

KONSERVASI ENERGI PADA TRANSFORMATOR DAN MOTOR LISTRIK

Nazaruddin Sinaga

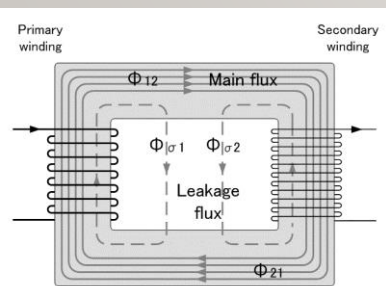
- **TRAFO**

- **MOTOR LISTRIK**

- **Pendahuluan**
- **Tipe Motor Listrik**
- **Evaluasi Performance**
- **Peluang Efisiensi Energi**

TRANSFORMATOR

- **Transformator** atau transformer atau trafo adalah komponen elektromagnet yang dapat mengubah taraf suatu tegangan AC ke taraf yang lain.
- **Prinsip kerja:**
 - Transformator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik.
 - Tegangan masukan bolak-balik yang membentangi primer menimbulkan fluks magnet yang idealnya semua bersambung dengan lilitan sekunder.
 - Fluks bolak-balik ini menginduksikan GGL dalam lilitan sekunder.
 - Jika efisiensi sempurna, semua daya pada lilitan primer akan dilimpahkan ke lilitan sekunder.



RUGI-RUGI DALAM TRAFKO

I. Rugi-rugi tembaga (P_{cu})

Kerugian dalam lilitan tembaga yang disebabkan oleh resistansi tembaga dan arus listrik yang mengalirinya.

2. Rugi-rugi Besi (P_i), meliputi:

- a. Rugi-rugi histerisis (P_h): rugi-rugi yang disebabkan fluks bolak-balik pada inti besi
- b. Rugi-rugi "Eddy Current" (P_e): rugi-rugi yang disebabkan arus pusar pada inti besi



Rugi-rugi Besi
Histerisis dan Eddy current

PENGOPERASIAN TRAFO

Trafo Daya:

$$E_{ff} = \frac{P_{out}}{P_{out} + W_i \left(\frac{V_R}{V_S}\right)^2 + W_c \left(\frac{I_S}{I_R}\right)^2}$$

E_{ff} = Efisiensi Trafo

P_{out} = Daya Keluaran Trafo

W_i = Rugi-rugi besi pada beban penuh

W_c = Rugi-rugi tembaga pada beban penuh

V_R, I_R = Tegangan & arus rating pada sisi tegangan rendah

V_S, I_S = Tegangan & arus aktual

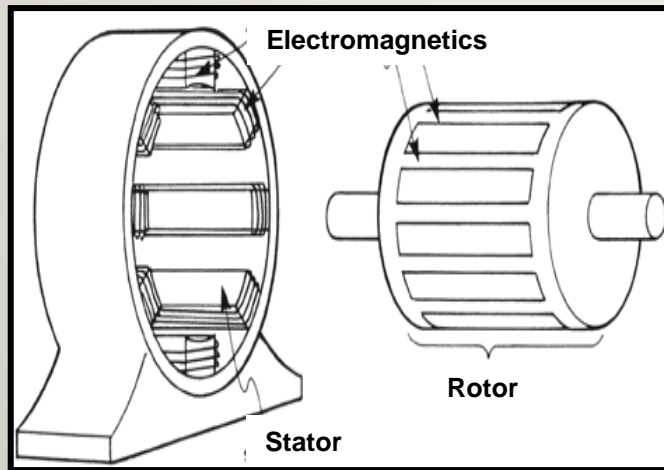
PENGHEMATAN ENERGI PADA TRAFO

- **Mematikan trafo saat tidak dibebani.**
- **Membebani trafo pada beban yang tepat**
- **Mengoperasikan trafo pada level tegangan yang tepat.**
- **Penambahan kapasitor untuk memperbaiki faktor daya.**

PENDAHULUAN

Bagaimana motor listrik bekerja?

- Stator adalah komponen listrik statis (tak bergerak)
- Rotor adalah komponen listrik yang berputar



- Kedua stator dan rotor terdiri atas magnet listrik yang ditata membentuk silinder

Figure: Stator dan rotor

Source: Reliance

BAGAIMANA MOTOR LISTRIK BEKERJA?

