

# MOTOR LISTRIK

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 1. PENDAHULUAN.....               | 1  |
| 2. JENIS MOTOR LISTRIK .....      | 2  |
| 3. PENGKAJIAN MOTOR LISTRIK.....  | 10 |
| 4. PELUANG EFISIENSI ENERGI ..... | 14 |
| 5. DAFAR PERIKSA OPSI .....       | 22 |
| 6. LEMBAR KERJA.....              | 23 |
| 7. REFERENSI.....                 | 25 |

## 1. PENDAHULUAN

Bagian ini menggambarkan ciri-ciri utama motor listrik.

### 1.1 Dimana motor digunakan

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 bahan, 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.

### 1.2 Bagaimana sebuah motor bekerja

Mekanisme kerja untuk seluruh jenis motor secara umum sama (Gambar 1):

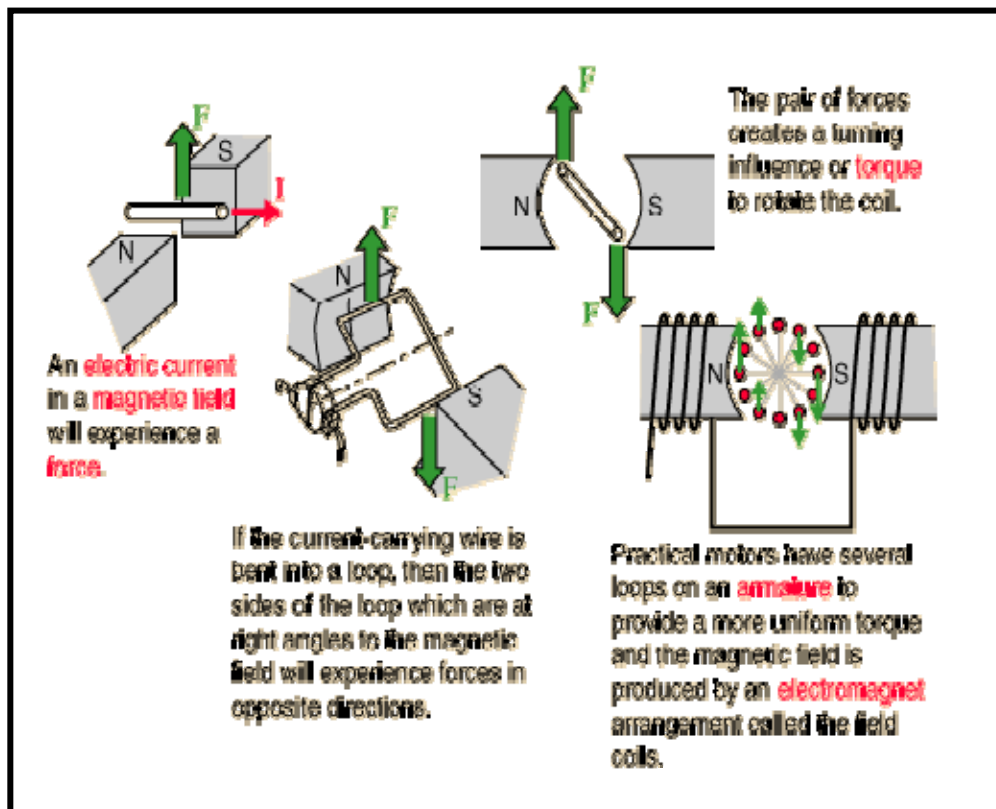
- Arus listrik dalam medan magnet akan memberikan gaya
- Jika kawat yang membawa arus dibengkokkan menjadi sebuah lingkaran/*loop*, maka kedua sisi *loop*, yaitu pada sudut kanan medan magnet, akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan.
- Pasangan gaya menghasilkan tenaga putar/ *torque* untuk memutar 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.

Dalam memahami sebuah motor, penting untuk mengerti apa yang dimaksud dengan beban motor. Beban mengacu kepada keluaran tenaga putar/ *torque* sesuai dengan kecepatan yang diperlukan. Beban umumnya dapat dikategorikan kedalam tiga kelompok (BEE India, 2004):

- **Beban torque konstan** adalah beban dimana permintaan keluaran energinya bervariasi dengan kecepatan operasinya namun *torque* nya tidak bervariasi. Contoh beban dengan *torque* konstan adalah *conveyors*, *rotary kilns*, dan pompa *displacement* konstan.
- **Beban dengan variabel torque** adalah beban dengan *torque* yang bervariasi dengan kecepatan operasi. Contoh beban dengan variabel *torque* adalah pompa sentrifugal dan fan (*torque* bervariasi sebagai kwadrat kecepatan).

- **Beban dengan energi konstan** adalah beban dengan permintaan *torque* yang berubah dan berbanding terbalik dengan kecepatan. Contoh untuk beban dengan daya konstan adalah peralatan-peralatan mesin.

Komponen motor listrik bervariasi untuk berbagai jenis motor, dalam bab 2 dijelaskan untuk masing-masing motor.

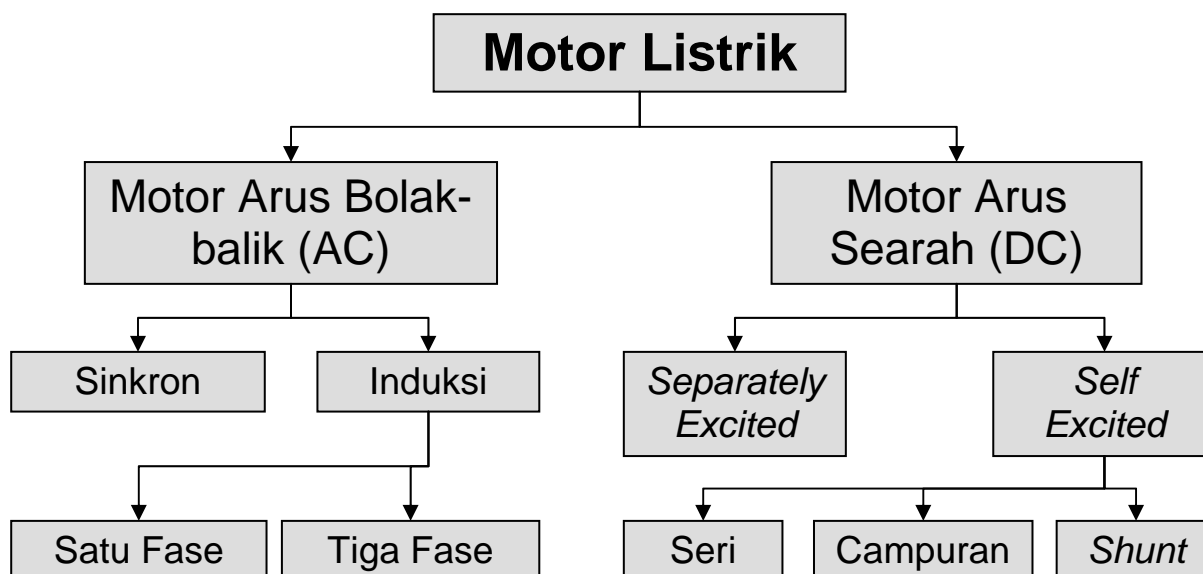


Gambar 1. Prinsip Dasar dari Kerja Motor Listrik (Nave, 2005)

## 2. JENIS MOTOR LISTRIK

Bagian ini menjelaskan tentang dua jenis utama motor listrik: DC dan motor. Daftar para pemasok motor listrik tersedia di [www.directindustry.com/find/electric-motor.html](http://www.directindustry.com/find/electric-motor.html).

Gambar 3 memperlihatkan motor listrik yang paling umum. Motor tersebut dikategorikan berdasarkan pasokan *input*, konstruksi, dan mekanisme operasi, dan dijelaskan lebih lanjut dibawah ini.



Gambar 2. Klasifikasi Jenis Utama Motor Listrik

## 2.1 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.

Gambar 3 memperlihatkan sebuah motor DC yang memiliki tiga komponen utama:<sup>1</sup>

- **Kutub medan.** Secara sederhana digambarkan bahwa interaksi dua kutub magnet akan menyebabkan perputaran pada motor DC. Motor DC memiliki kutub medan yang stasioner dan dinamo yang menggerakkan *bearing* pada ruang diantara 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.

