

ENERGY CONSERVATION ON ELECTRICITY

NAZARUDDIN SINAGA

DAFTAR ISI

- **Pendahuluan**
- **Situasi Penyediaan Listrik**
- **Pembangkitan Listrik**
- **Rugi-rugi Pada Sistem Kelistrikan**
- **Langkah Penghematan Listrik**

- **Listrik, energi esensial terpenting pada berbagai sektor ekonomi**
- **Penggunaan listrik dikelompokkan ke dalam 3 sektor konsumen besar:**
 - a) **Industri**
 - b) **Komersial dan Perkantoran**
 - c) **Rumah Tangga**
- **Pertumbuhan pembangunan dapat diukur dari konsumsi listrik suatu negara**

DEMOGRAFI DAN ENERGI 2009



Features	Total	% of World	World Rank
Luas	1.9 M sq km	1.3	16
Populasi	230 M	3.41	4
GDP	\$ 540 B	0.95	18
Listrik	150 TWh	0.9	15
Energi Primer	150 MTOE	1.5	13
Elektrifikasi	65%	W:80%	NA
Listrik per kapita	591 kWh	W:2500 kWh	NA
HDI	0.600	NA	111

CADANGAN ENERGI NASIONAL

Dalam Juta *Ton Oil Equivalent* [MTOE]

Oil	Gas	Situation 2009	Coal	RE*
7961	8285	Resources	51571	606
1125	3954	Reserve	10384	NA
628	2824	Proven Reserve	2651	NA
48.7	75.8	Production	125.9	13.9
37.0 [24.0]	0 [43.2]	Import [Export]**	0.03 [97.5]	0
59	26.2	Consumption	26.7	13.9

•Including Biomass in MTOE per year

** Crude and Refined Oil

Source of Data: Indonesia Energy and Economy Statistic 2009, MEMR

KONSUMSI LISTRIK BEBERAPA NEGARA

No.	Negara	Penduduk [Juta Jiwa]	Produksi Listrik [Miliar kWh]	GDP per Kapita [USD]	Listrik per Kapita [kWh]
1	USA	307	4167	46300	13654
2	China	1.340	3256	4900	2455
3	Jepang	127	1195	33400	8071
4	Rusia	140	1016	14000	6435
5	Kanada	34	613	38700	17061
6	Malaysia	26	103	14200	3490
7	Thailand	66	148	7900	2079
8	Korea Selatan	49	440	25800	8853
9	Indonesia	240	142	3500	591
10	Philipina	98	57	3100	588

KONSUMSI LISTRIK NEGARA ASEAN

No.	Negara	Penduduk [Juta Jiwa]	Produksi Listrik [Miliar kWh]	GDP per Kapita [USD]	Listrik per Kapita [kWh]
1	Filipina	98	57	3,100	588
2	Indonesia	240	142	3,500	591
3	Malaysia	26	103	14,200	3490
4	Singapura	4.7	41	48,500	8185
5	Thailand	66	148	7,900	2079
6	Brunei	0.4	3	54,400	8308
7	Vietnam	87	61	2,500	799
8	Laos	6.8	2	1,900	NA
9	Myanmar	48	6	1,100	97
10	Kamboja	14	1	1,800	113

Situasi Penyediaan Listrik

- Biaya produksi tinggi. Bauran energi dari BBM masih besar. Tahun 2008, 25% energi dibangkitkan dari BBM..
- Biaya produksi lebih tinggi dari pada harga jual.[banyak pembangkit tua dan pembangkit BBM]. Pemerintah memberikan kompensasi PSO sesuai UU No 19, tahun 2003.
- Laju pertumbuhan konsumsi lebih tinggi dari pada laju pertumbuhan infrastruktur listrik.
- Listrik Indonesia hampir belum pernah yang benar benar aman. Sewa pembangkit hanya penyelesaian darurat ["Panadol"] yang membuat subsidi tetap tinggi..
- Masih ada 12000 dari 71000 desa yang belum berlistrik. Dan masih ada sekitar 80 juta masyarakat yang belum dapat akses listrik dengan baik.

OPERASI PLN 2009

Jumlah Pelanggan	: 40.2 Million
Kapasitas Terpasang	: 29000 MW
Pembangkit IPP	: 4000 MW
Produksi Sendiri	: 115.4 TWh
Pembelian dari IPP	: 36.2 TWh
Biaya Produksi Total	: Rp135.3 Trillion
Energi Terjual	: 134.6 TWh
Pendapatan Total	: Rp145.2 Trillion
Pendapatan Penjualan Listrik	: Rp 90.2 Trillion
Subsidi Pemerintah	: Rp 53.7 Trillion
Biaya Produksi Rata Rata	: Rp 1005 per kWh [US\$ 11.2 cents]
Harga Jual Rata Rata	: Rp 667 per kWh [US\$ 7.4 cents]
Harga Beli IPP Rata Rata	: Rp 676 per kWh [US\$ 7.5 cents]

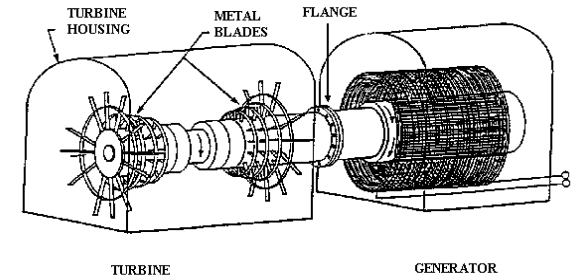
SKENARIO KELISTRIKAN NASIONAL

Bagaimana mengatasi tantangan meningkatnya kesenjangan antara kebutuhan dan pasokan listrik?

- a) Renovasi dan modernisasi pembangkit, sistem transmisi dan distribusi**
- b) Manajemen Kebutuhan (Demand side management)**
- c) Peningkatan kepedulian di antara pengguna energi melalui konservasi energi**
- d) Pemanfaatan sumberdaya energi lokal dan terbarukan?**