- Suatu alat elektromekanis yang mengubah energi listrik ke energi mekanik
- Estimasi: 70% dari total beban listrik industri berupa motor listrik

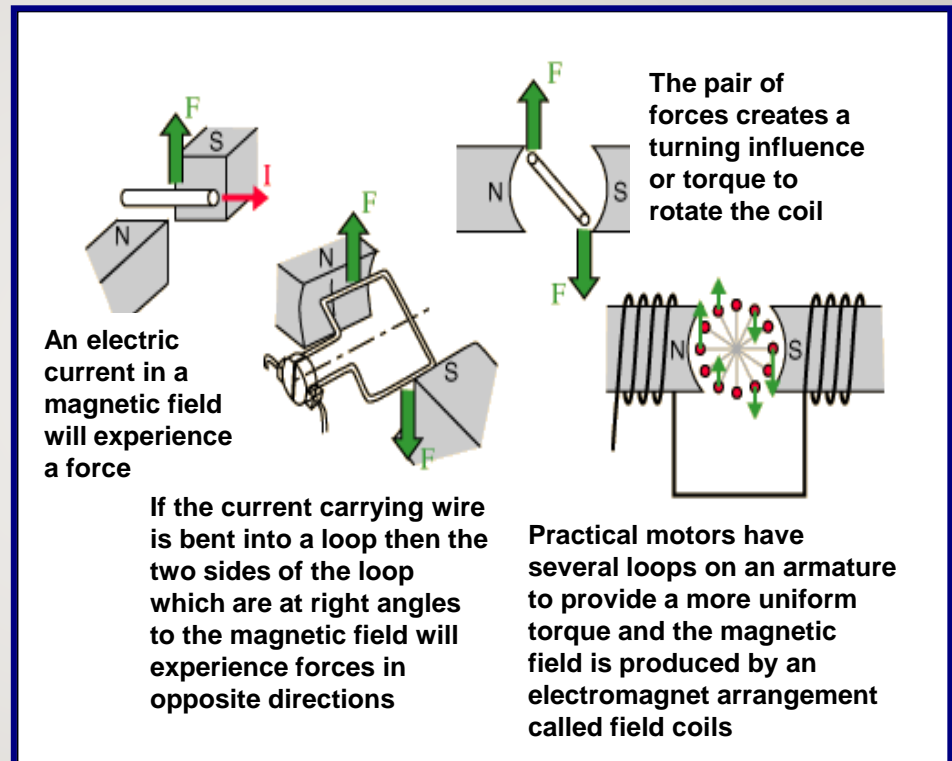


Figure: Prinsip motor listrik

Source: Hyperphysics

TIPE MOTOR LISTRIK

Klasifikasi Motor Listrik

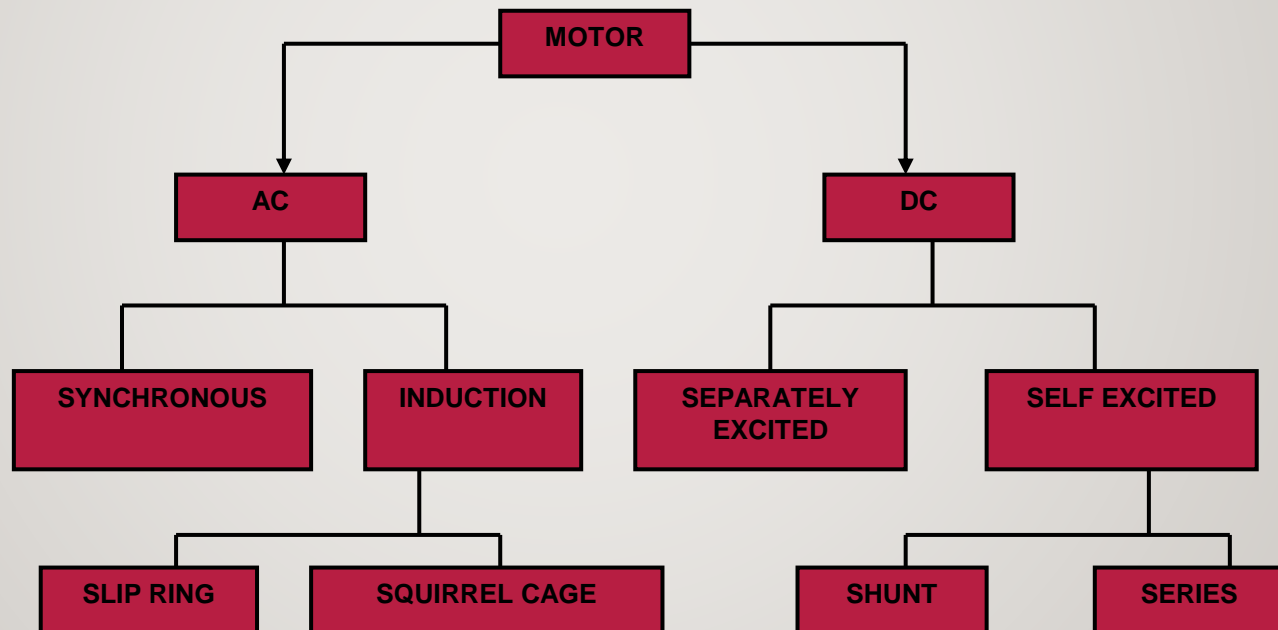


Figure: Klasifikasi motor

TIPE MOTOR LISTRIK

✓ Motor Sinkron

- Suatu motor AC yang berputar pada kecepatan konstan (kecepatan sinkron) yang ditetapkan oleh frekuensi sistem
- Membutuhkan arus searah (DC) untuk eksitasi dan memiliki torsi awal rendah