<sup>1</sup> Diambil dari *Komponen Motor Listrik* dengan ijin dari Biro Efisiensi Energi India, 2005.



**Gambar 3. Sebuah motor DC**  
(Direct Industry, 2005)

Keuntungan utama motor DC adalah sebagai pengendali kecepatan, yang tidak mempengaruhi kualitas pasokan daya. Motor ini dapat dikendalikan dengan mengatur:

- Tegangan dinamo – meningkatkan tegangan dinamo 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.

Hubungan antara kecepatan, flux medan dan tegangan dinamo ditunjukkan dalam persamaan berikut:

$$\text{Gaya elektromagnetik: } E = K\Phi N$$

$$\text{Torque: } T = K\Phi I_a$$

Dimana:

E = gaya elektromagnetik yang dikembangkan pada terminal dinamo (volt)

$\Phi$  = flux medan yang berbanding lurus dengan arus medan

N = kecepatan dalam RPM (putaran per menit)

T = *torque* elektromagnetik

$I_a$  = arus dinamo

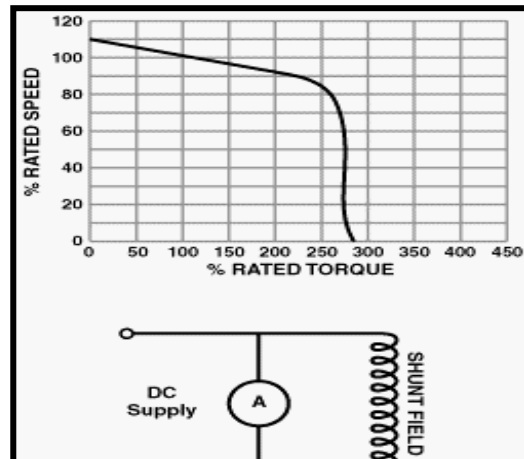
K = konstanta persamaan

### **2.1.1 Motor DC sumber daya terpisah/ *Separately Excited***

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

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

Pada motor *shunt*, gulungan medan (medan *shunt*) disambungkan secara paralel dengan gulungan dinamo (A) seperti diperlihatkan dalam gambar 4. Oleh karena itu total arus dalam jalur merupakan penjumlahan arus medan dan arus dinamo.



**Gambar 4: Karakteristik Motor DC Shunt**  
(Rodwell International Corporation, 1999)

Berikut tentang kecepatan motor *shunt* (E.T.E., 1997):

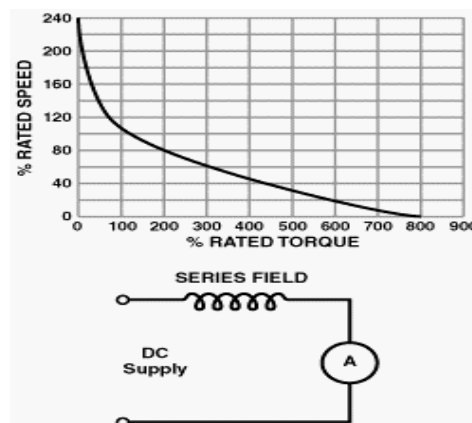
- Kecepatan pada prakteknya konstan tidak tergantung pada beban (hingga *torque* tertentu setelah kecepatannya berkurang, lihat Gambar 4) dan oleh karena itu cocok untuk penggunaan komersial dengan beban awal yang rendah, seperti peralatan mesin.
- Kecepatan dapat dikendalikan dengan cara memasang tahanan dalam susunan seri dengan dinamo (kecepatan berkurang) atau dengan memasang tahanan pada arus medan (kecepatan bertambah).

### 2.1.3 Motor DC daya sendiri: motor seri

Dalam motor seri, gulungan medan (medan *shunt*) dihubungkan secara seri dengan gulungan dinamo (A) seperti ditunjukkan dalam gambar 5. 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.

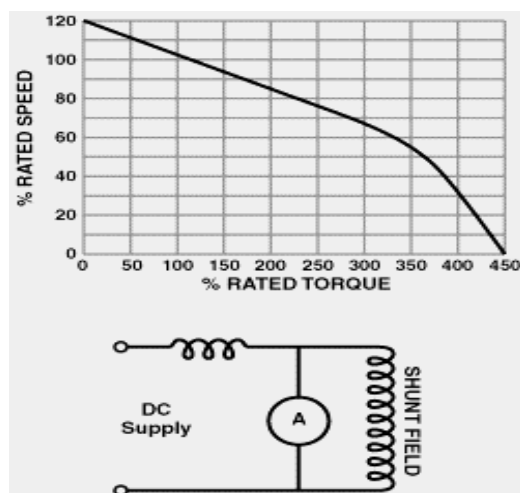
Motor-motor seri cocok untuk penggunaan yang memerlukan *torque* penyalan awal yang tinggi, seperti derek dan alat pengangkat *hoist* (lihat Gambar 5).



**Gambar 5: Karakteristik Motor Seri DC**  
(Rodwell International Corporation, 1999)

### 2.1.4 Motor DC Kompon/Gabungan

Motor Kompon DC merupakan gabungan motor seri dan *shunt*. Pada motor kompon, gulungan medan (medan *shunt*) dihubungkan secara paralel dan seri dengan gulungan dinamo (A) seperti yang ditunjukkan dalam gambar 6. Sehingga, motor kompon memiliki *torque* penyalan awal yang bagus dan kecepatan yang stabil. Makin tinggi persentase penggabungan (yakni persentase gulungan medan yang dihubungkan secara seri), makin tinggi pula *torque* penyalan awal yang dapat ditangani oleh motor ini. Contoh, penggabungan 40-50% menjadikan motor ini cocok untuk alat pengangkat *hoist* dan derek, sedangkan motor kompon yang standar (12%) tidak cocok (myElectrical, 2005).



**Gambar 6: Karakteristik Motor Kompon DC**  
(Rodwell International Corporation, 1999)

## 2.2 Motor

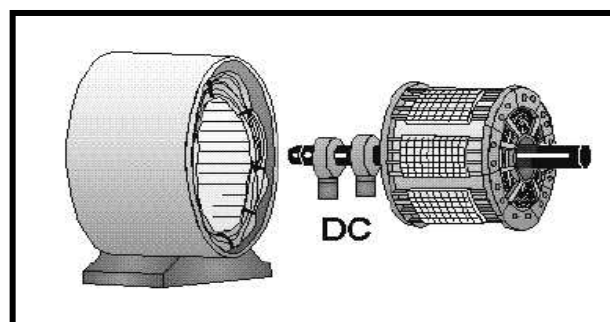
## AC

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" seperti ditunjukkan dalam Gambar 7. 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).

### 2.2.1 Motor sinkron

Motor sinkron adalah motor AC, bekerja pada kecepatan tetap pada sistim 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.



**Gambar 7. Motor Sinkron**  
(Integrated Publishing, 2003)

Komponen utama motor sinkron adalah (Gambar 7):<sup>2</sup>

- **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 ini berputar pada kecepatan sinkron, yang diberikan oleh persamaan berikut (Parekh, 2003):

$$N_s = 120 f / P$$

Dimana:

f = frekwensi dari pasokan frekwensi

P = jumlah kutub

### 2.2.2 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.<sup>3</sup>

#### a. Komponen

Motor induksi memiliki dua komponen listrik utama (Gambar 8):<sup>4</sup>

- **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.
  - Lingkaran rotor yang memiliki gulungan tiga fase, lapisan ganda dan terdistribusi. Dibuat melingkar sebanyak kutub stator. Tiga fase digulungi kawat pada bagian

