penggunaan khusus dimana diperlukan penyalaan torque yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran kecepatan yang luas.*

MOTOR DC

- Sebuah motor DC yang memiliki tiga komponen utama:

- ***Kutub medan.***

Motor DC sederhana memiliki dua kutub medan: kutub utara dan kutub selatan. Garis magnetik energi membesar melintasi bukaan diantara kutub-kutub dari utara ke selatan. Untuk motor yang lebih besar atau lebih kompleks terdapat satu atau lebih elektromagnet. Elektromagnet menerima listrik dari sumber daya dari luar sebagai penyedia struktur medan.

- ***Dinamo.***

Bila arus masuk menuju dinamo, maka arus ini akan menjadi elektromagnet. Dinamo yang berbentuk silinder, dihubungkan ke as penggerak untuk menggerakkan beban

Untuk kasus motor DC yang kecil, dinamo berputar dalam medan magnet yang dibentuk oleh kutub-kutub, sampai kutub utara dan selatan magnet berganti lokasi. Jika hal ini terjadi, arusnya berbalik untuk merubah kutub-kutub utara dan selatan dinamo.

- ***Commutator. Komponen ini terutama ditemukan dalam motor DC. Kegunaannya adalah*** untuk membalikan arah arus listrik dalam dinamo. *Commutator juga membantu dalam transmisi arus antara dinamo dan sumber daya.*

Karakteristik Motor DC

- Keuntungan utama motor DC adalah sebagai pengendali kecepatan, yang tidak mempengaruhi kualitas pasokan daya. Motor ini dapat dikendalikan dengan mengatur:
- Tegangan stator – meningkatkan tegangan stator akan meningkatkan kecepatan
- Arus medan – menurunkan arus medan akan meningkatkan kecepatan.
- Motor DC tersedia dalam banyak ukuran, namun penggunaannya pada umumnya dibatasi untuk beberapa penggunaan berkecepatan rendah, penggunaan daya rendah hingga sedang seperti peralatan mesin dan *rolling mills*, sebab sering terjadi masalah dengan perubahan arah arus listrik mekanis pada ukuran yang lebih besar. Juga, motor tersebut dibatasi hanya untuk penggunaan di area yang bersih dan tidak berbahaya sebab resiko percikan api pada sikatnya.
- Motor DC juga relatif mahal dibanding motor AC.

Jenis Motor DC

- **Motor DC sumber daya terpisah/ *Separately Excited***

Jika arus medan dipasok dari sumber terpisah maka disebut motor DC sumber daya terpisah/ *separately excited*.

- **Motor DC sumber daya sendiri/ *Self Excited: motor shunt***

Pada motor *shunt*, *gulungan medan (medan shunt)* disambungkan secara paralel dengan gulungan stator. Oleh karena itu total arus dalam jalur merupakan penjumlahan arus medan dan arus dinamo.

□ **Motor DC daya sendiri: motor seri**

□ Dalam motor seri, gulungan medan (*medan shunt*) *dihubungkan secara seri dengan gulungan stator*. Oleh karena itu, arus medan sama dengan arus dinamo. *Berikut tentang kecepatan motor seri (Rodwell International Corporation, 1997; L.M. Photonics Ltd, 2002):*

□ Kecepatan dibatasi pada 5000 RPM

Harus dihindarkan menjalankan motor seri tanpa ada beban sebab motor akan mempercepat tanpa terkendali.