✓ Motor Induksi

- Penggerak utama yang paling banyak digunakan untuk aplikasi industri
- Kelebihan utama termasuk harga murah, koneksi langsung ke sumber daya AC dan rendah perawatan

EVALUASI UNJUK KERJA

Survey Beban Motor

- **Jika beban meningkat, faktor daya dan efisiensi ikut meningkat; dan nilai optimum diperoleh sekitar beban penuh**
- **Efisiensi maximum berkisar 75-80% dari beban penuh**
- **Suatu motor 10 hp memiliki range beban yang bisa dipenuhi antara 5-10 hp dan efisiensi maksimum pada 7.5 hp**

Metodologi: Survei Beban Motor

1) Kriteria sampling motor

- **Faktor utilisasi (jam operasi)**
- **Analisa sample motor sbg representasi motor lain pada satu proses misal: cooling tower fan, dll**

2) Pengukuran

- **Parameter beban listrik (volt, ampere, faktor daya, kW yang diserap)**
- **Parameter mesin (kecepatan, beban, tekanan, temperatur)**

Metodologi: Survey Beban Motor

3) Analisa Output

- **Beban motor berdasar kW dan estimasi konsumsi energi**

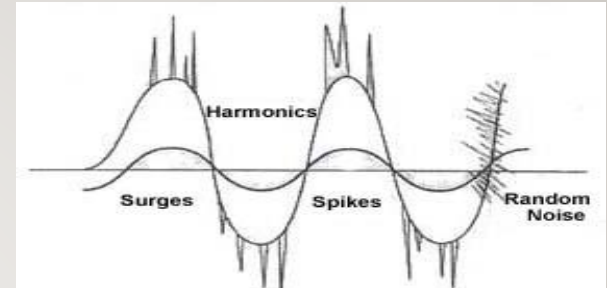
Hasil dapat meliputi level pembebanan, ketidakseimbangan daya dan in-efficiency yang diikuti rekomendasi untuk perbaikan

Pengurangan *Under-loading*

- **Beban rendah (underloading) adalah sangat umum dalam praktek, menyebabkan efisiensi motor tidak optimal**
- **Mengakibatkan efisiensi rendah, faktor daya rendah dan biaya mahal untuk motor dan peralatan yang berkaitan**
- **Alasan underloading termasuk:**
 - **Penerapan faktor keamanan yang tinggi pada peralatan**
 - **Rendahnya tingkat penggunaan peralatan**
 - **Pemilihan motor besar untuk menjaga level output**
 - **Penggunaan motor besar dimana torsi starting tinggi diperlukan**

PELUANG EFISIENSI ENERGI

Kualitas Daya



- Unjuk kerja motor sangat dipengaruhi oleh kualitas daya listrik input
- Fluktuasi tegangan yang besar dapat menyebabkan defisiensi unjuk kerja yang signifikan
- Ketidakseimbangan tegangan sebagai akibat tidak samanya tegangan pada sistem 3-phase dapat membahayakan motor dan mengurangi umur teknis motor