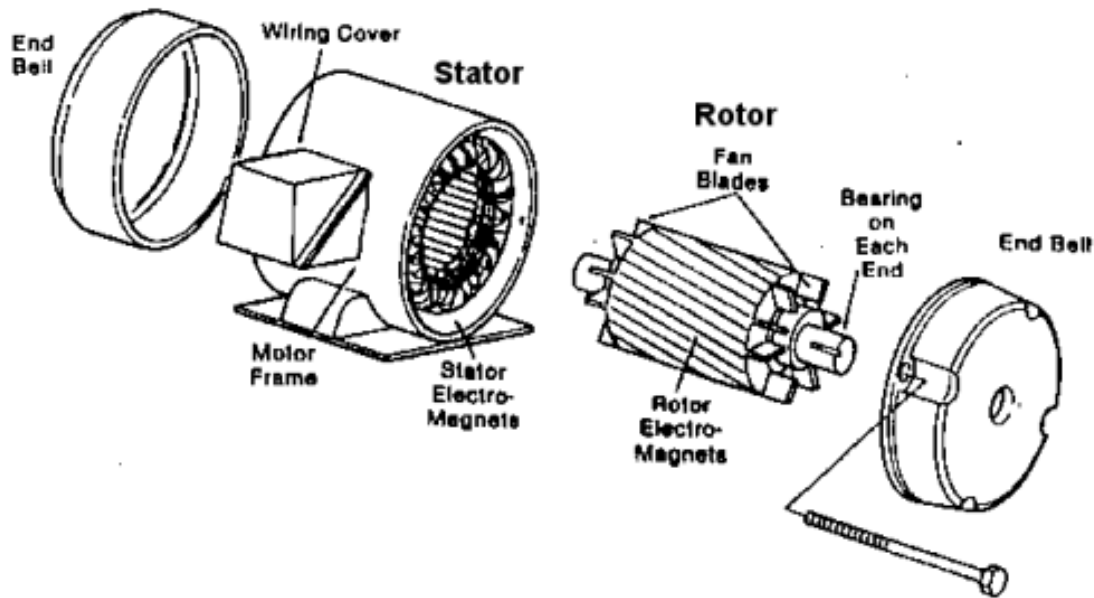
<sup>2</sup> Diambil dari *Komponen Motor Listrik* dengan ijin dari Biro Efisiensi Energi India, 2005.

<sup>3</sup> Untuk informasi lebih rinci pada induksi motor direkomendasikan untuk membaca *Dasar-dasar Motor Induksi* oleh Parekh (2003)

<sup>4</sup> Diambil dari *Komponen Motor Listrik* dengan ijin dari Biro Efisiensi Energi India, 2005.

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



**Gambar 8. Motor Induksi** (Automated Buildings)

c.

#### **Klasifikasi motor induksi**

Motor induksi dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama (Parekh, 2003):

- 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 sampai 4 Hp.
- 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.

#### **d. 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. 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 (Parekh, 2003):

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

Dimana:

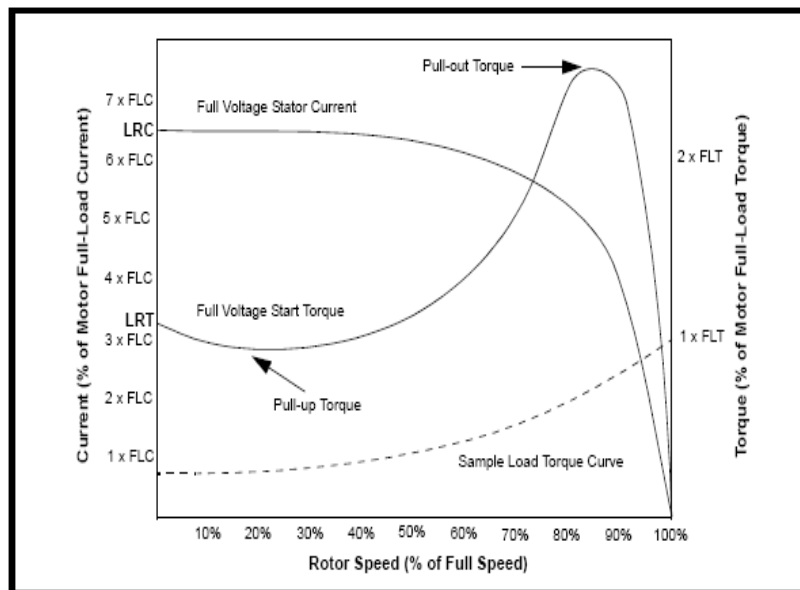
$N_s$  = kecepatan sinkron dalam RPM

$N_b$  = kecepatan dasar dalam RPM

**e. Hubungan antara beban, kecepatan dan torque**

Gambar 9 menunjukkan grafik *torque*-kecepatan motor induksi AC tiga fase dengan arus yang sudah ditetapkan. Bila motor (Parekh, 2003):

- 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.



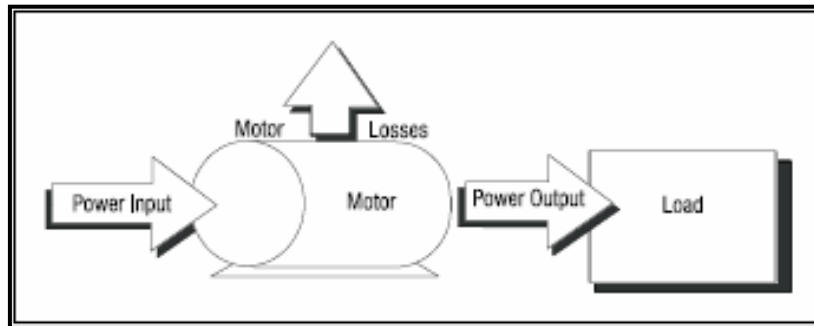
**Gambar 9. Grafik *Torque*-Kecepatan Motor Induksi AC 3-Fase (Parekh, 2003)**

### 3. PENGKAJIAN MOTOR LISTRIK

Bagian ini menjelaskan tentang bagaimana mengkaji kinerja motor listrik.<sup>5</sup>

#### 3.1 Efisiensi motor listrik

Motor mengubah energi listrik menjadi energi mekanik untuk melayani beban tertentu. Pada proses ini, kehilangan energi ditunjukkan dalam Gambar 11.



Gambar 10 • Kehilangan Motor (US DOE)

Efisiensi motor ditentukan oleh kehilangan dasar yang dapat dikurangi hanya oleh perubahan pada rancangan motor dan kondisi operasi. Kehilangan dapat bervariasi dari kurang lebih dua persen hingga 20 persen. Tabel 1 memperlihatkan jenis kehilangan untuk motor induksi.

Tabel 1. Jenis Kehilangan pada Motor Induksi (BEE India, 2004)

| 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                                  |

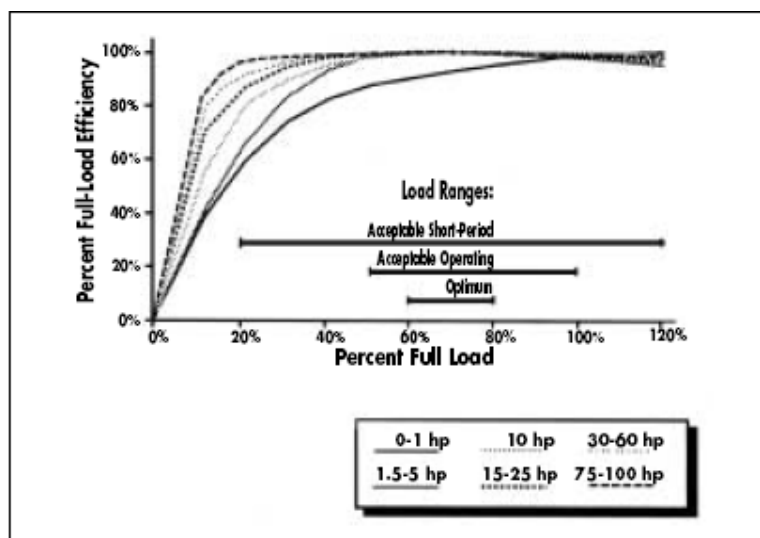
Efisiensi motor dapat didefinisikan sebagai “perbandingan keluaran daya motor yang dirgunakan terhadap keluaran daya totalnya.”

Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi adalah:

- Usia. Motor baru lebih efisien.
- Kapasitas. 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)

- 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 11. 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.