PEMBANGKITAN LISTRIK

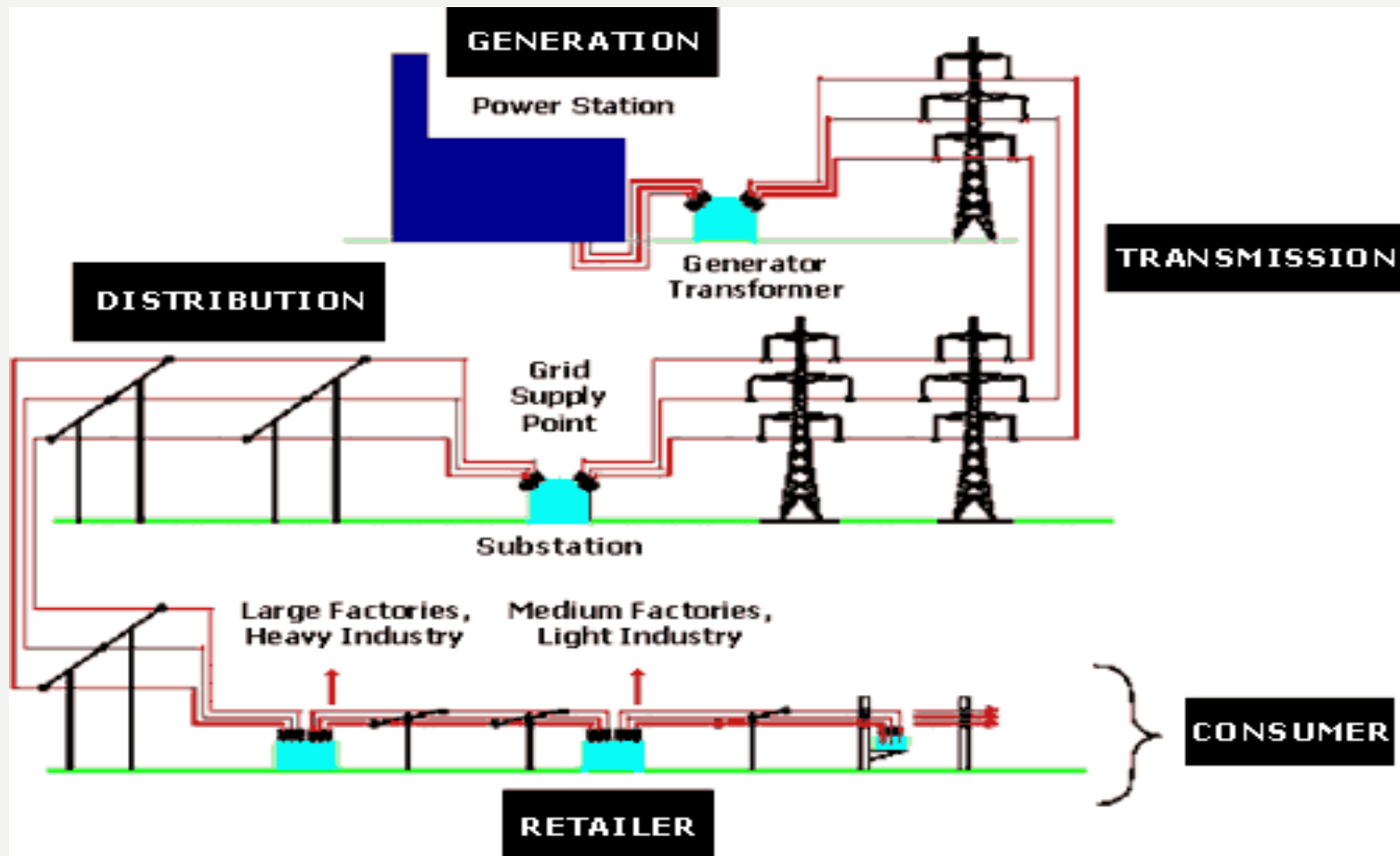
- Listrik umumnya dibangkitkan menggunakan generator AC (alternator) pada pembangkit thermal, tenaga air dan nuklir
- Listrik umumnya dibangkitkan pada tegangan 6.3-23 KV dan kapasitas daya yang dihasilkan pada range berbeda-beda tergantung desain pembangkit
- Daya yang dibangkitkan ditransmisikan ke pemakai melalui jaringan transmisi dan distribusi



When a turbine is attached to the electrical generator, the kinetic energy (i.e., motion) of steam pushes against the fan-type blades of the turbine, causing the turbine, and therefore the attached rotor of the electrical generator, to spin and produce electricity.

Source: www.nca.org

TRANSMISI DAN DISTRIBUSI LISTRIK



PEMBANGKITAN S/D DISTRIBUSI

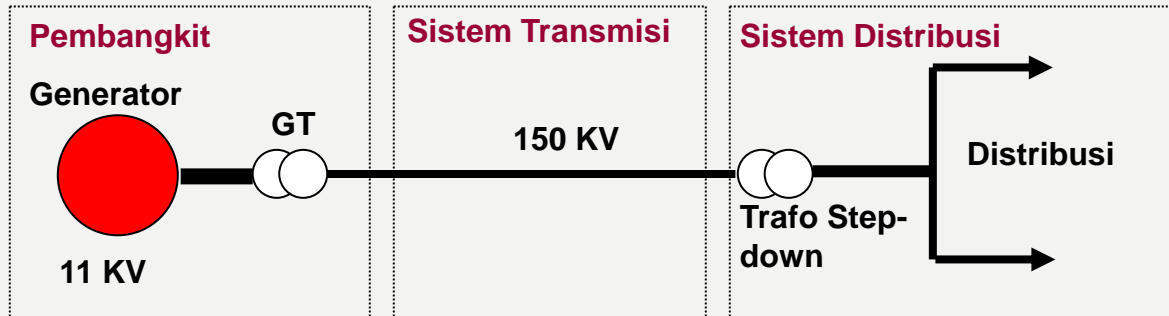
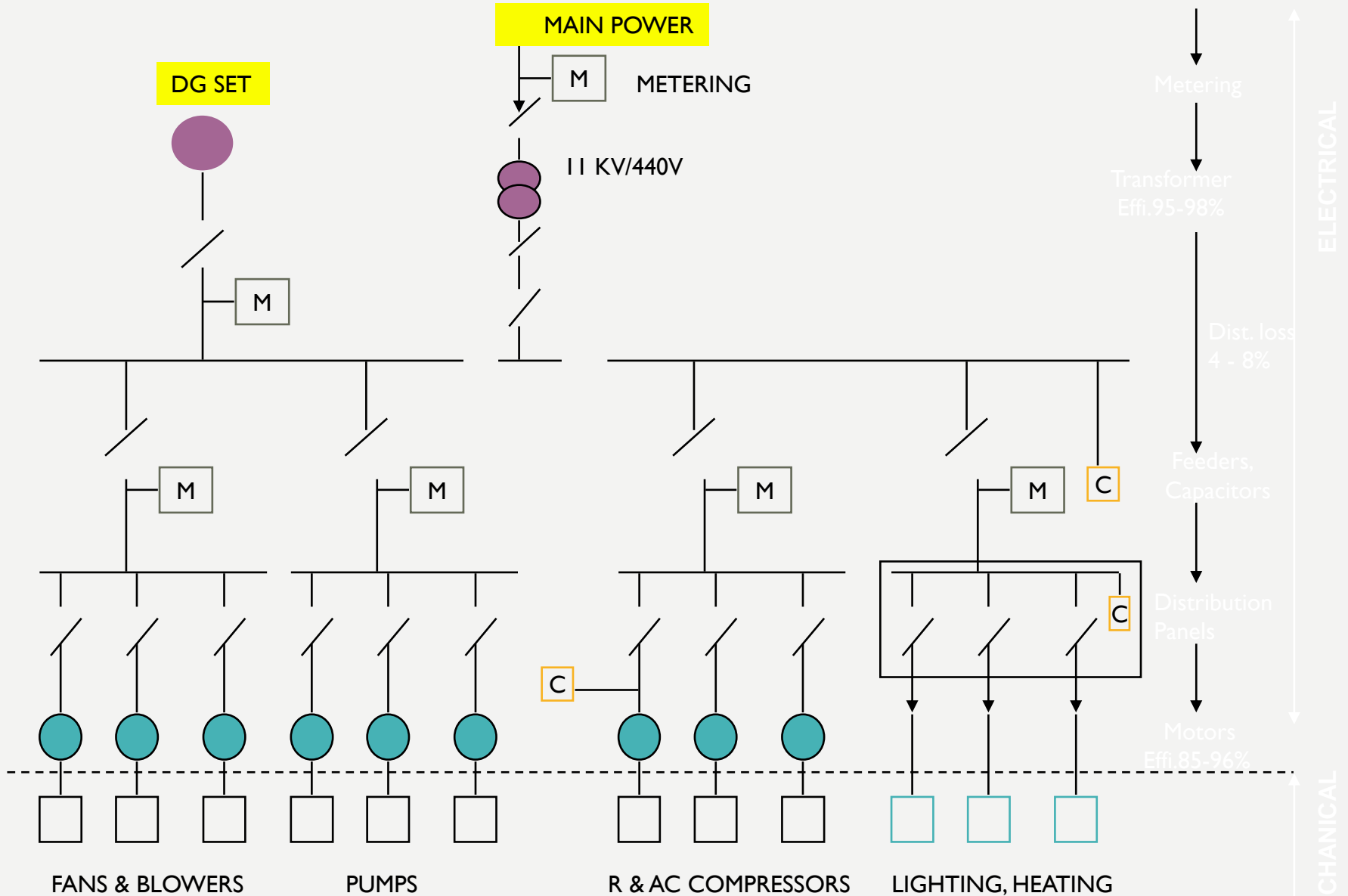