Pengendalian Kecepatan Motor Induksi

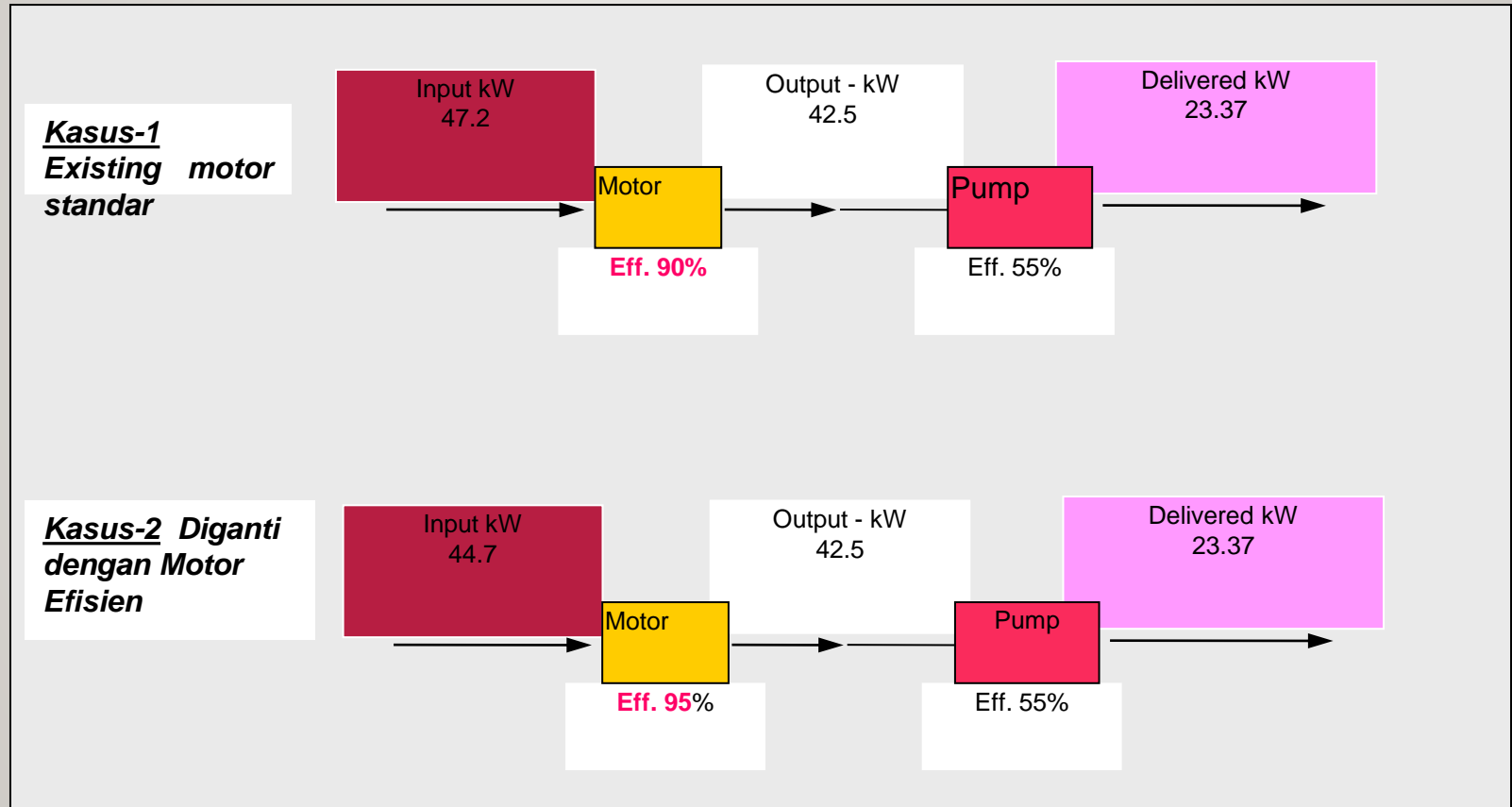
- **Baik motor sinkron maupun induksi cocok untuk pengendalian kecepatan variable**
- **Beberapa syarat dalam penentuan pengendalian kecepatan motor:**
 - **karakteristik beban**
 - **historical data pada aliran proses**
 - **fitur yang dibutuhkan pada pengendalian kecepatan**
 - **tarif listrik**
 - **investasi**

Sistem Pengendalian Kecepatan Motor

Adjustable frequency AC drivers:

- **Dikenal sebagai inverter, didesain untuk mengoperasikan motor induksi standar**
- **Mengubah daya masuk 50 Hz ke suatu frekuensi variable dan tegangan variable yang akan mengendalikan kecepatan motor**

STUDI KASUS: APLIKASI MOTOR EFISIENSI TINGGI



Keuntungan Finansial (perkiraan)

- Investasi: Rp 25 juta
- Jam operasi pertahun: 7500
- Biaya operasi setiap tahun: Minimum jika dibandingkan dengan keadaan sebelumnya
- Penghematan biaya tiap tahun:

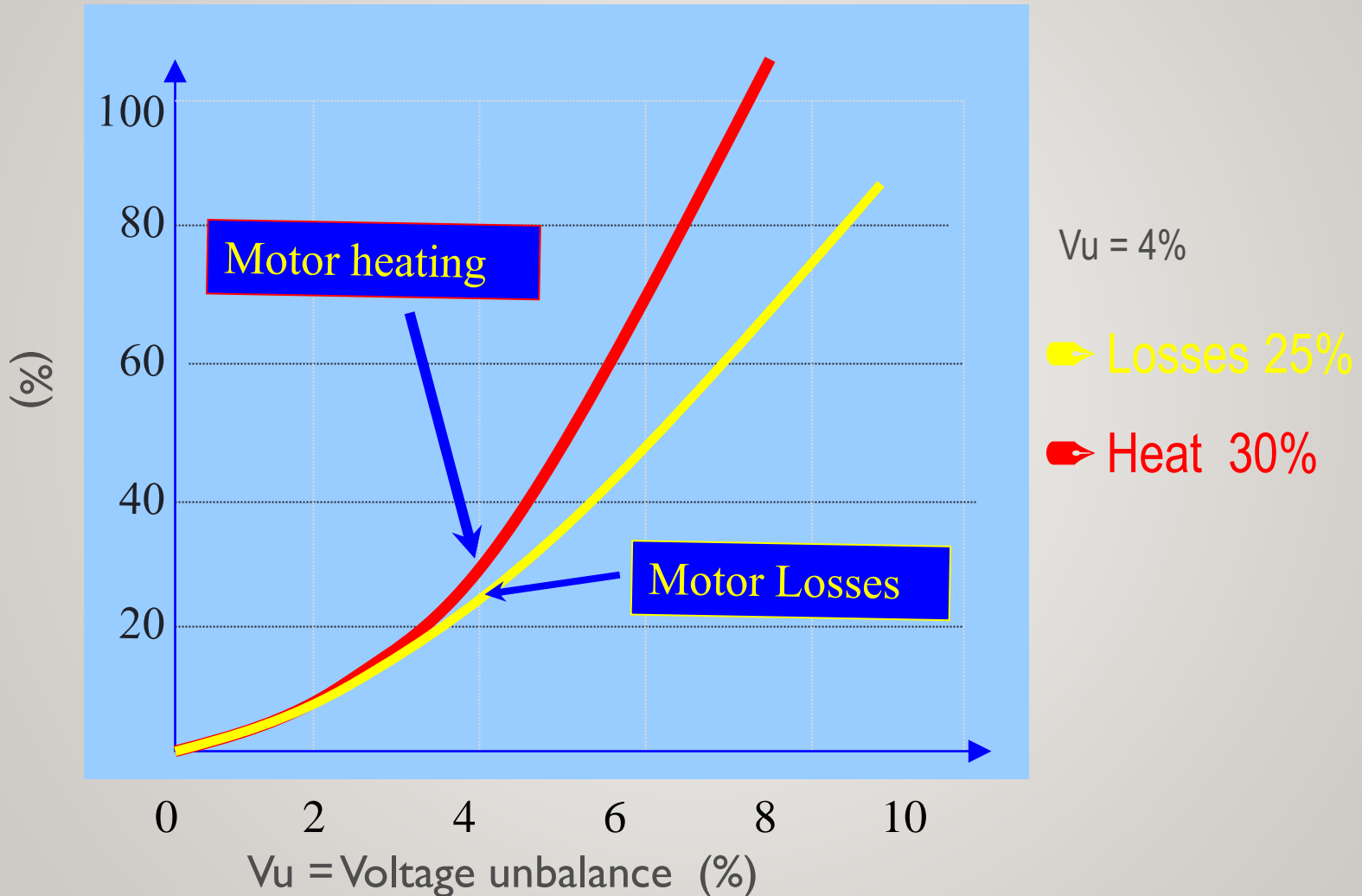
$2,5 \text{ kW} \times \text{Rp } 600 \text{ per kWh} \times 7500 \text{ jam} = \text{Rp } 11.250.000,-$