**Gambar 11. Efisiensi Motor Beban Sebagian (sebagai fungsi dari % efisiensi beban penuh) (US DOE)**

Untuk alasan ini maka dalam mengkaji kinerja motor akan bermanfaat bila menentukan beban dan efisiensinya. Pada hampir kebanyakan negara, merupakan persyaratan bagi pihak pembuat untuk menuliskan efisiensi beban penuh pada pelat label motor. Namun demikian, bila motor beroperasi untuk waktu yang cukup lama, kadang-kadang tidak mungkin untuk mengetahui efisiensi tersebut sebab pelat label motor kadangkala sudah hilang atau sudah dicat.

Untuk mengukur efisiensi motor, maka motor harus dilepaskan sambungannya dari beban dan dibiarkan untuk melalui serangkaian uji. Hasil dari uji tersebut kemudian dibandingkan dengan grafik kinerja standar yang diberikan oleh pembuatnya.

Jika tidak memungkinkan untuk memutuskan sambungan motor dari beban, perkiraan nilai efisiensi didapat dari tabel khusus untuk nilai efisiensi motor. Lembar fakta dari US DOE ([www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/10097517.pdf](http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/10097517.pdf)) memberikan tabel dengan nilai efisiensi motor untuk motor standar yang dapat digunakan jika pabrik pembuatnya tidak menyediakan data ini. Nilai efisiensi disediakan untuk:

- Motor dengan efisiensi standar 900, 1200, 1800 dan 3600 rpm
- Motor yang berukuran antara 10 hingga 300 HP
- Dua jenis motor: motor anti menetes terbuka/ *open drip-proof* (ODP) dan motor yang didinginkan oleh fan dan tertutup total/ *enclosed fan-cooled motor* (TEFC)
- Tingkat beban 25%, 50%, 75% dan 100%.

Lembar fakta juga menjelaskan tiga kategori metode yang lebih canggih untuk mengkaji efisiensi motor: peralatan khusus, metode perangkat lunak, dan metode analisis.

Dengan kata lain, survei terhadap motor dapat dilakukan untuk menentukan beban, yang juga memberi indikasi kinerja motor. Hal ini diterangkan dalam bagian berikut.

## 3.2 Beban motor

### 3.2.1 Mengapa mengkaji 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.

### 3.2.2 Bagaimana mengkaji beban motor

Persamaan berikut digunakan untuk menentukan beban:

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

Dimana,

- $\eta$  = Efisiensi operasi motor dalam %
- HP = Nameplate untuk Hp
- Beban = Daya yang keluar sebagai % laju daya
- $P_i$  = Daya tiga fase dalam kW

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 efisienan). US DOE merekomendasikan untuk melakukan survei beban motor yang beroperasi lebih dari 1000 jam per tahun.

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%
- **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).

Karena pengukuran daya masuk merupakan metode yang paling umum digunakan, maka hanya metode ini yang dijelaskan untuk motor tiga fase.

### 3.2.3 Pengukuran daya masuk

Beban diukur dalam tiga tahap.

**Tahap 1.** Menentukan daya masuk dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P_i = \frac{V \times I \times PF \times \sqrt{3}}{1000}$$

Dimana,

- P<sub>i</sub> = Daya tiga fase dalam kW
- V = RMS (akar kwadrat rata-rata) tegangan, nilai tengah garis ke garis 3 fase
- I = RMS arus, nilai tengah 3 fase
- PF = Faktor daya dalam desimal

Alat analisis daya dapat mengukur nilai daya secara langsung. Industri yang tidak memiliki alat analisis daya dapat menggunakan *multi-meters* atau *tong-testers* untuk mengukur tegangan, arus dan faktor daya untuk menghitung daya yang masuk.

**Tahap 2.** Menentukan nilai daya dengan mengambil nilai pelat nama/*nameplate* atau dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_r = hp \times \frac{0.7457}{\eta_r}$$

Dimana,

- P<sub>r</sub> = Daya masuk pada beban penuh dalam kW
- HP = Nilai Hp pada *nameplate*
- η<sub>r</sub> = Efisiensi pada beban penuh (nilai pada *nameplate* atau dari tabel efisiensi motor)

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

Dimana,

- Beban = Daya keluar yang dinyatakan dalam % nilai daya
- P<sub>i</sub> = Daya tiga fase terukur dalam kW
- P<sub>r</sub> = Daya masuk pada beban penuh dalam kW

### 3.2.4 Contoh

**Pertanyaan:**

Pengamatan terhadap pengukuran daya berikut dilakukan untuk motor induksi tiga fase 45 kW dengan efisiensi beban penuh 88%.

- V = 418 Volt
- I = 37 Amp
- PF = 0.81

Hitung beban.

**Jawab:**

- Daya Masuk = (1,732 x 418 x 37 x 0,81)/1000 = 21,70 kW
- % Pembebanan = [21,70 / (45/0,88)] x 100 = 42,44 %

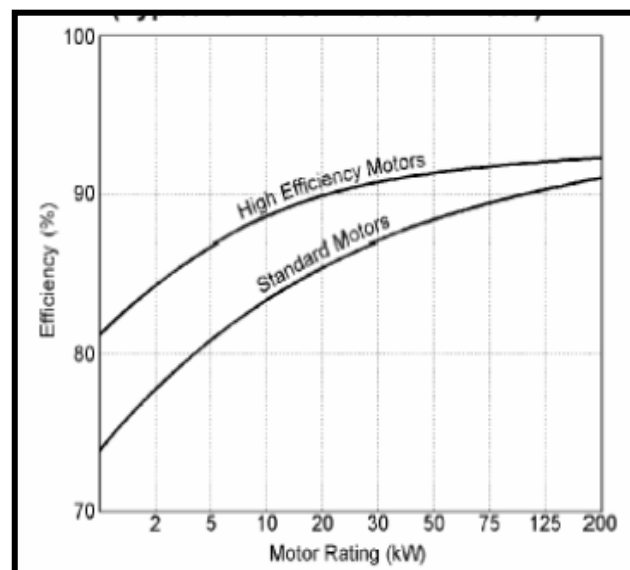
## 4. PELUANG EFISIENSI ENERGI

Bagian ini menjelaskan faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja motor listrik.<sup>6</sup>

### 4.1 Mengganti motor standar dengan motor yang energinya efisien

Motor yang berefisiensi tinggi dirancang khusus untuk meningkatkan efisiensi energi dibanding dengan motor standar. Perbaikan desain difokuskan pada penurunan kehilangan mendasar dari motor termasuk penggunaan baja silikon dengan tingkat kehilangan yang rendah, inti yang lebih panjang (untuk meningkatkan bahan aktif), kawat yang lebih tebal (untuk menurunkan tahanan), laminasi yang lebih tipis, celah udara antara stator dan rotor yang lebih tipis, batang baja pada rotor sebagai pengganti aluminium, *bearing* yang lebih bagus dan fan yang lebih kecil, dll.

Motor dengan energi yang efisien mencakup kisaran kecepatan dan beban penuh yang luas. Efisiensinya 3% hingga 7% lebih tinggi dibanding dengan motor standar sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 12. Tabel 2 menggambarkan peluang perbaikan yang sering digunakan pada perancangan motor yang efisien energinya.



**Gambar12. Perbandingan antara motor yang berefisiensi tinggi dengan motor standar (Biro Standar Indian)**

Sebagai hasil dari modifikasi untuk meningkatkan kinerja, biaya untuk motor yang energinya efisien lebih besar daripada biaya untuk motor standar. Biaya yang lebih tinggi seringkali akan terbayar kembali dengan cepat melalui penurunan biaya operasi, terutama pada penggunaan baru atau pada penggantian motor yang masa pakainya sudah habis. Akan tetapi untuk penggantian motor yang ada yang belum habis masa pakainya dengan motor yang efisien energinya, tidak selalu layak secara finansial, oleh karena itu direkomendasikan untuk

<sup>6</sup> Bagian 4 diambil (dengan mengedit) dari *Energy Efficiency in Electrical Utilities*, 2004, dengan izin dari Biro Efisiensi Energi, India

mengganti dengan motor yang efisien energinya hanya jika motor-motor tersebut sudah rusak.