MOTOR AC

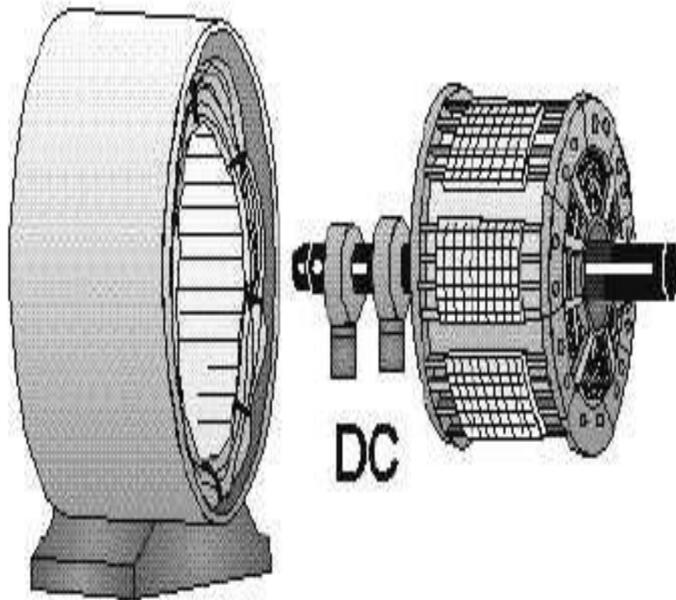
- Motor arus bolak-balik menggunakan arus listrik yang membalikkan arahnya secara teratur
- pada rentang waktu tertentu. Motor listrik memiliki dua buah bagian dasar listrik: "stator" dan "rotor" .
- Stator merupakan komponen listrik statis.
- Rotor merupakan komponen listrik berputar untuk memutar as motor.
- Keuntungan utama motor DC terhadap motor AC adalah bahwa kecepatan motor AC lebih sulit dikendalikan. Untuk mengatasi kerugian ini, motor AC dapat dilengkapi dengan penggerak frekwensi variabel untuk meningkatkan kendali kecepatan sekaligus menurunkan dayanya.
- Motor induksi merupakan motor yang paling populer di industri karena kehandalannya dan lebih mudah perawatannya. Motor induksi AC cukup murah (harganya setengah atau kurang dari harga sebuah motor DC) dan juga memberikan rasio daya terhadap berat yang cukup tinggi (sekitar dua kali motor DC).

MOTOR SINKRON

- **Motor sinkron**
- Motor sinkron adalah motor AC, bekerja pada kecepatan tetap pada sistem frekwensi tertentu.
- Motor ini memerlukan arus searah (DC) untuk pembangkitan daya dan memiliki *torque awal* yang rendah, dan oleh karena itu motor sinkron cocok untuk penggunaan awal dengan beban rendah, seperti kompresor udara, perubahan frekwensi dan generator motor.
- Motor sinkron mampu untuk memperbaiki faktor daya sistim, sehingga sering digunakan pada sistim yang menggunakan banyak listrik.

- Komponen utama motor sinkron adalah :
- **Rotor.** Perbedaan utama antara motor sinkron dengan motor induksi adalah bahwa rotor mesin sinkron berjalan pada kecepatan yang sama dengan perputaran medan magnet.
- Hal ini memungkinkan sebab medan magnet rotor tidak lagi terinduksi. Rotor memiliki magnet permanen atau arus DC-excited, yang dipaksa untuk mengunci pada posisi tertentu bila dihadapkan dengan medan magnet lainnya.
- **Stator.** Stator menghasilkan medan magnet berputar yang sebanding dengan frekwensi yang dipasok.

MOTOR SINKRON



□ Kecepatan Motor Sinkron :