Diagram satu garis sistem transmisi dan distribusi

- Seluruh pembangkit mempunyai generator transformer yang menaikkan tegangan ke level tegangan yang diinginkan (20 kV, 150 kV, 500 kV)
- Sebaliknya, sub-station memiliki transformer penurun tegangan untuk menurunkan tegangan sebelum didistribusikan ke konsumen



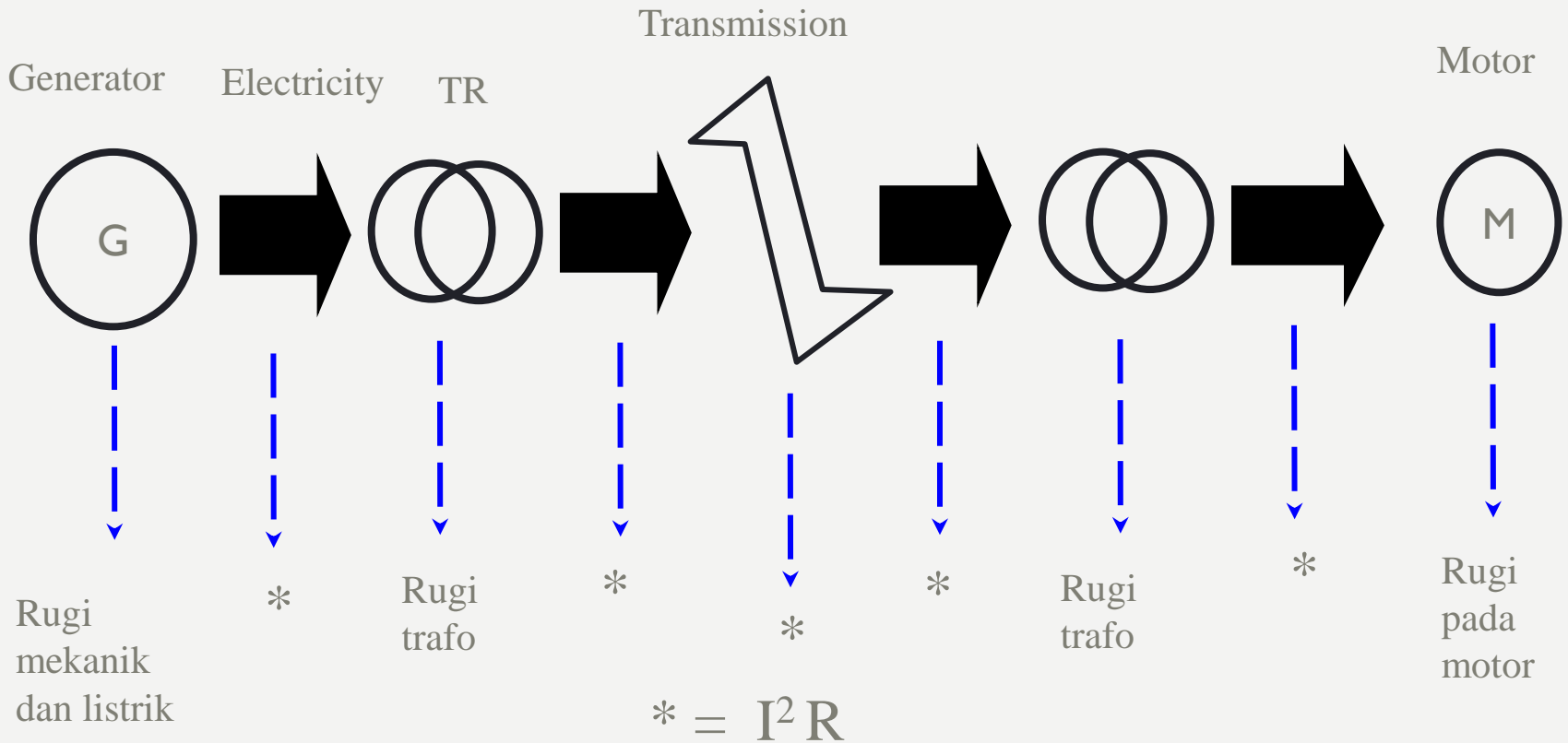
ELECTRICAL DISTRIBUTION SYSTEM -- SINGLE LINE DIAGRAM



TIPIKAL RENTANG RUGI-RUGI ENERGI PADA PERALATAN LISTRIK

Peralatan Listrik	% Rugi Energi pada Beban Penuh (Full Load)
Outdoor circuit breaker (15 to 230 KV)	0.002 - 0.015
Medium voltage switchgears (5 to 15 KV)	0.005 - 0.02
Transformers	0.40 - 1.90
Load break switches	0.003 - 0.025
Medium voltage starters	0.02 - 0.15
Bus ways less than 430 V	0.05 - 0.50
Low voltage switchgear	0.13 - 0.34
Motor control centers	0.01 - 0.40
Cables	1.00 - 4.00
Motors (1-10 HP)	14.0 - 35.0
10 – 200 HP motors	6.0 - 20.0
200 – 1500 HP motors	4.0 - 7.0
Capacitors (Watts / KVAR)	0.50 - 6.0

RUGI-RUGI PADA SISTEM KELISTRIKAN



LANGKAH PENGHEMATAN LISTRIK

- ❖ Pengoperasian Peralatan Konversi Listrik
- ❖ Pengaturan Sistem Pembebanan
- ❖ Perbaikan Faktor Daya

KOMPONEN DALAM TAGIHAN LISTRIK

- **Biaya beban:** tetap, berdasar daya kontrak kVA
- **Biaya Pemakaian (kWh):** berdasar gol. pelanggan S, B, I, P, T, C. Tarif tunggal dan tarif ganda (LWBP & WBP 18.00-22.00)
- **Biaya kelebihan pemakaian kVArh:**

Biaya untuk gol tarif S-3, B-3, I-2, I-3, I-4, P-2, T dan C jika jumlah pemakaian kVArh pada faktor daya kurang dari 0,85
- **Biaya Pemakaian trafo:**