**Tabel 2. Area Perbaikan Efisiensi yang digunakan pada Motor yang Efisien Energinya (BEE India, 2004)**

| Area Kehilangan Energi              | Peningkatan Efisiensi   |
|-------------------------------------|---|
| 1. Besi                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Digunakan <i>gauge</i> yang lebih tipis sebab kehilangan inti baja yang lebih rendah menurunkan kehilangan arus eddy.</li> <li>▪ Inti lebih panjang yang dirancang menggunakan baja akan mengurangi kehilangan karena masa jenis <i>flux</i> operasi yang lebih rendah.</li> </ul> |
| 2. <i>Stator</i> I2R                | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menggunakan lebih banyak tembaga dan konduktor yang lebih besar meningkatkan luas lintang penggulangan stator. Hal ini akan menurunkan tahanan (R) dari penggulangan dan mengurangi kehilangan karena aliran arus (I).</li> </ul>  |
| 3 <i>Rotor</i> I2R                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Penggunaan batang konduktor rotor yang lebih besar meningkatkan potongan lintang, dengan demikian merendahkan tahanan konduktor (R) dan kehilangan yang diakibatkan oleh aliran arus (I)</li> </ul>  |
| 4 Gesekan & Pegulangan              | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menggunakan rancangan fan dengan kehilangan yang rendah menurunkan kehilangan yang diakibatkan oleh pergerakan udara</li> </ul>  |
| 5. Kehilangan beban yang menyimpang | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menggunakan rancangan yang sudah dioptimalkan dan prosedur pengendalian kualitas yang ketat akan meminimalkan kehilangan beban yang menyimpang.</li> </ul>   |

#### 4.2 Menurunkan pembebanan yang kurang (dan menghindari motor yang ukurannya berlebih/ terlalu besar)

Sebagaimana dijelaskan dalam bab 3, beban yang kurang akan meningkatkan kehilangan motor dan menurunkan efisiensi motor dan faktor daya. Beban yang kurang mungkin merupakan penyebab yang paling umum ketidakefisienan dengan alasan-alasan:

- Pembuat peralatan cenderung menggunakan faktor keamanan yang besar bila memilih motor.
- Peralatan kadangkala digunakan dibawah kemampuan yang semestinya. Sebagai contoh, pembuat peralatan mesin memberikan nilai motor untuk kapasitas alat dengan beban penuh. Dalam prakteknya, pengguna sangat jarang membutuhkan kapasitas penuh ini, sehingga mengakibatkan hampir selamanya operasi dilakukan dibawah nilai beban.
- Dipilih motor yang besar agar mampu mencapai keluaran pada tingkat yang dikehendaki, bahkan jika tegangan masuk rendah dalam keadaan tidak normal.
- Dipilih motor yang besar untuk penggunaan yang memerlukan *torque* penyalaan awal yang tinggi akan tetapi lebih baik bila digunakan motor yang lebih kecil yang dirancang dengan *torque* tinggi.

Ukuran motor harus dipilih berdasarkan pada evaluasi beban dengan hati-hati. Namun bila mengganti motor yang ukurannya berlebih dengan motor yang lebih kecil, juga penting untuk mempertimbangkan potensi pencapaian efisiensi. Motor yang besar memiliki efisiensi yang lebih tinggi daripada motor yang lebih kecil. Oleh karena itu, penggantian motor yang beroperasi pada kapasitas 60 – 70% atau lebih tinggi biasanya tidak direkomendasikan. Dengan kata lain tidak ada aturan yang ketat yang memerintahkan pemilihan motor dan potensi penghematan perlu dievaluasi dengan dasar kasus per kasus. Contoh, jika motor yang lebih kecil merupakan motor yang efisien energinya sedangkan motor yang ada tidak, maka efisiensi dapat meningkat.

Untuk motor yang beroperasi konstan pada beban dibawah 40% dari nilai kapasitasnya, pengukuran yang murah dan efektif dapat dioperasikan dalam mode bintang. Perubahan dari operasi standar delta ke operasi bintang meliputi penyusunan kembali pemasangan kawat masukan daya tiga fase pada kotak terminal.

Mengoperasikan dalam mode bintang akan menurunkan tegangan dengan faktor ' $\sqrt{3}$ '. Motor diturunkan ukuran listriknya dengan operasi mode bintang, namun karakteristik kinerjanya sebagai fungsi beban tidak berubah. Jadi, motor dalam mode bintang memiliki efisiensi dan faktor daya yang lebih tinggi bila beroperasi pada beban penuh daripada beroperasi pada beban sebagian dalam mode delta.

Bagaimanapun, operasi motor pada mode bintang memungkinkan hanya untuk penggunaan dimana permintaan *torque* ke kecepatannya lebih rendah pada beban yang berkurang. Disamping itu, perubahan ke mode bintang harus dihindarkan jika motor disambungkan ke fasilitas produksi dengan keluaran yang berhubungan dengan kecepatan motor (karena kecepatan motor berkurang pada mode bintang). Untuk penggunaan untuk kebutuhan *torque* awal yang tinggi dan *torque* yang berjalan rendah, tersedia *starter* Delta-Bintang yang dapat membantu mengatasi *torque* awal yang tinggi.

### 4.3 Ukuran motor untuk beban yang bervariasi

Motor industri seringkali beroperasi pada kondisi beban yang bervariasi karena permintaan proses. Praktek yang umum dilakukan dalam situasi seperti ini adalah memilih motor berdasarkan bebanantisipasi tertinggi. Namun hal ini membuat motor lebih mahal padahal motor hanya akan beroperasi pada kapasitas penuh untuk jangka waktu yang pendek, dan beresiko motor bekerja pada beban rendah.

Alternatifnya adalah memilih motor berdasarkan kurva lama waktu pembebanan untuk penggunaan khusus. Hal ini berarti bahwa nilai motor yang dipilih sedikit lebih rendah daripada bebanantisipasi tertinggi dan sekali-kali terjadi beban berlebih untuk jangka waktu yang pendek. Hal ini memungkinkan, karena motor memang dirancang dengan faktor layanan (biasanya 15% diatas nilai beban) untuk menjamin bahwa motor yang bekerja diatas nilai beban sekali-sekali tidak akan menyebabkan kerusakan yang berarti.

Resiko terbesar adalah pemanasan berlebih pada motor, yang berpengaruh merugikan pada umur motor dan efisiensi dan meningkatkan biaya operasi. Kriteria dalam memilih motor adalah bahwa kenaikan suhu rata-rata diatas siklus operasi aktual harus tidak lebih besar dari kenaikan suhu pada operasi beban penuh yang berkesinambungan (100%). Pemanasan berlebih dapat terjadi dengan:

- Perubahan beban yang ekstrim, seperti seringnya jalan/berhenti, atau tingginya beban awal.
- Beban berlebih yang sering dan/atau dalam jangka waktu yang lama
- Terbatasnya kemampuan motor dalam mendinginkan, contoh pada lokasi yang tinggi, dalam lingkungan yang panas atau jika motor tertutupi atau kotor.

Jika beban bervariasi terhadap waktu, metode pengendalian kecepatan dapat diterapkan sebagai tambahan terhadap ukuran motor yang tepat (lihat bagian 4.8).



#### 4.4 Memperbaiki kualitas daya

Kinerja motor dipengaruhi oleh kualitas daya yang masuk, yang ditentukan oleh tegangan dan frekuensi aktual dibandingkan dengan nilai dasar. Fluktuasi dalam tegangan dan frekuensi yang lebih besar daripada nilai yang diterima memiliki dampak yang merugikan pada kinerja motor. Tabel 6 menampilkan pengaruh umum dari variasi tegangan dan frekuensi pada kinerja motor.

Ketidakseimbangan tegangan bahkan dapat lebih merugikan terhadap kinerja motor dan terjadi apabila tegangan tiga fase dari motor tiga fase tidak sama. Hal ini biasanya disebabkan oleh perbedaan pasokan tegangan untuk setiap fase pada tiga fase. Dapat juga diakibatkan dari penggunaan kabel dengan ukuran yang berbeda pada sistem distribusinya. Contoh dari pengaruh ketidakseimbangan tegangan pada kinerja motor ditunjukkan dalam Tabel 7.