□ $N_s = 120f/P$

f : frekuensi

P : jumlah kutub

MOTOR INDUKSI

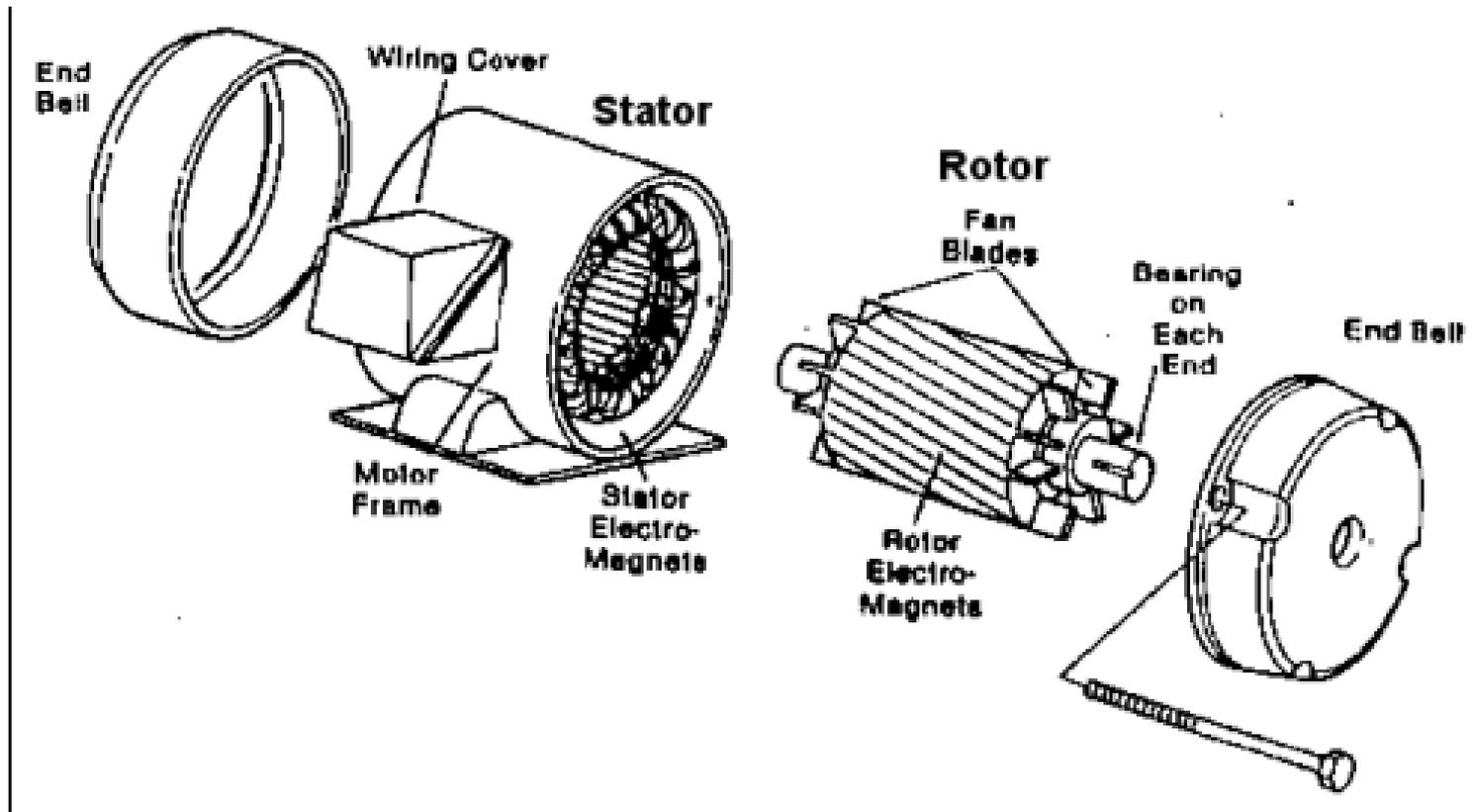
- Motor induksi merupakan motor yang paling umum digunakan pada berbagai peralatan industri. Popularitasnya karena rancangannya yang sederhana, murah dan mudah didapat, dan dapat langsung disambungkan ke sumber daya AC
- *a. Komponen*
 - Motor induksi memiliki dua komponen listrik utama
 - Rotor. Motor induksi menggunakan dua jenis rotor:
 - - Rotor kandang tupai terdiri dari batang penghantar tebal yang dilekatkan dalam petak-petak *slots paralel*. *Batang-batang tersebut diberi hubungan pendek pada kedua ujungnya dengan alat cincin hubungan pendek.*

MOTOR INDUKSI

- Lingkaran rotor yang memiliki gulungan tiga fase, lapisan ganda dan terdistribusi. Dibuat melingkar sebanyak kutub stator. Tiga fase digulungi kawat pada bagian dalamnya dan ujung yang lainnya dihubungkan ke cincin kecil yang dipasang pada batang as dengan sikat yang menempel padanya.