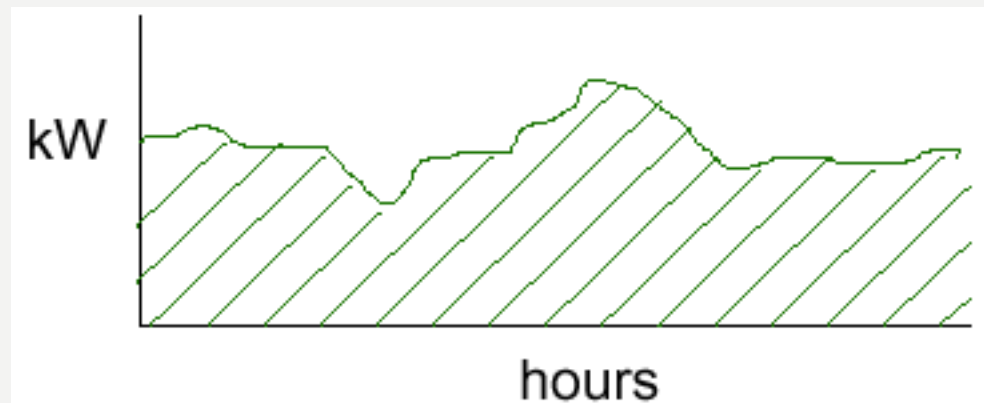
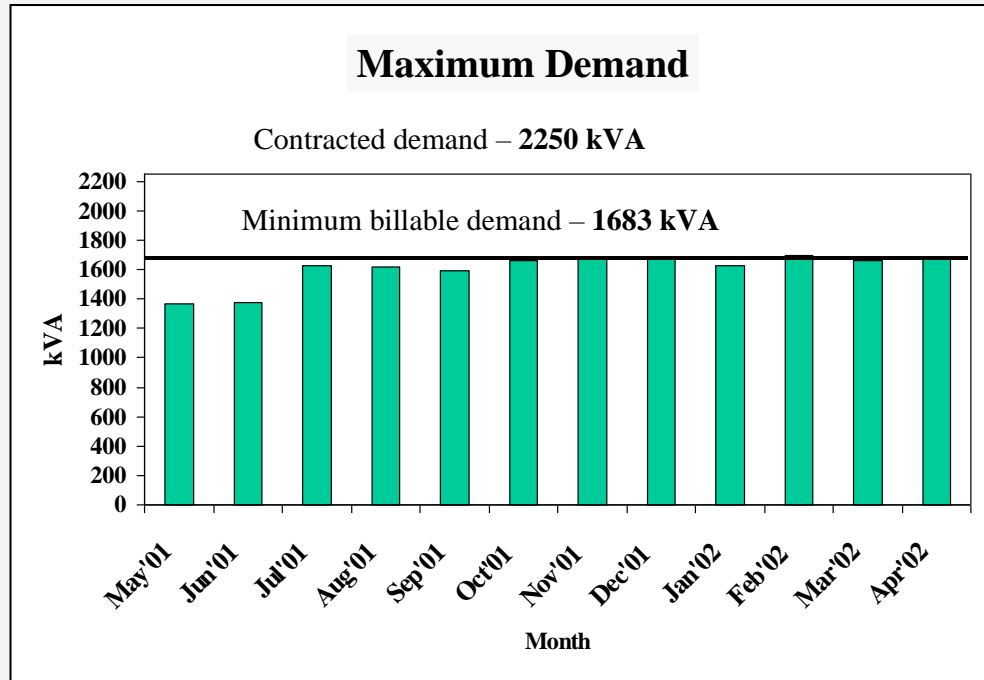
bagi pelanggan yg menggunakan trafo milik PLN
- **Pajak Penerangan Jalan Umum (3%)**

MENURUNKAN BIAYA LISTRIK

Mengurangi:

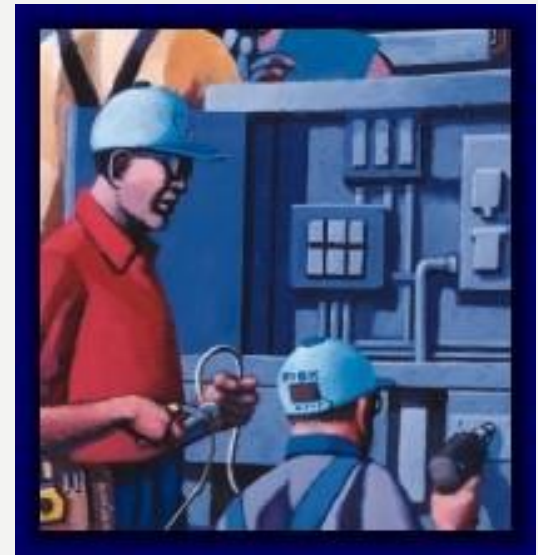
➔ Max.Demand (KVA)

➔ Energy (KWH)



MENEKAN KEBUTUHAN MAKSIMUM

- **Perbaiki Faktor Daya**
- **Manajemen Beban Listrik**
- **Manajemen Tarif**



PERBAIKAN FAKTOR DAYA

$$KW = KVA \times P.F$$

$$100 = 142 \times 0.7$$

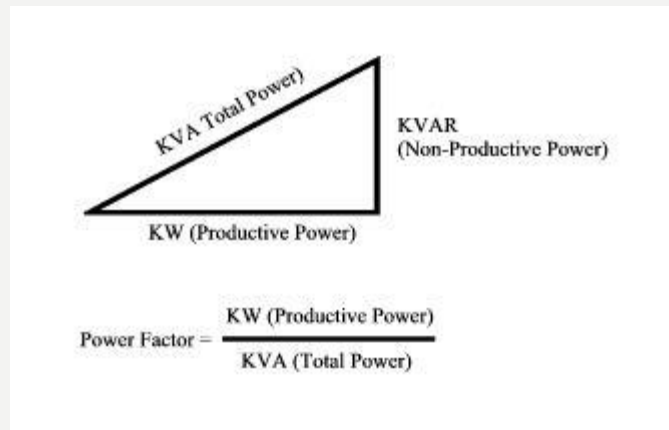
KW atau daya aktif adalah yang dibutuhkan oleh plant. Anggap jika kita menaikkan faktor daya 0.7 ke 0.95, maka:

$$KVA = 100 / 0.95$$

$$KVA = 105$$

Dengan demikian, peningkatan faktor daya mengurangi kebutuhan maksimum (*Maximum Demand*)

TYPICAL UN-IMPROVED POWER FACTOR BY INDUSTRY



Industry	Power Factor
Auto Parts	75-80
Brewery	75-80
Cement	80-85
Chemical	65-75
Coal Mine	65-80
Clothing	35-60
Electroplating	65-70
Foundry	75-80
Forging	70-80
Hospital	75-80
Machine Manufacturing	60-65
Metalworking	65-70
Office Building	80-90
Oil field Pumping	40-60
Paint Manufacturing	65-70
Plastic	75-80
Stamping	60-70
Steel Works	65-80
Tool, dies, jigs industry	65-75

KEUNTUNGAN PADA JARINGAN

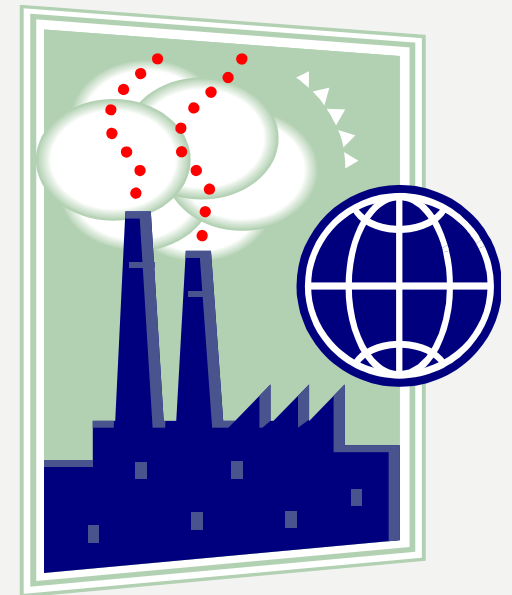
Perbaikan faktor daya jaringan berarti:

- Mengurangi biaya akibat rugi jaringan
- Meningkatkan potensi produksi dan distribusi dari jaringan
- Penghematan ratusan/jutaan ton bahan bakar (dan emisi). Pengurangan *fuel* pembangkit
- Ratusan transformator menjadi siap menerima beban baru karena adanya kapasitas tersisa
- Tidak perlu bangun pembangkit baru dan segala sarana pendukungnya

PERBAIKAN PADA SISTEM KELISTRIKAN

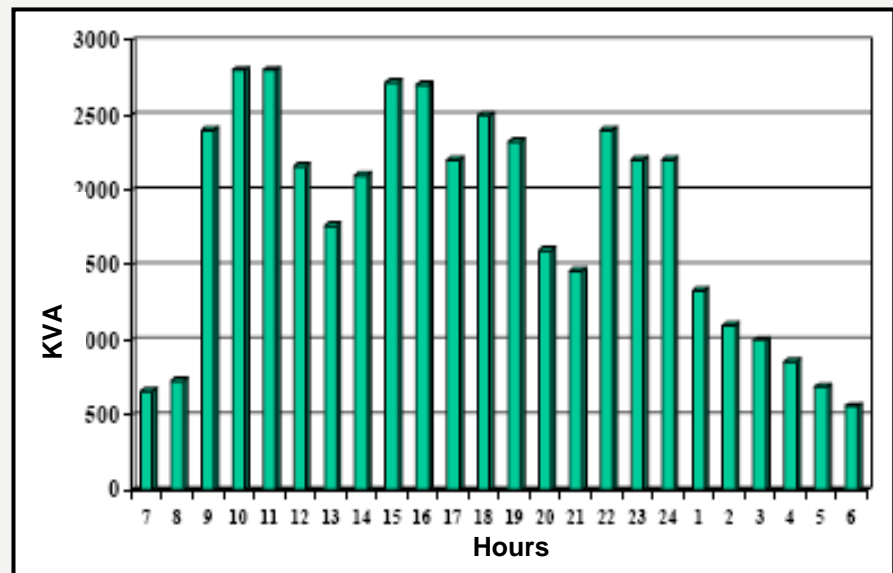
Evaluasi dan perbaikan:

- Ketidakseimbangan tegangan
- Deviasi tegangan
- Koneksi buruk
- Undersized konduktor
- Faktor daya rendah
- Kebocoran insulasi
- Harmonik



MANAJEMEN PEMBEBANAN

- Sasaran manajemen beban puncak adalah mengurangi kebutuhan listrik maksimum untuk menurunkan biaya listrik
- Kurva beban adalah tool yang berguna dalam menata beban



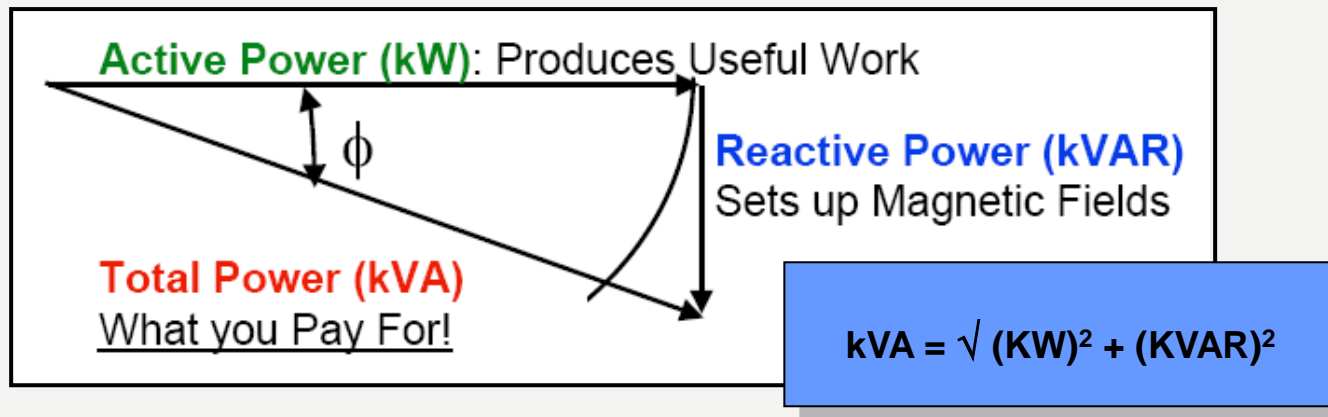
Kurva beban harian suatu industri

MANAJEMEN BEBAN PUNCAK

- 1) Menggeser operasi beban-beban proses yang non-kritis dan non-kontinu ke waktu luar beban puncak**
- 2) Mematikan beban-beban non esensial selama waktu beban puncak (18.00-22.00)**
- 3) Mengoperasikan in-House Generation (bila harga energinya lebih murah) selama waktu beban puncak**
- 4) Instalasi peralatan pengoreksi faktor daya**

DAYA AKTIF DAN DAYA REAKTIF

- Faktor Daya, istilah umum berkaitan dengan efisiensi pada sistem distribusi listrik
- Daya Aktif (kW) adalah daya nyata yang digunakan suatu beban dalam melakukan fungsi
- Daya Reaktif (kVAR) adalah daya untuk magnetisasi
- Pelanggan industri umumnya harus membayar total power (kVA)



Representation of power triangle Source: OIT

PEMANFAATAN BANK KAPASITOR

- **Kapasitor perbaikan (Correction capacitors) berfungsi sebagai pembangkit daya reaktif dan menyediakan daya reaktif yang dibutuhkan untuk melakukan kW suatu fungsi**
- **Mengurangi jumlah daya reaktif, selanjutnya daya total yang digunakan pemakai**

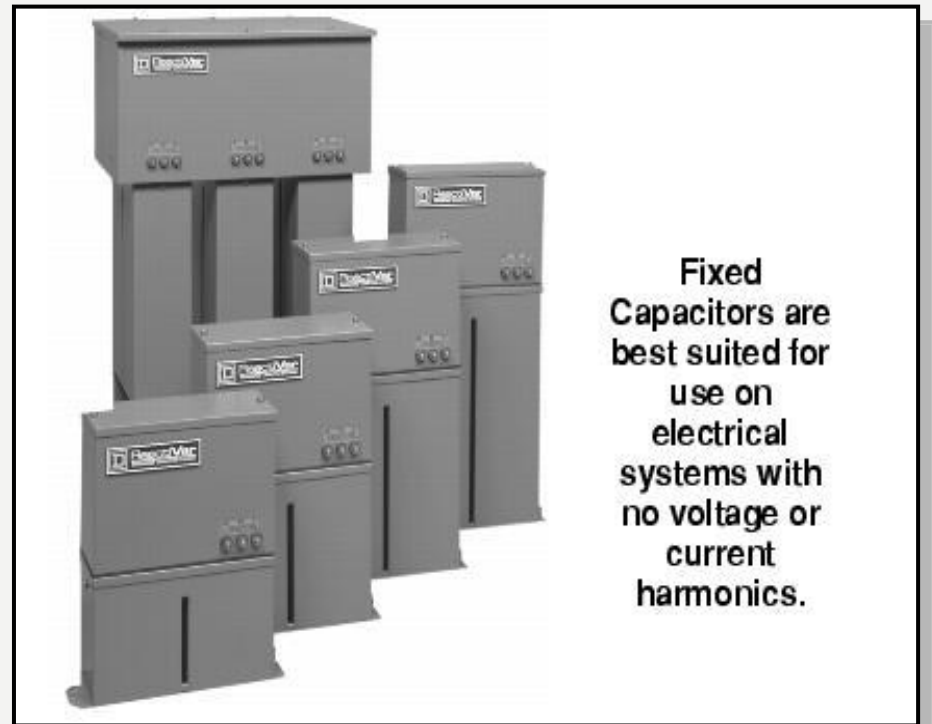
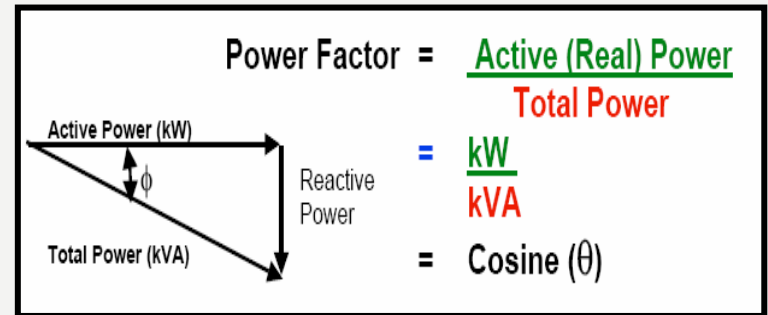