- Tegangan masing-masing fase pada sistem tiga fase besarnya harus sama, simetris, dan dipisahkan oleh sudut 120°. Keseimbangan fase harus 1% untuk menghindari penurunan daya motor dan gagalnya garansi pabrik pembuatnya. Beberapa faktor dapat mempengaruhi kesetimbangan tegangan: beban fase tunggal pada setiap satu fase, ukuran kabel yang berbeda, atau kegagalan pada sirkuit. Ketidakseimbangan sistem meningkatkan kehilangan pada sistem distribusi dan menurunkan efisiensi motor.

**Tabel 7. Pengaruh Ketidakseimbangan Tegangan dalam Motor Induksi (BEE India, 2004)**

|  | Contoh 1 | Contoh 2 | Contoh 3 |
|--|----------|----------|----------|
| Persentase ketidakseimbangan dalam tegangan* | 0,30     | 2,30     | 5,40     |
| Ketidakseimbangan arus (%)                   | 0,4      | 17,7     | 40,0     |
| Kenaikan suhu (oC)                           | 0        | 30       | 40       |

\* Persen ketidakseimbangan tegangan = (penyimpangan maksimum dari tegangan tengah/ tegangan tengah) x 100

Ketidakseimbangan tegangan dapat diminimalisir dengan:

- Menyeimbangkan setiap beban fase tunggal diantara seluruh tiga fase
- Memisahkan setiap beban fase tunggal yang mengganggu keseimbangan beban dan umpankan dari jalur/trafo terpisah

#### 4.5 Penggulungan Ulang

Penggulungan ulang untuk motor yang terbakar sudah umum dilakukan oleh industri. Jumlah motor yang sudah digulung ulang di beberapa industri lebih dari 50% dari jumlah total motor. Pegulungan ulang motor yang dilakukan dengan hati-hati kadangkala dapat menghasilkan motor dengan efisiensi yang sama dengan sebelumnya. Pegulungan ulang dapat mempengaruhi sejumlah faktor yang berkontribusi terhadap memburuknya efisiensi motor: desain slot dan gulungan, bahan gulungan, kinerja pengisolasi, dan suhu operasi. Sebagai contoh, bila panas diterapkan pada pita gulungan lama maka pengisolasi diantara laminasinya dapat rusak, sehingga meningkatkan kehilangan arus eddy. Perubahan dalam celah udara dapat mempengaruhi faktor daya dan keluaran torque.

Walau begitu, jika dilakukan dengan benar, efisiensi motor dapat terjaga setelah dilakukan pegulungan ulang, dan dalam beberapa kasus, efisiensi bahkan dapat ditingkatkan dengan cara mengubah desain pegulungan. Dengan menggunakan kawat yang memiliki penampang

lintang yang lebih besar, ukuran slot yang diperbolehkan, akan mengurangi kehilangan stator sehingga akan meningkatkan efisiensi. Walau demikian, direkomendasikan untuk menjaga desain motor orisinil selama pegulungan ulang, kecuali jika ada alasan yang berhubungan dengan beban spesifik untuk mendesain ulang.

Dampak dari pegulungan ulang pada efisiensi motor dan faktor daya dapat dikaji dengan mudah jika kehilangan motor tanpa beban diketahui pada sebelum dan sesudah pegulungan ulang. Informasi kehilangan tanpa beban dan kecepatan tanpa beban dapat ditemukan pada dokumentasi motor yang diperoleh pada saat pembelian. Indikator keberhasilan pegulungan ulang adalah perbandingan arus dan tahanan stator tanpa beban per fase motor yang digulung ulang dengan arus dan tahanan stator orisinil tanpa beban pada tegangan yang sama.

Paad saat menggulung ulang motor perlu mempertimbangkan hal-hal berikut:

- Gunakan perusahaan yang bersertifikasi ISO 9000 atau anggota dari Assosiasi Layanan Peralatan Listrik.
- Ukuran motor kurang dari 40 HP dan usianya lebih dari 15 tahun (terutama motor yang sebelumnya sudah digulung ulang) sering memiliki efisiensi yang lebih rendah daripada model yang tersedia saat ini yang efisien energinya. Biasanya yang terbaik adalah menggantinya. Hampir selalu terbaik mengganti motor biasa dengan beban dibawah 15 HP.
- Jika biaya pegulungan ulang melebihi 50% hingga 65% dari harga motor baru yang efisien energinya, lebih baik membeli motor yang baru, karena meningkatnya kehandalan dan efisiensi akan dengan cepat menutupi pembayaran harga motor.

#### **4.6 Koreksi faktor daya dengan memasang kapasitor**

Sebagaimana sudah dikenal sebelumnya, karakteristik motor induksi adalah faktor dayanya yang kurang dari satu, menyebabkan efisiensi keseluruhan yang lebih rendah (dan biaya operasi keseluruhan yang lebih tinggi) untuk seluruh sistim listrik pabrik.

Kapasitor yang disambung secara paralel (*shunt*) dengan motor kadangkala digunakan untuk memperbaiki faktor daya. Kapasitor tidak akan memperbaiki faktor daya motor itu sendiri akan tetapi terminal *starternya* dimana tenaga dibangkitkan atau didistribusikan. Manfaat dari koreksi faktor daya meliputi penurunan kebutuhan kVA (jadi mengurangi biaya kebutuhan utilitas), penurunan kehilangan  $I^2R$  pada kabel di bagian hulu kapasitor (jadi mengurangi biaya energi), berkurangnya penurunan tegangan pada kabel (mengakibatkan pengaturan tegangan meningkat), dan kenaikan dalam efisiesi keseluruhan sistim listrik pabrik.

Ukuran kapasitor tergantung pada kVA reaktif tanpa beban (kVAR) yang ditarik oleh motor. Ukuran ini tidak boleh melebihi 90% dari kVAR motor tanpa beban, sebab kapasitor yang lebih tinggi dapat mengakibatkan terlalu tingginya tegangan dan motor akan terbakar. kVAR motor hanya dapat ditentukan oleh pengujian motor tanpa beban. Alternatifnya adalah menggunakan faktor daya motor standar untuk menentukan ukuran kapasitor.

Informasi lebih jauh mengenai faktor daya dan kapasitor diberikan dalam bab *Listrik*.

#### 4.7 Meningkatkan perawatan

Hampir semua inti motor dibuat dari baja silikon atau baja gulung dingin yang dihilangkan karbonnya, sifat-sifat listriknya tidak berubah dengan usia. Walau begitu, perawatan yang buruk dapat memperburuk efisiensi motor karena umur motor dan operasi yang tidak handal. Sebagai contoh, pelumasan yang tidak benar dapat menyebabkan meningkatnya gesekan pada motor dan penggerak transmisi peralatan. Kehilangan resistansi pada motor, yang meningkat dengan kenaikan suhu.

Kondisi ambien dapat juga memiliki pengaruh yang merusak pada kinerja motor. Sebagai contoh, suhu ekstrim, kadar debu yang tinggi, atmosfer yang korosif, dan kelembaban dapat merusak sifat-sifat bahan isolasi; tekanan mekanis karena siklus pembebanan dapat mengakibatkan kesalahan penggabungan.

Perawatan yang tepat diperlukan untuk menjaga kinerja motor. Sebuah daftar periksa praktek perawatan yang baik akan meliputi:

- Pemeriksaan motor secara teratur untuk pemakaian *bearings* dan rumahnya (untuk mengurangi kehilangan karena gesekan) dan untuk kotoran/debu pada saluran ventilasi motor (untuk menjamin pendinginan motor)
- Pemeriksaan kondisi beban untuk meyakinkan bahwa motor tidak kelebihan atau kekurangan beban. Perubahan pada beban motor dari pengujian terakhir mengindikasikan suatu perubahan pada beban yang digerakkan, penyebabnya yang harus diketahui.
- Pemberian pelumas secara teratur. Pihak pembuat biasanya memberi rekomendasi untuk cara dan waktu pelumasan motor. Pelumasan yang tidak cukup dapat menimbulkan masalah, seperti yang telah diterangkan diatas. Pelumasan yang berlebihan dapat juga menimbulkan masalah, misalnya minyak atau lemak yang berlebihan dari *bearing* motor dapat masuk ke motor dan menjenuhkan bahan isolasi motor, menyebabkan kegagalan dini atau mengakibatkan resiko kebakaran.
- Pemeriksaan secara berkala untuk sambungan motor yang benar dan peralatan yang digerakkan. Sambungan yang tidak benar dapat mengakibatkan sumbu as dan *bearings* lebih cepat aus, mengakibatkan kerusakan terhadap motor dan peralatan yang digerakkan.
- Dipastikan bahwa kawat pemasok dan ukuran kotak terminal dan pemasangannya benar. Sambungan-sambungan pada motor dan *starter* harus diperiksa untuk meyakinkan kebersihan dan kekencangannya.
- Penyediaan ventilasi yang cukup dan menjaga agar saluran pendingin motor bersih untuk membantu penghilangan panas untuk mengurangi kehilangan yang berlebihan. Umur isolasi pada motor akan lebih lama: untuk setiap kenaikan suhu operasi motor 10°C diatas suhu puncak yang direkomendasikan, waktu pegulangan ulang akan lebih cepat, diperkirakan separuhnya.