Stator. Stator dibuat dari sejumlah *stampings* dengan *slots* untuk membawa gulungan tiga fase. Gulungan ini dilingkarkan untuk sejumlah kutub yang tertentu. Gulungan diberi spasi geometri sebesar 120 derajat

MOTOR INDUKSI



Klasifikasi Motor Induksi

Motor induksi dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama :

- Motor induksi satu fase. Motor ini hanya memiliki satu gulungan *stator*, beroperasi dengan pasokan daya satu fase, memiliki sebuah rotor kandang tupai, dan memerlukan sebuah alat untuk menghidupkan motornya. Sejauh ini motor ini merupakan jenis motor yang paling umum digunakan dalam peralatan rumah tangga, seperti fan angin, mesin cuci dan pengering pakaian, dan untuk penggunaan hingga 3 - 4 Hp.

Klasifikasi Motor Induksi

- Motor induksi tiga fase.

Medan magnet yang berputar dihasilkan oleh pasokan tiga fase yang seimbang. Motor tersebut memiliki kemampuan daya yang tinggi, dapat memiliki kandang tupai atau gulungan rotor (walaupun 90% memiliki rotor kandang tupai); dan penyalaan sendiri. Diperkirakan bahwa sekitar 70% motor di industri menggunakan jenis ini, sebagai contoh, pompa, kompresor, *belt conveyor*, *jaringan listrik*, dan *grinder*. Tersedia dalam ukuran 1/3 hingga ratusan Hp.

Kecepatan Motor Induksi

- Motor induksi bekerja sebagai berikut. Listrik dipasok ke stator yang akan menghasilkan medan magnet. Medan magnet ini bergerak dengan kecepatan sinkron disekitar rotor. Arus rotor menghasilkan medan magnet kedua, yang berusaha untuk melawan medan magnet stator, yang menyebabkan rotor berputar.
- Walaupun begitu, didalam prakteknya motor tidak pernah bekerja pada kecepatan sinkron namun pada “kecepatan dasar” yang lebih rendah. Terjadinya perbedaan antara dua kecepatan tersebut disebabkan adanya “*slip/geseran*” yang *meningkat dengan meningkatnya beban*. *Slip* hanya terjadi pada motor induksi.

Kecepatan Motor Induksi

- Untuk menghindari slip dapat dipasang sebuah cincin geser/ *slip ring*, dan motor tersebut dinamakan “*motor cincin geser/ slip ring motor*”.
- Persamaan berikut dapat digunakan untuk menghitung persentase *slip/geseran* :