- Waktu pengembalian modal: 2,2 tahun

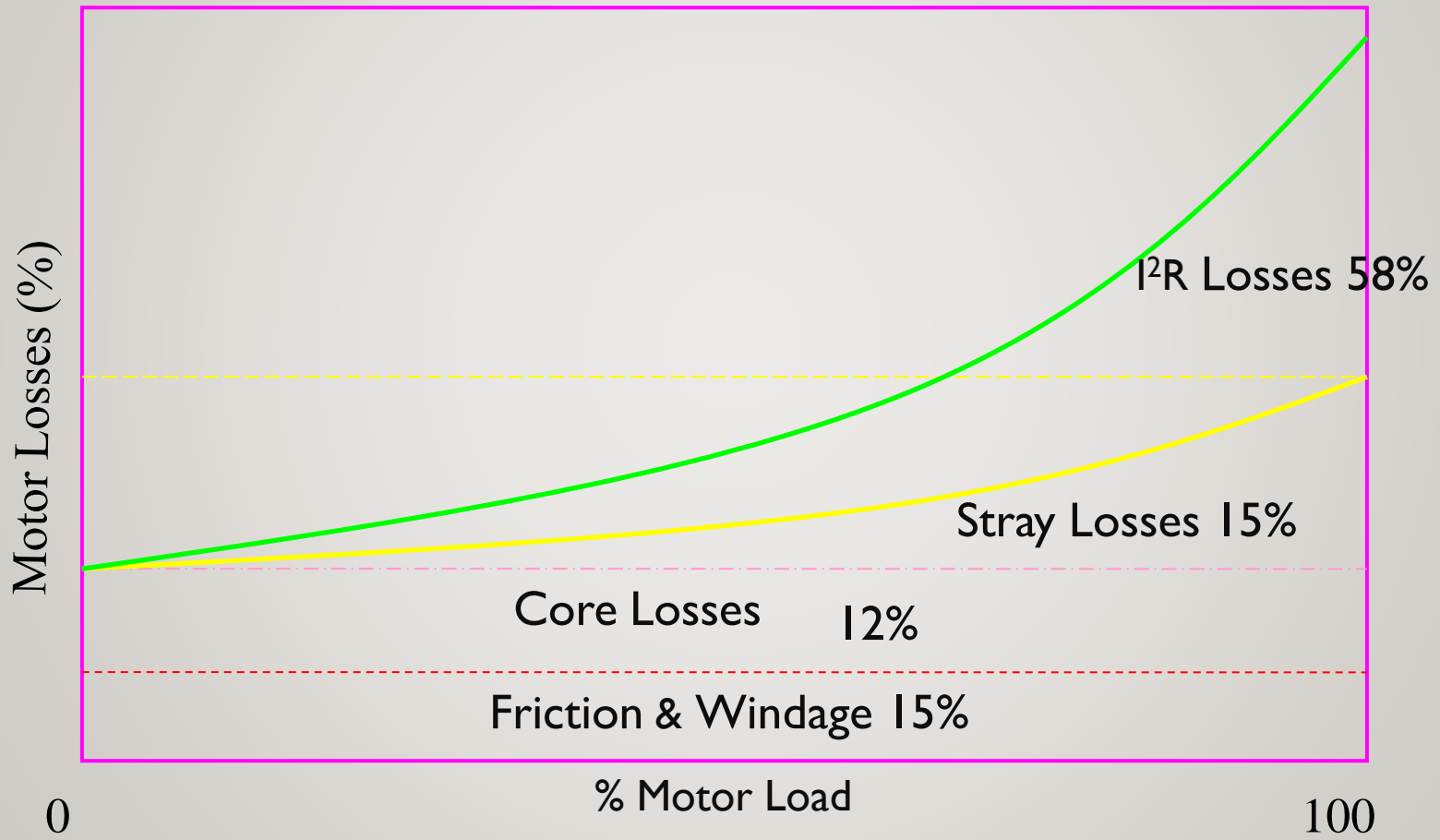
Keuntungan bagi Lingkungan

- Penghematan listrik tiap tahun: $2.5 \text{ kW} \times 7500 \text{ jam} = 18.750 \text{ kWh}$
- Penurunan emisi gas rumah kaca setiap tahun: 3.75 ton (pada emission factor: 0,0002 ton CO₂/kWh)

PENGARUH VU THD RUGI- RUGI



RUGI-RUGI PADA MOTOR INDUKSI



CARA MENGHITUNG RUGI-RUGI PADA MOTOR INDUKSI

□ Stator Losses ($I^2 R$)

Stator Current, $I =$

$$\frac{\text{Input Watts}}{\text{Voltage} \times 1.73 \times \text{power factor}}$$

□ Rotor Losses

$$\text{Rotor Losses} = \frac{(\text{HPoutput} \times 746 + \text{FW}) \times S}{1 - S}$$

$$\text{Slip, } S = \frac{N_s - N_r}{N_r}$$

N_r = Output speed (rpm)

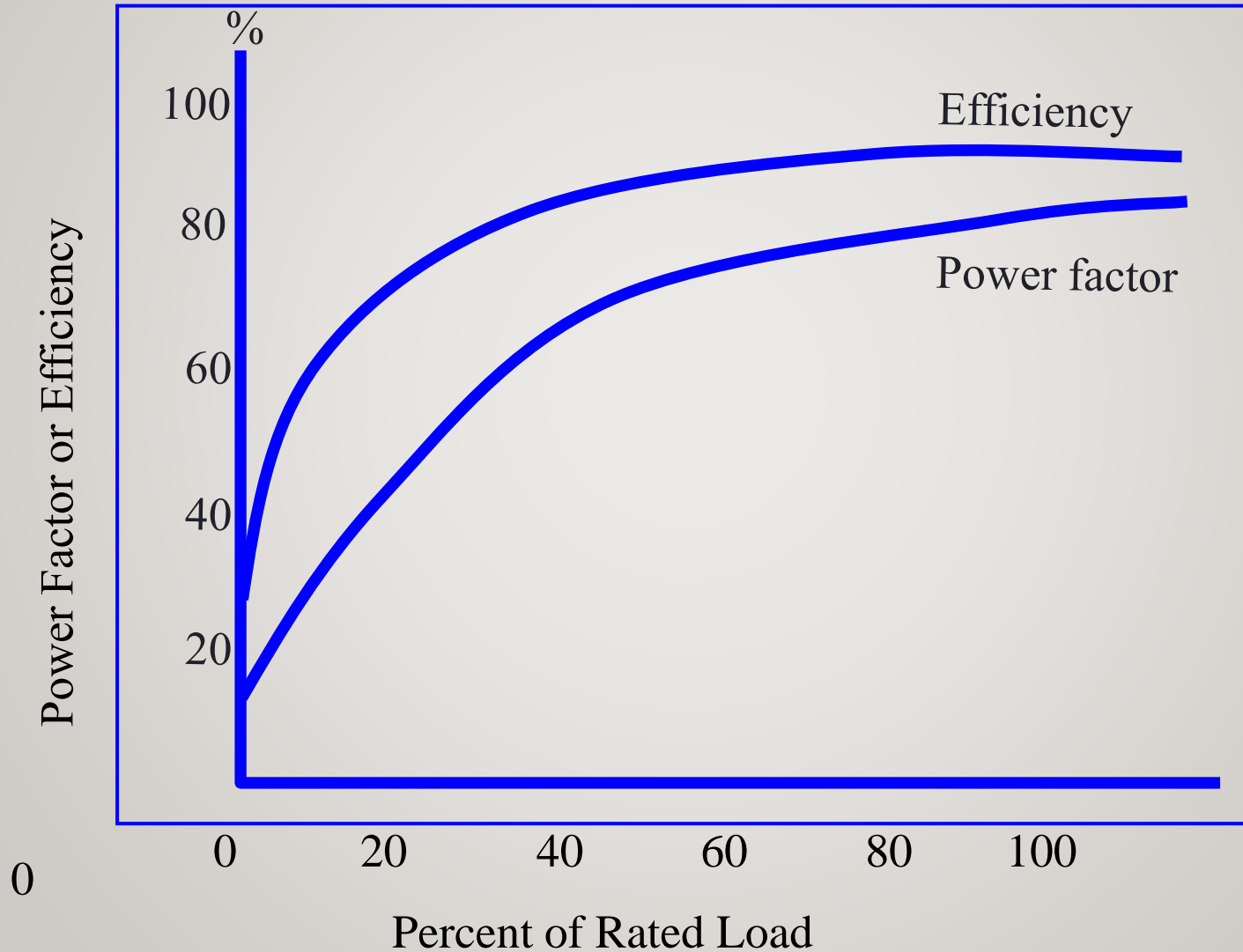
N_s = Synchronous speed (rpm)