#### 4.8 Pengendalian kecepatan motor induksi

Secara tradisional, motor DC digunakan bila kemampuan dikehendaki variasi kecepatan. Namun karena keterbatasan motor DC (sebagaimana dijelaskan dalam bagian 2), motor AC terus menjadi fokus bagi penggunaan variasi kecepatan. Baik motor AC sinkron dan induksi keduanya cocok untuk penggunaan control variasi kecepatan.

Karena motor induksi adalah motor yang tidak sinkron, perubahan pasokan frekuensi dapat memvariasikan kecepatan. Strategi pengendalian untuk motor khusus akan tergantung pada sejumlah faktor termasuk biaya investasi, ketahanan beban dan beberapa persyaratan

pengendalian khusus. Hal ini memerlukan suatu tinjauan rinci mengenai karakteristik beban, data historis pada aliran proses, ciri-ciri sistem pengendalian kecepatan yang diperlukan, biaya listrik dan biaya investasi.

Karakteristik beban (dijelaskan di bagian 1) terutama penting dalam memutuskan apakah pengendalian kecepatan merupakan suatu opsi. Potensi terbesar untuk penghematan listrik dengan penggerak variabel kecepatan (*variable speed drive*) pada umumnya ada pada penggunaan variasi *torque*, contohnya adalah pompa sentrifugal dan fan, dimana kebutuhan dayanya berubah sebesar kubik kecepatan. Beban *torque* yang konstan juga cocok untuk penggunaan VSD.

#### **4.8.1 Motor dengan beberapa kecepatan**

Motor dapat digulung menjadi dua kecepatan, dan perbandingan 2:1, dapat dicapai. Motor juga dapat digulung dengan dua gulungan terpisah, masing-masing memberi dua kecepatan operasi dan dengan begitu totalnya menjadi empat kecepatan. Motor dengan beberapa kecepatan dapat dirancang untuk penggunaan yang melibatkan *torque* konstan, *torque* bervariasi, atau untuk keluaran daya yang konstan. Motor dengan beberapa kecepatan cocok untuk penggunaan yang memerlukan pengendalian kecepatan yang terbatas (dua atau empat kecepatan, bukan kecepatan yang terus menerus bervariasi). Motor-motor tersebut cenderung sangat ekonomis dan efisiensinya lebih rendah dibanding dengan motor yang berkecepatan tunggal.

#### **4.8.2 Penggerak kecepatan variable/ Variable Speed Drives (VSDs)**

Penggerak kecepatan variable (VSDs) juga dikenal dengan *inverters* dan dapat mengubah kecepatan motor, yang tersedia dalam dari mulai beberapa kW hingga 750 kW. VSD dirancang untuk mengoperasikan motor induksi standar dan oleh karena itu dapat dengan mudah dipasang pada sistem yang ada. *Inverter* kadang dijual secara terpisah sebab motor sudah beroperasi ditempat, tetapi dapat juga dibeli bersamaan dengan motornya.

Bila beban bervariasi, VSD atau motor dengan dua kecepatan kadangkala dapat menurunkan pemakaian energi listrik pada pompa sentrifugal dan fan sebesar 50% atau lebih.

Penggerak dasarnya terdiri dari *inverter* itu sendiri yang merubah daya masuk 50 Hz menjadi frekuensi dan tegangan yang bervariasi. Frekuensi yang bervariasi akan mengendalikan kecepatan motor.

Terdapat tiga jenis utama desain *inverter* yang tersedia saat ini. Ketiganya dikenal dengan *Inverter Sumber Arus (CSI)*, *Inverter Tegangan Bervariasi (VVI)*, dan *Inverter dengan Pengatur Lebar Pulsa/ Pulse Width Modulated (PWM)*.

#### **4.8.3 Penggerak arus searah (DC)**

Teknologi penggerak DC merupakan bentuk tertua pengendali kecepatan listrik. Sistem penggerak terdiri dari sebuah motor DC dan sebuah pengendali.

Motor terdiri dari dinamo dan gulungan medan. Penggulungan medan memerlukan pembangkitan daya DC untuk operasi motor, biasanya dengan tegangan yang tetap dari pengendali. Sambungan dinamo dibuat melalui perakitan sikat dan *commutator*. Kecepatan motor berbanding lurus dengan tegangan yang dipergunakan.

Pengendali merupakan penyambungan rektifikasi fase control dengan sirkuit *logic* untuk mengendalikan tegangan DC yang dikirim ke dinamo motor. Pengendalian kecepatan dicapai

dengan mengatur tegangan ke motor. Kadangkala sebuah *tacho-generator* dilibatkan untuk mencapai pengaturan kecepatan yang baik. *Tacho-generator* dapat digantungkan pada motor untuk menghasilkan sinyal umpan balik kecepatan yang digunakan dibagian dalam pengendali.

#### **4.8.4 Penggerak motor AC dengan gulungan rotor (motor induksi cincin geser)**

Penggerak motor dengan rotor penggulung menggunakan motor yang berkonstruksi khusus untuk menyempurnakan pengendalian kecepatan. Rotor motor dibuat dengan penggulangan yang diangkat keluar motor melalui cincin geser pada sumbu motor. Gulungan tersebut disambungkan ke pengendali, yang menempatkan *resistor* variabel secara seri dengan gulungan. Kinerja *torque* motor dapat dikendalikan dengan menggunakan *resistor* variabel tersebut. Motor dengan gulungan rotor sangat umum digunakan untuk motor 300 HP atau lebih.

## 5. DAFAR PERIKSA OPSI

Bagian ini memberikan daftar dari opsi-opsi efisiensi energi yang sangat penting untuk motor listrik.

- Mempertahankan tingkat pasokan tegangan dengan penyimpangan maksimum 5% dari nilai yang tertera dalam pelat nama/ *nameplate*.
- Meminimalkan ketidakseimbangan pada 1% untuk menghindari penurunan kekuatan motor.
- Mempertahankan faktor daya tinggi dengan memasang kapasitor sedekat mungkin ke motor
- Memilih ukuran motor yang benar untuk menghindari ketidakefisienan faktor daya yang buruk
- Menjamin bahwa motor dibebani lebih dari 60%
- Melakukan strategi perawatan yang benar untuk motor
- Menggunakan penggerak variabel kecepatan (VSD) atau sistem dua kecepatan
- Mengganti motor yang ukurannya berlebih, ukurannya kurang dan yang gagal dengan motor yang efisien energinya.
- Penggulangan ulang motor yang terbakar oleh akhlinya.
- Mengoptimalkan efisiensi transmisi dengan pemasangan dan perawatan poros, *belt*, rantai, dan gir yang benar.
- Mengendalikan suhu ambien untuk memaksimalkan umur isolasi dan kehandalan motor, misalnya dengan menghindarkan kontak langsung dengan sinar matahari, menempatkan pada area yang berventilasi baik, dan menjaganya tetap bersih.
- Memberi pelumas pada motor sesuai dengan spesifikasi pabrik pembuatnya dan menggunakan gemuk atau minyak berkualitas tinggi untuk mencegah pencemaran oleh kotoran atau air.