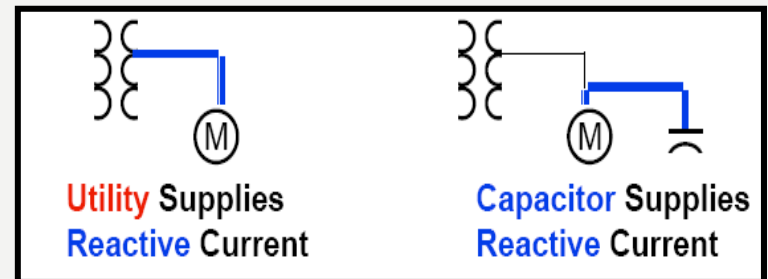
Figure: Fixed capacitor banks
Source: Ecatalog

KORELASI PADA FAKTOR DAYA

- Faktor Daya adalah rasio daya aktif (kW) terhadap daya semu (kVA) = **cosinus** yang terbentuk di antara kedua vektor daya tsb
- Kebutuhan komponen yang tidak diinginkan (kVAR) harus serendah mungkin untuk keluaran kW yang sama -> kVA kecil



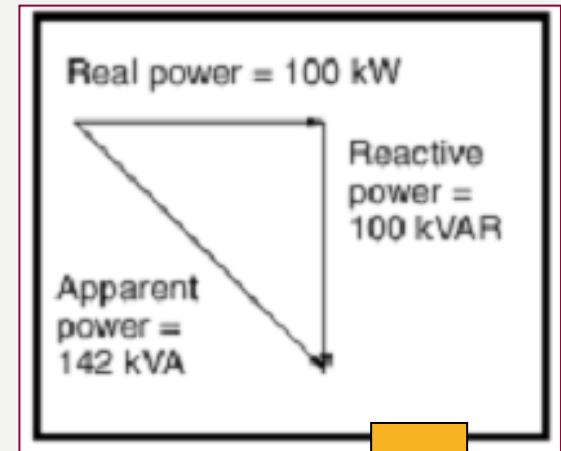
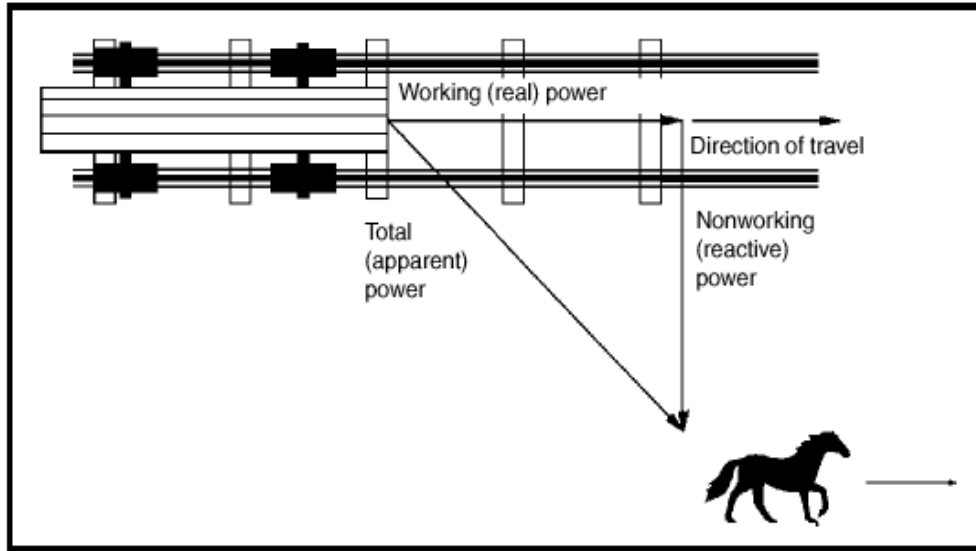
Korelasi Faktor Daya Listrik