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

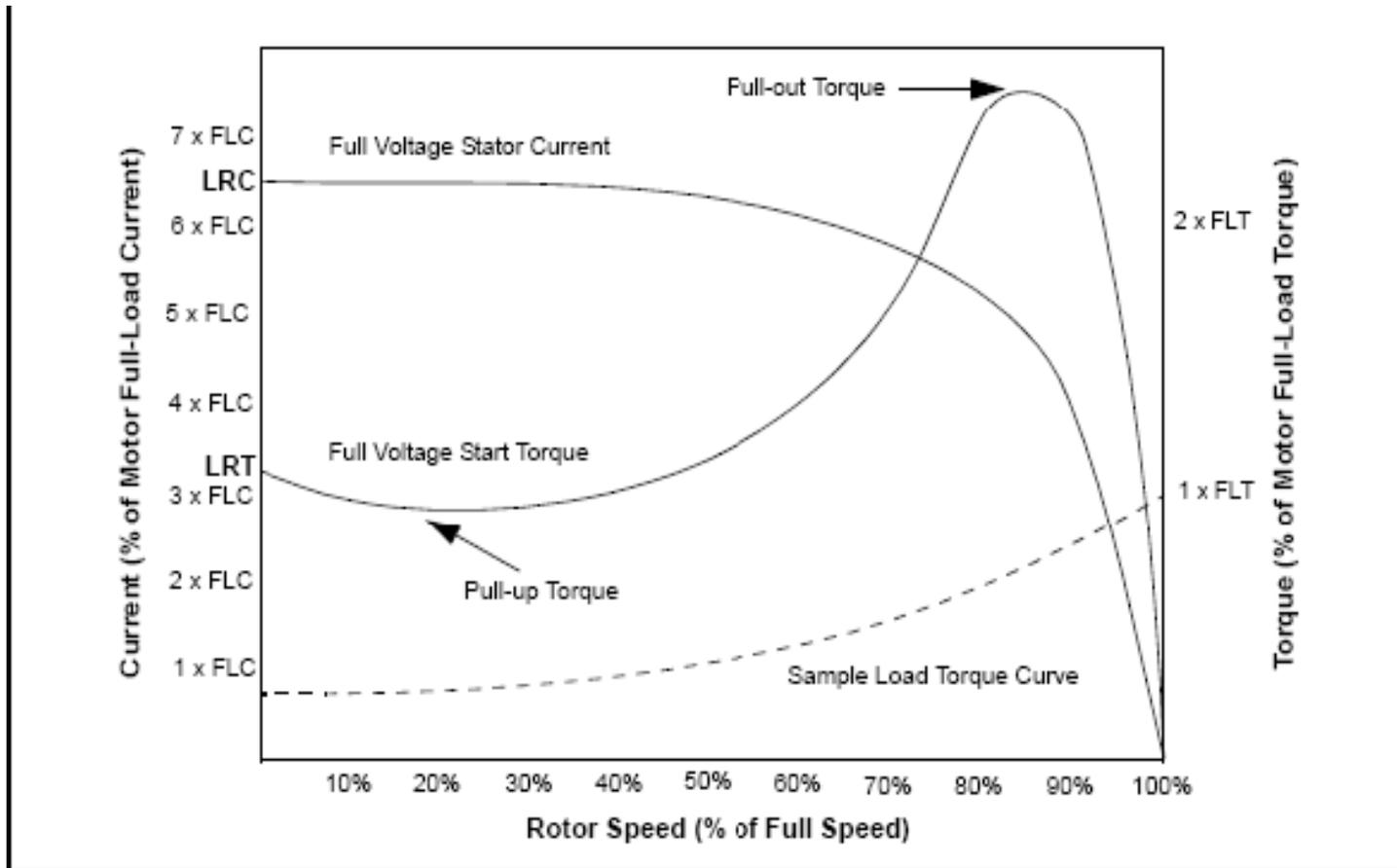
N_s : Kec. Stator (rpm)

N_r : Kec. Rotor (rpm)