FW = Friction & Wintage losses (Watts)

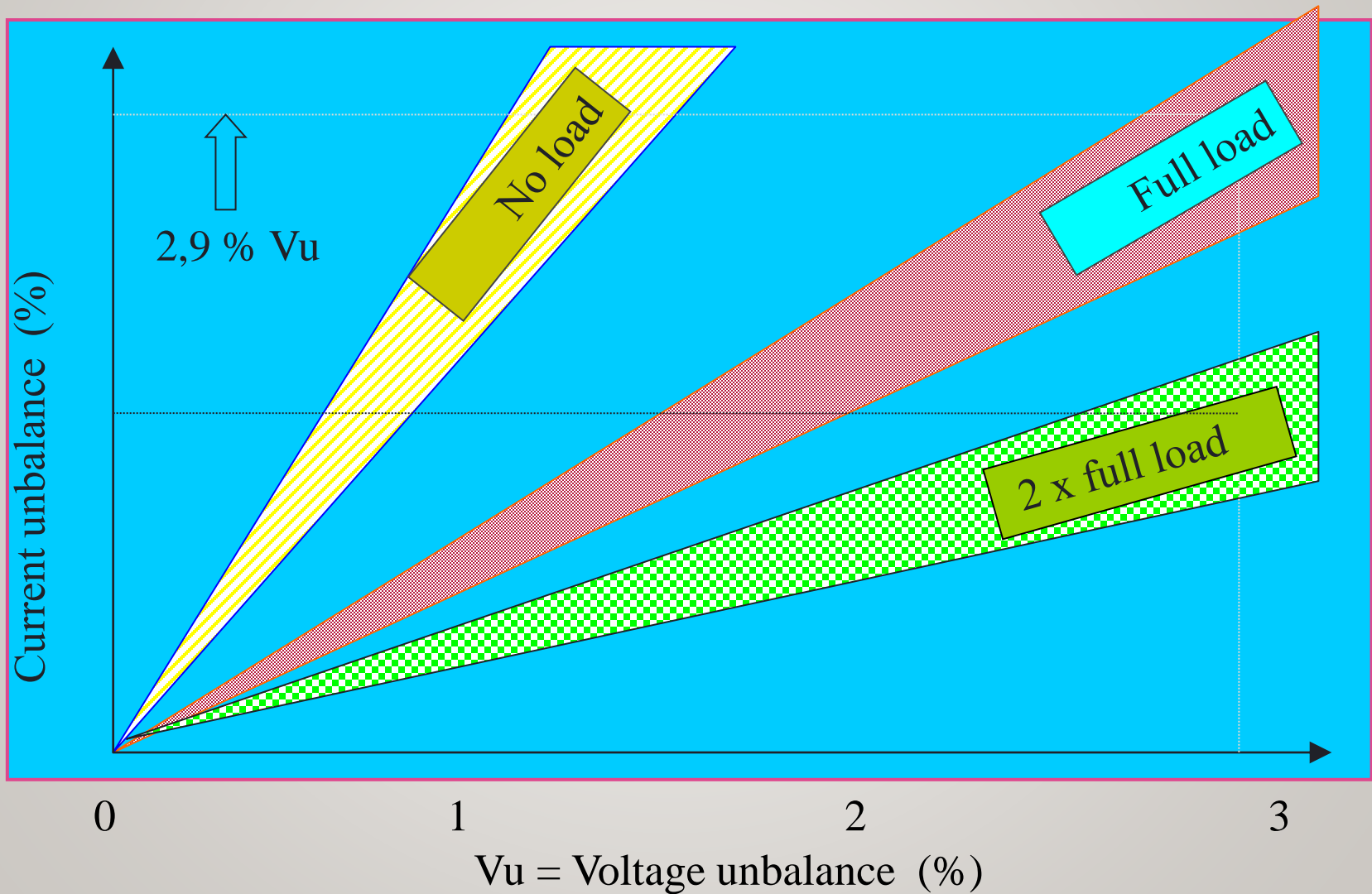
MEREDUKSI RUGI2 MOTOR INDUSI

- ★ Mengurangi atau menghindari pengoperasian motor pada beban nol atau beban yang sangat rendah.
- ★ Pemakaian motor pada beban yang sesuai untuk mempertinggi efisiensi dan faktor daya.
- ★ Menghindari pengoperasian pada tegangan tak seimbang. Ketidakseimbangan tegangan 3 fase akan berakibat buruk terhadap kenaikan rugi-rugi dan temperatur pada belitan motor.
- ★ Pemeliharaan yang baik