## 6. LEMBAR KERJA

Bagian ini meliputi lembar kerja berikut:

- Pengumpulan Data Motor
- Analisis Beban Motor

### Lembar Kerja 1. PENGUMPULAN DATA MOTOR

| No. | Referensi Motor | No. Tanda Pengenal Motor | HT/LT | kW | Tegangan | FLA (Amp) | Faktor daya | Kecepatan (RPM) | Golongan isolasi | Faktor Layanan | Ukuran Rangka | Pabrik Pembuat |
|-----|-----------------|--------------------------|-------|----|----------|-----------|-------------|-----------------|------------------|----------------|---------------|----------------|
|     |                 |                          |       |    |          |           |             |                 |                  |                |               |                |
|     |                 |                          |       |    |          |           |             |                 |                  |                |               |                |
|     |                 |                          |       |    |          |           |             |                 |                  |                |               |                |
|     |                 |                          |       |    |          |           |             |                 |                  |                |               |                |
|     |                 |                          |       |    |          |           |             |                 |                  |                |               |                |
|     |                 |                          |       |    |          |           |             |                 |                  |                |               |                |
|     |                 |                          |       |    |          |           |             |                 |                  |                |               |                |
|     |                 |                          |       |    |          |           |             |                 |                  |                |               |                |
|     |                 |                          |       |    |          |           |             |                 |                  |                |               |                |
|     |                 |                          |       |    |          |           |             |                 |                  |                |               |                |
|     |                 |                          |       |    |          |           |             |                 |                  |                |               |                |
|     |                 |                          |       |    |          |           |             |                 |                  |                |               |                |
|     |                 |                          |       |    |          |           |             |                 |                  |                |               |                |
|     |                 |                          |       |    |          |           |             |                 |                  |                |               |                |
|     |                 |                          |       |    |          |           |             |                 |                  |                |               |                |
|     |                 |                          |       |    |          |           |             |                 |                  |                |               |                |
|     |                 |                          |       |    |          |           |             |                 |                  |                |               |                |

## Lembar Kerja 2. ANALISIS BEBAN MOTOR

| No. | Referensi Motor | Tanda Pengenal Motor | Daya (KW) | Efisiensi | Nilai Pengukuran yang aktual |            |             |                 | % Beban Motor |
|-----|-----------------|----------------------|-----------|-----------|------------------------------|------------|-------------|-----------------|---------------|
|     |                 |                      |           |           | Tegangan (KV)                | Arus (Amp) | Faktor daya | Daya Masuk (KW) |               |
|     |                 |                      |           |           |                              |            |             |                 |               |
|     |                 |                      |           |           |                              |            |             |                 |               |
|     |                 |                      |           |           |                              |            |             |                 |               |
|     |                 |                      |           |           |                              |            |             |                 |               |
|     |                 |                      |           |           |                              |            |             |                 |               |
|     |                 |                      |           |           |                              |            |             |                 |               |
|     |                 |                      |           |           |                              |            |             |                 |               |
|     |                 |                      |           |           |                              |            |             |                 |               |
|     |                 |                      |           |           |                              |            |             |                 |               |
|     |                 |                      |           |           |                              |            |             |                 |               |
|     |                 |                      |           |           |                              |            |             |                 |               |
|     |                 |                      |           |           |                              |            |             |                 |               |
|     |                 |                      |           |           |                              |            |             |                 |               |



## **7. REFERENSI**

- Automated Buildings. [www.automatedbuildings.com/news/jul01/art/abbd/abbf2.gif](http://www.automatedbuildings.com/news/jul01/art/abbd/abbf2.gif)
- Bureau of Energy Efficiency (BEE), Ministry of Power, India. *Components of an Electric Motor*. 2005.  
[www.energymanagertraining.com/equipment\\_all/electric\\_motors/eqp\\_comp\\_motors.htm](http://www.energymanagertraining.com/equipment_all/electric_motors/eqp_comp_motors.htm)
- Bureau of Energy Efficiency, Ministry of Power, India. *Energy Efficiency in Electrical Utilities*. Book 3. 2004
- Bureau of Indian Standards. *Indian Standard Code for Motors – IS1231*.
- C.R. Nave, Department of Physics and Astronomy, Georgia State University. *How does an electric motor work?* In: Hyperphysics, Electricity and Magnetism. 2005  
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html>
- DirectIndustry. *Virtual Industry Exhibition*. 2005. [www.directindustry.com](http://www.directindustry.com)
- Electricians Toolbox Etc (E.T.E.). *Motor Characteristics*. 1997. [www.elec-toolbox.com/motorchar.htm](http://www.elec-toolbox.com/motorchar.htm)
- Integrated Publishing. *Synchronised Motors*, In: Neets, Module 01, Introduction to Matter, Energy, and Direct Current, Chapter 4, Alternating Current Motors. 2003  
[www.tpub.com/content/neets/14177/css/14177\\_92.htm](http://www.tpub.com/content/neets/14177/css/14177_92.htm)
- L.M. Photonics Ltd. *DC Motor Control*. 2002. [www.lmphotronics.com/vsd/vsd\\_02.htm](http://www.lmphotronics.com/vsd/vsd_02.htm)
- myElectrical. *DC Machine Construction*. 2005.  
[www.myelectrical.com/book/Machines/DC%20Machine%20Construction%20\(Field%20Winding\).aspx?%09%09%09ID=P040507102940](http://www.myelectrical.com/book/Machines/DC%20Machine%20Construction%20(Field%20Winding).aspx?%09%09%09ID=P040507102940)
- Parekh, R., Microchip Technology Inc. *AC Induction Motors Fundamentals*, AN887. 2003.  
[www.microchip.com](http://www.microchip.com), [ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00887a.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00887a.pdf)
- Rodwell International Corporation. *Basic Motor Theory*. On: Reliance Electric Motor Technical Reference home page, 1999. [www.reliance.com/mtr/mtrthr.htm](http://www.reliance.com/mtr/mtrthr.htm)
- US Department of Energy (US DOE). *Fact Sheet: Determining Motor Load and Efficiency*. Developed as part of: Motor Challenge, a program of US DOE  
[www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/10097517.pdf](http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/10097517.pdf)

### **Copyright:**

Copyright © United Nations Environment Programme (year 2006)  
*This publication may be reproduced in whole or in part and in any form for educational or non-profit purposes without special permission from the copyright holder, provided acknowledgement of the source is made. UNEP would appreciate receiving a copy of any publication that uses this publication as a source. No use of this publication may be made for resale or any other commercial purpose whatsoever without prior permission from the United Nations Environment Programme.*

### **Hak Cipta:**

Hak cipta © United Nations Environment Programme (year 2006)  
*Publikasi ini boleh digandakan secara keseluruhan atau sebagian dalam segala bentuk untuk pendidikan atau keperluan non-profit tanpa ijin khusus dari pemegang hak cipta, harus mencantumkan sumber yang membuat. UNEP akan menghargai pengiriman salinan dari setiap publikasi yang menggunakan publikasi ini sebagai sumber. Tidak diijinkan untuk menggunakan publikasi ini untuk dijual belikan atau untuk keperluan komersial lainnya tanpa ijin khusus dari United Nations Environment Programme.*

### **Disclaimer:**

*This energy equipment module was prepared as part of the project “Greenhouse Gas Emission Reduction from Industry in Asia and the Pacific” (GERIAP) by the National Productivity Council, India. While reasonable efforts have been made to*

## *Electrical Energy Equipment: Electric Motors*

*ensure that the contents of this publication are factually correct and properly referenced, UNEP does not accept responsibility for the accuracy or completeness of the contents, and shall not be liable for any loss or damage that may be occasioned directly or indirectly through the use of, or reliance on, the contents of this publication, including the translation into other languages from English. This document is a translation of the chapter in English and does not constitute an official United Nations publication.*

### ***Disclaimer:***

*Modul peralatan energi ini dibuat sebagai bagian dari proyek “Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca dari Industri di Asia dan Pasifik/ Greenhouse Gas Emission Reduction from Industry in Asia and the Pacific” (GERIAP) oleh Badan Produktivitas Nasional, India. Sementara upaya-upaya masih dilakukan untuk menjamin bahwa isi dari publikasi ini didasarkan fakta-fakta yang benar, UNEP tidak bertanggung-jawab terhadap ketepatan atau kelengkapan dari materi, dan tidak dapat dikenakan sanksi terhadap setiap kehilangan atau kerusakan baik langsung maupun tidak langsung terhadap penggunaan atau kepercayaan pada isi publikasi ini.*