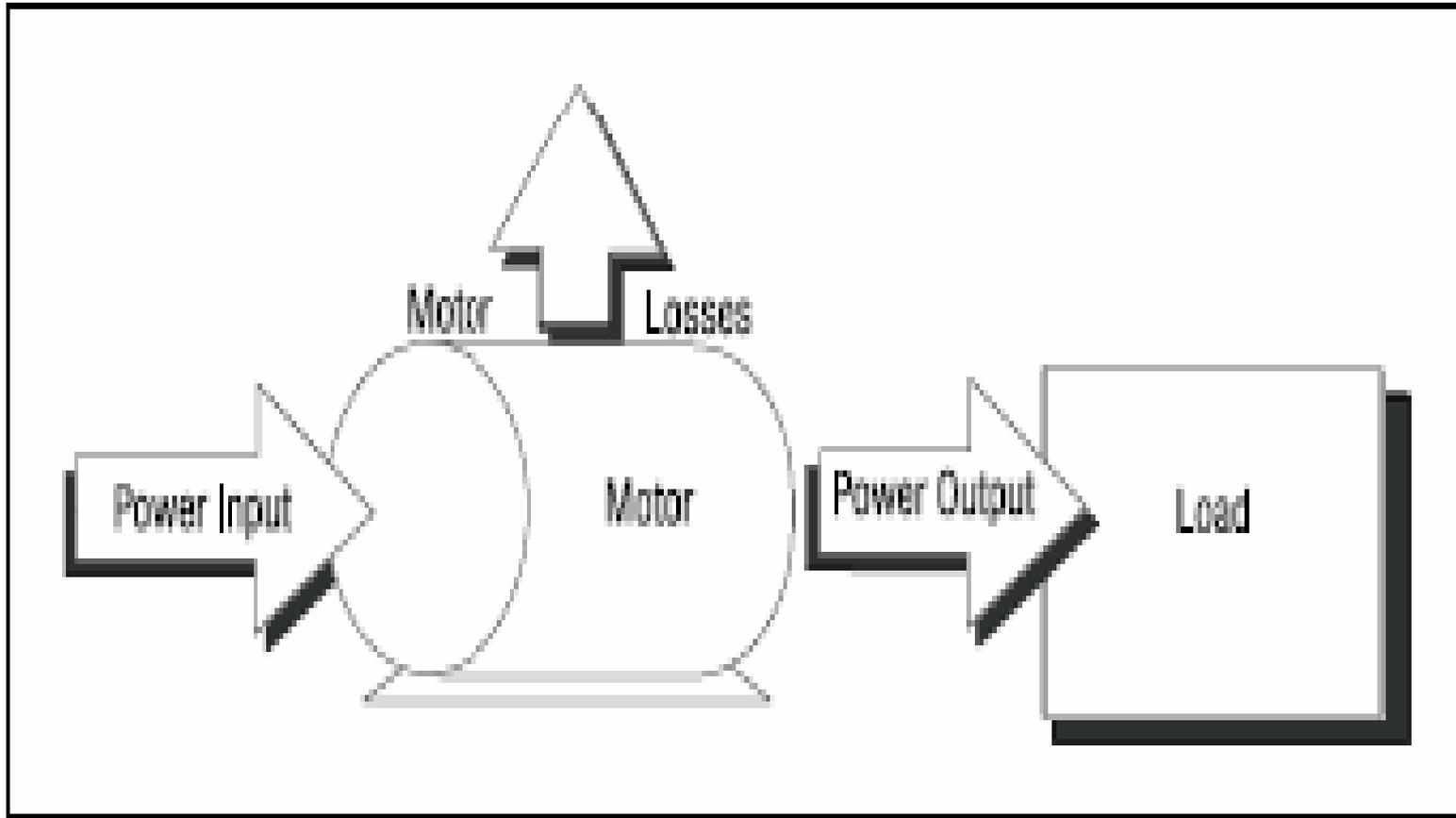
HUBUNGAN ANTARA BEBAN, KECEPATAN DAN TORQUE

- Gambar dibawah menunjukkan grafik *torque-kecepatan motor induksi AC tiga fase dengan arus yang sudah ditetapkan*. Bila motor :
- Mulai menyala ternyata terdapat arus nyala awal yang tinggi dan *torque yang rendah (“pull-up torque”)*.
- Mencapai 80% kecepatan penuh, *torque berada pada tingkat tertinggi (“pull-out torque”)* dan arus mulai turun.
- Pada kecepatan penuh, atau kecepatan sinkron, arus *torque dan stator turun ke nol*.