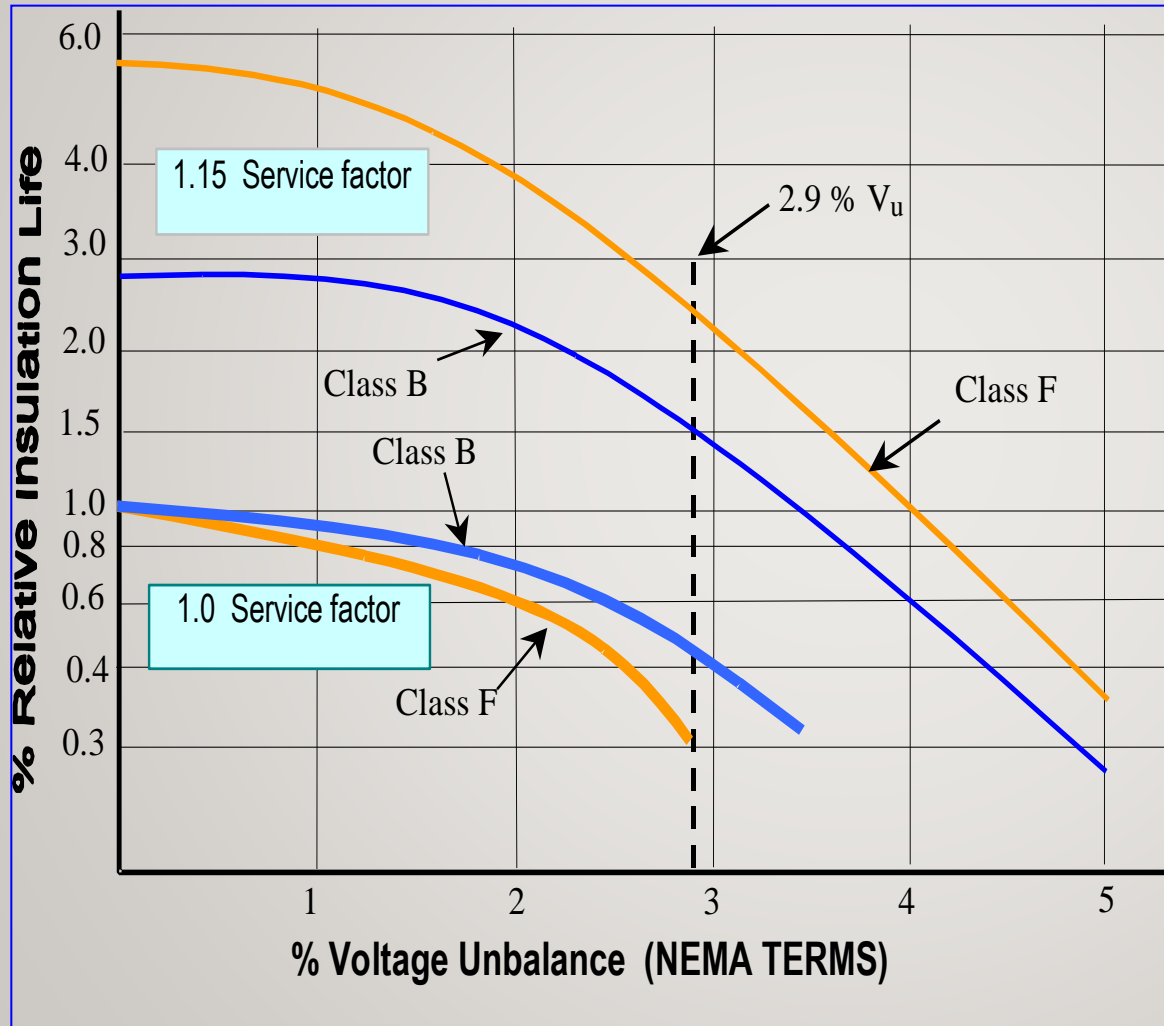
PEMBEBANAN PADA MOTOR



PENGARUH VU PADA MOTOR



PENGARUH FAKTOR PEMELIHARAAN TERHADAP UMUR RELATIF ISOLASI MOTOR



Pengaruh Ketidakseimbangan Tegangan Terhadap Umur Isolasi Relatif Motor pada Beban Penuh, dengan Isolasi Kelas B dan F Untuk *Service Factor* (SF) masing-masing 1,0 dan 1,15.