Grafik Torque Kec. Motor Induksi AC 3 fase



EFISIENSI MOTOR LISTRIK



EFISIENSI MOTOR LISTRIK

- Motor mengubah energi listrik menjadi energi mekanik untuk melayani beban tertentu. Pada proses ini, kehilangan energi ditunjukkan dalam Gambar diatas.
- Efisiensi motor ditentukan oleh kehilangan dasar yang dapat dikurangi hanya oleh perubahan pada rancangan motor dan kondisi operasi.
- Kehilangan dapat bervariasi dari kurang lebih 2-20 %.

EFISIENSI MOTOR LISTRIK

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

EFISIENSI MOTOR LISTRIK

- Efisiensi motor dapat didefinisikan sebagai “perbandingan keluaran daya motor yang digunakan terhadap keluaran daya totalnya.”

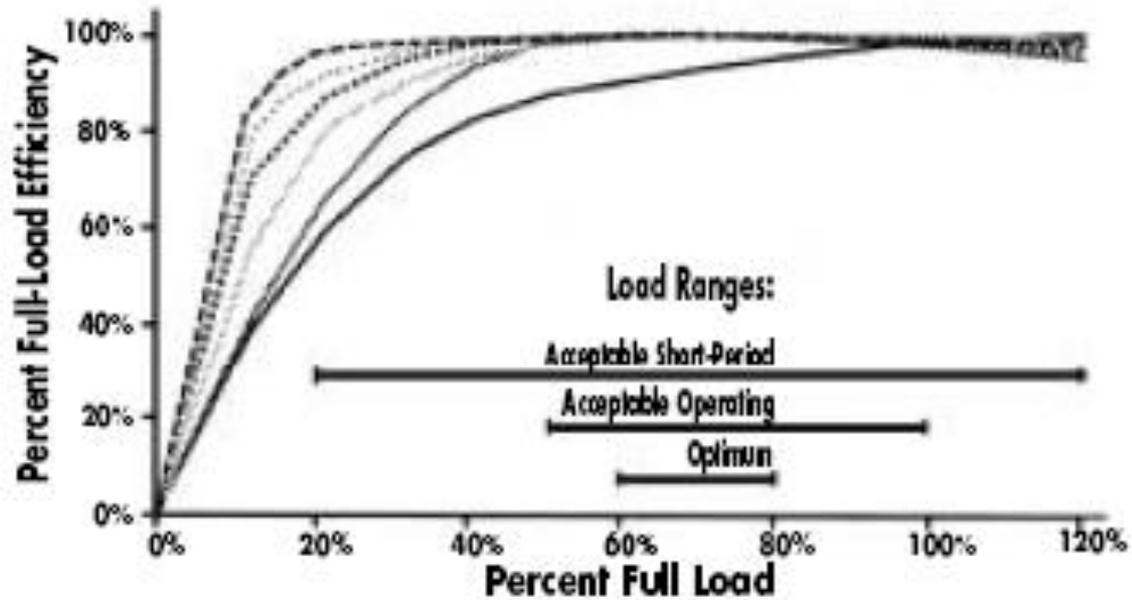
Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi adalah:

- Usia. Motor baru lebih efisien.
- Kapastas. Sebagaimana pada hampir kebanyakan peralatan, efisiensi motor meningkat dengan laju kapasitasnya.
- Kecepatan. Motor dengan kecepatan yang lebih tinggi biasanya lebih efisien.
- Jenis. Sebagai contoh, motor kandang tupai biasanya lebih efisien daripada motor cincin geser
- Suhu. Motor yang didinginkan oleh fan dan tertutup total (TEFC) lebih efisien daripada motor *screen protected drip-proof (SPDP)*

EFISIENSI MOTOR LISTRIK

- Penggulungan ulang motor dapat mengakibatkan penurunan efisiensi
- Beban, seperti yang dijelaskan dibawah
- Terdapat hubungan yang jelas antara efisiensi motor dan beban. Pabrik motor membuat rancangan motor untuk beroperasi pada beban 50-100% dan akan paling efisien pada beban 75%. Tetapi, jika beban turun dibawah 50% efisiensi turun dengan cepat seperti ditunjukkan pada Gambar berikut. Mengoperasikan motor dibawah laju beban 50% memiliki dampak pada faktor dayanya.
- Efisiensi motor yang tinggi dan faktor daya yang mendekati 1 sangat diinginkan untuk operasi yang efisien dan untuk menjaga biaya rendah untuk seluruh pabrik,tidak hanya untuk motor.

Grafik Efisiensi Motor



| | | |
|----------|----------|-----------|
| 0-1 hp | 10 hp | 30-60 hp |
| 1.5-5 hp | 15-25 hp | 75-100 hp |

BEBAN MOTOR

- Karena sulit untuk mengkaji efisiensi motor pada kondisi operasi yang normal, beban motor dapat diukur sebagai indikator efisiensi motor.
- Dengan meningkatnya beban, faktor daya dan efisiensi motor bertambah sampai nilai optimumnya pada sekitar beban penuh.

Bagaimana mengkaji Beban Motor

- Persamaan Untuk menentukan beban :

$$\text{Beban} = \frac{P_i \eta}{HP \times 0,7457}$$

- P_i = daya tiga fase (kW)
- η = efisiensi operasi motor (%)
- HP = name palet untuk HP
- Beban = daya yg keluar sebagai % dari laju daya

Beban Motor

- Survei beban motor dilakukan untuk mengukur beban operasi berbagai motor di seluruh pabrik. Hasilnya digunakan untuk mengidentifikasi motor yang terlalu kecil. (mengakibatkan motor terbakar) atau terlalu besar (mengakibatkan ketidak efisiensi). US DOE merekomendasikan untuk melakukan survei beban motor yang beroperasi lebih dari 1000 jam per tahun.

Menentukan beban Motor

- Terdapat tiga metode untuk menentukan beban motor bagi motor yang beroperasi secara individu:
- **Pengukuran daya masuk. Metode ini menghitung beban sebagai perbandingan antara** daya masuk (diukur dengan alat analisis daya) dan nilai daya pada pembebanan 100%.
- **Pengukurann jalur arus. Beban ditentukan dengan membandingkan amper terukur** (diukur dengan alat analisis daya) dengan laju amper. Metode ini digunakan bila faktor daya tidak diketahui dan hanya nilai amper yang tersedia. Juga direkomendasikan untuk menggunakan metode ini bila persen pembebanan kurang dari 50%

Menentukan beban Motor

- **Metode Slip. Beban ditentukan dengan membandingkan slip yang terukur bila motor beroperasi dengan slip untuk motor dengan beban penuh.**
- Ketelitian metode ini terbatas namun dapat dilakukan dengan hanya penggunaan *tachometer* (*tidak diperlukan alat analisis daya*).

Pengukuran Daya Masuk

- Beban diukur dalam 3 tahap
- 1. Menentukan daya masuk dgn Persamaan :

$$P_i = \frac{V \times I \times P_f \times 1,73}{1000}$$

- P_i : daya tiga fasae (kW)
- V : Rms Tegangan (volt)
- I : Rms arus (ampere)
- P_f : faktor daya

Menentukan beban Motor

- Tahap 2. Menentukan nilai daya dengan mengambil nilai pelat nama/nameplate atau dengan menggunakan persamaan sbb:

$$Pr = hp \frac{0,7457}{\eta r}$$

- Pr : daya masuk pada beban penuh (kW)
- Hp : Nilai Horse power
- nr : Efisiensi pada bebab penuh

Menentukan beban Motor

Tahap 3, menentukan beban , dengan persamaan :

$$\text{Beban} = \frac{P_i}{P_r} \times 100\%$$

- P_i : daya 3 fase terukur (kW)
- P_r : daya masuk pada beban penuh (kW)
- Beban : daya keluaran (%)