Kapasitor sbg kVAR generator

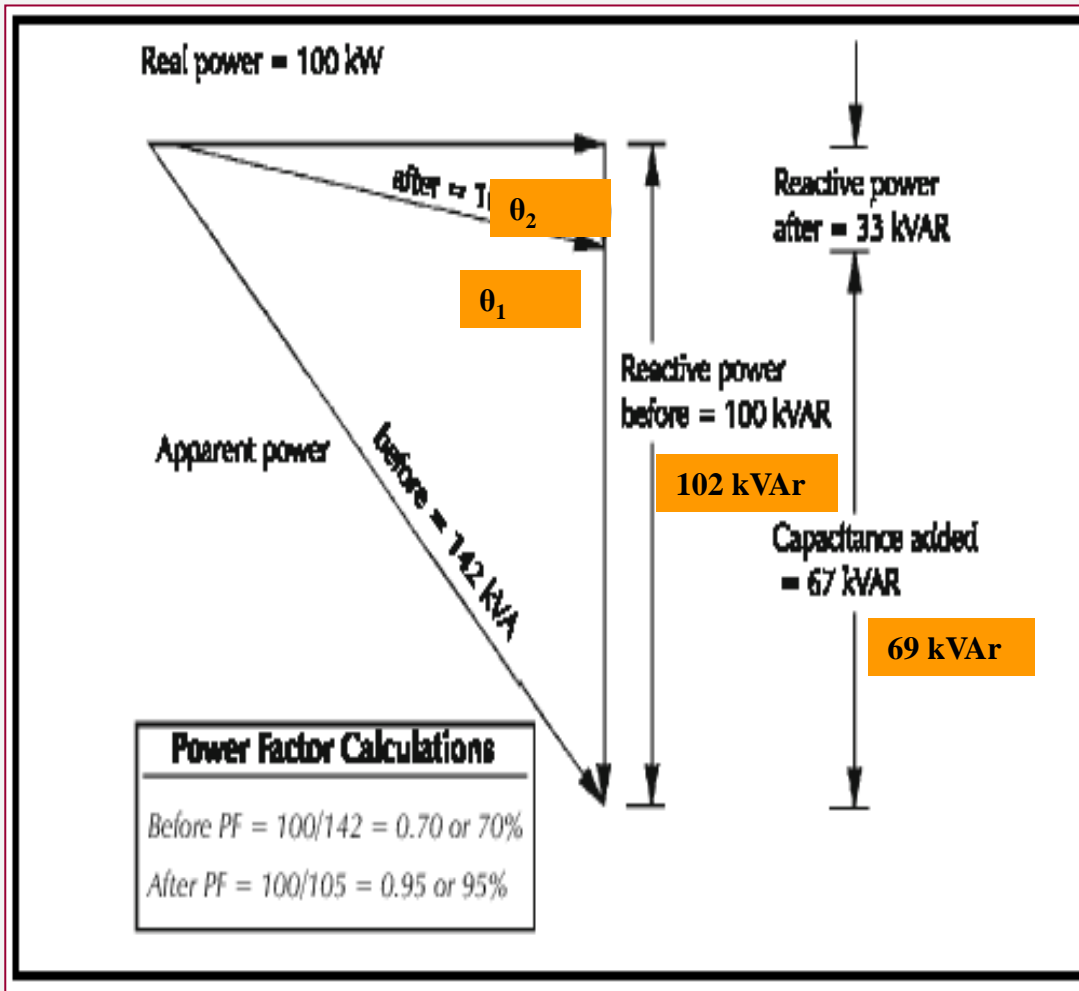
ANALOGI MEKANIKAL FAKTOR DAYA

What is Power Factor?



Real power = 100 kW
and
Apparent power = 142 kVA
then
Power Factor = $100/142 = 0.70$ or 70%.

CONTOH PERHITUNGAN KVAR



Sebelum:

Diketahui: 100 kW,
142 kVA, pf 0.7,
kVAR = 102

Sesudah:

Ditargetkan pf menjadi 0.95
 Daya Total = $100/0.95$
 $= 105$ kVA
 Daya Reaktif = 33 kVAR
 Kapasitor =
 $102 - 33 = 69$ kVAR

$$\text{kVAR} = \text{kW} [\tan \theta_1 - \tan \theta_2]$$

PENENTUAN KAPASITOR

Faktor Pengali untuk Penentuan Kapasitor

Original P.F.	Desired P.F.				
	1.0	0.95	0.90	0.85	0.80
0.55	1.518	1.189	1.034	0.899	0.763
0.60	1.333	1.004	0.849	0.714	0.583
0.65	1.169	0.840	0.685	0.549	0.419
0.70	1.020	0.691	0.536	0.400	0.270
0.75	0.882	0.553	0.398	0.262	0.132
0.80	0.750	0.421	0.266	0.130	
0.85	0.484	0.291	0.136		
0.90	0.328	0.155			
0.95	0.620				

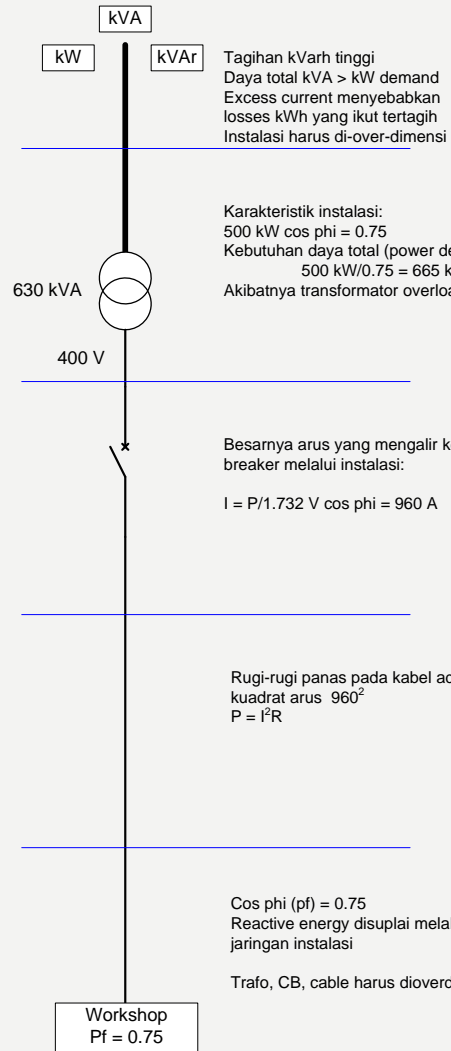
Contoh: Faktor daya dari 0.7 ke 0.95 = 0.691

Jika daya aktif 100 kW maka daya reaktif kapasitor =

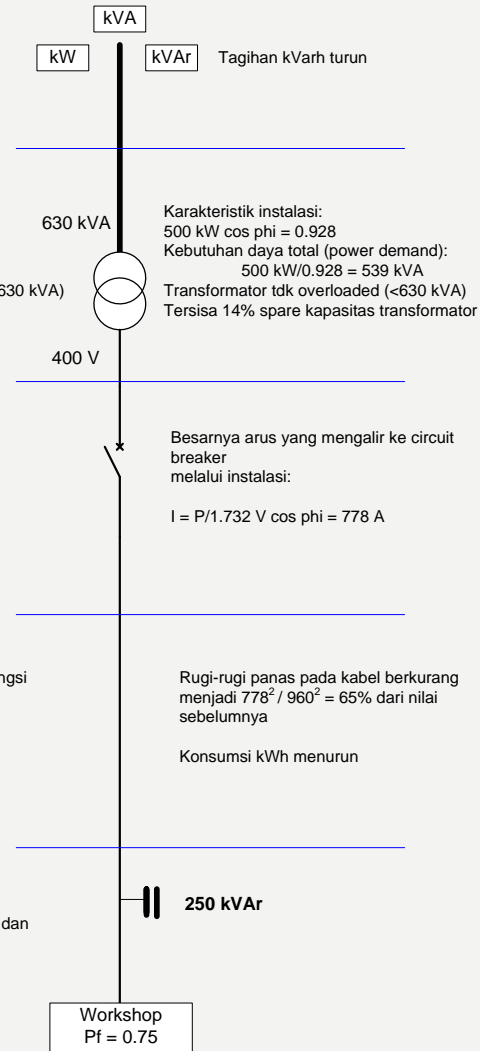
$0.691 \times 100 \text{ kW} = 69.1 \text{ kVAr}$

CONTOH IMPLEMENTASI

SEBELUM
PEMASANGAN KAPASITOR



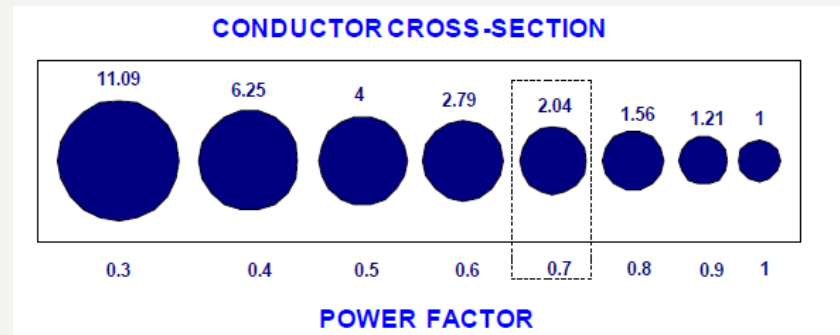
SETELAH
PEMASANGAN KAPASITOR



MANFAAT PENAMBAHAN KAPASITOR

- Total arus pada sistem juga berkurang
- Rugi daya (I^2R) berkurang pada sistem akibat turunnya arus
- Level tegangan pada ujung beban meningkat
- Pembebanan kVA pada sumber listrik generator, transformer dan jaringan hingga kapasitor berkurang
- Meningkatkan daya hantar listrik pada kabel

$$KW = KVA \times P.F$$



MANFAAT TEKNO-EKONOMI

Keuntungan biaya perbaikan faktor daya:

- **Menurunkan biaya kVA (*maximum demand*) pada tagihan pemakai**
- **Mengurangi rugi-rugi distribusi (kWh) dalam jaringan *plant*. Kemampuan jaringan distribusi listrik dlm melayani beban meningkat**
- **Perbaikan tegangan pada terminal motor dan meningkatkan unjuk kerja motor**
- **Faktor daya yang tinggi menghilangkan biaya penalti akibat pengoperasian pada faktor daya rendah**

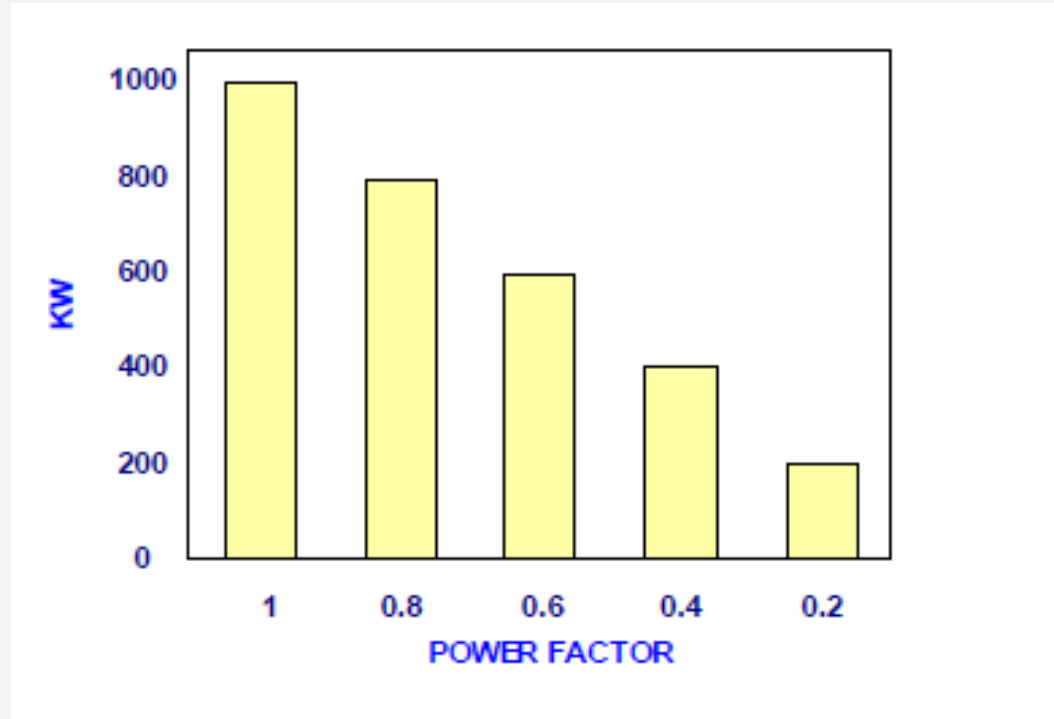
DIRECT COSTS OF LOW POWER FACTOR

- Power factor may be billed as one of or combination of, the following:
- A penalty for power factor below and a credit for power factor above a predetermined value,
- An increasing penalty for decreasing power factor,
- A charge on monthly KVAR Hours,
- KVA demand: A straight charge is made for the maximum value of KVA used during the month. Included in this charge is a charge for KVAR since KVAR increase the amount of KVA.

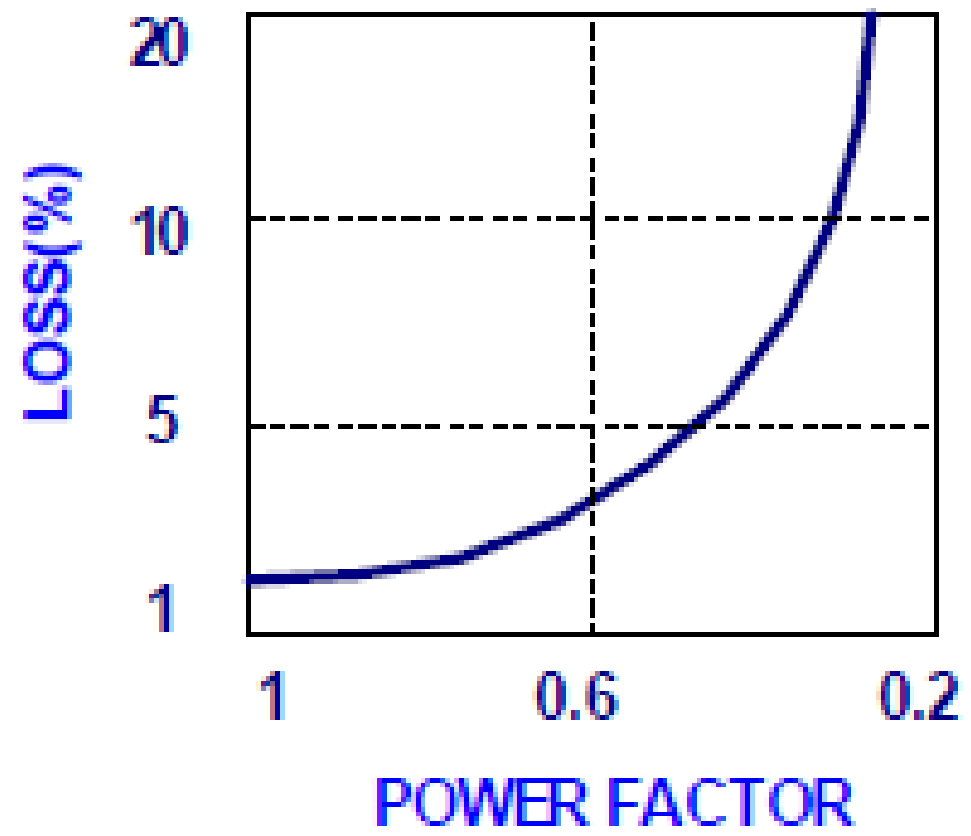
DISADVANTAGES OF LOW POWER FACTOR

- **Direct costs of low power factor**
- **Indirect costs of low power factor**
 - Loss in distribution capacity
 - Larger Investment
 - Transformers
 - Large size conductors

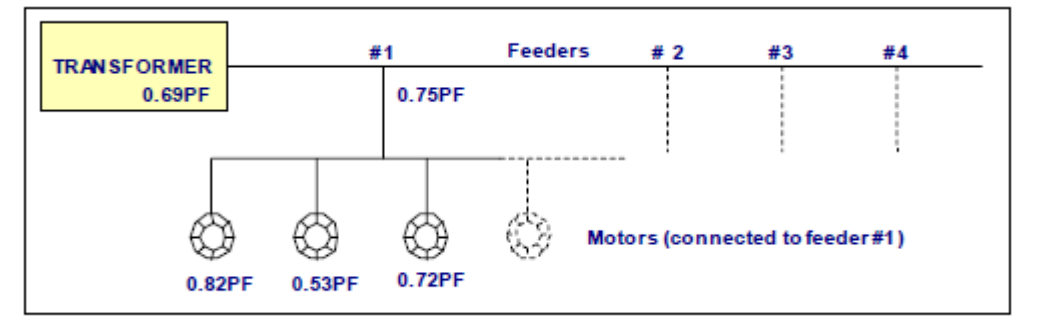
CONTOH SUPPLY 1000 KW



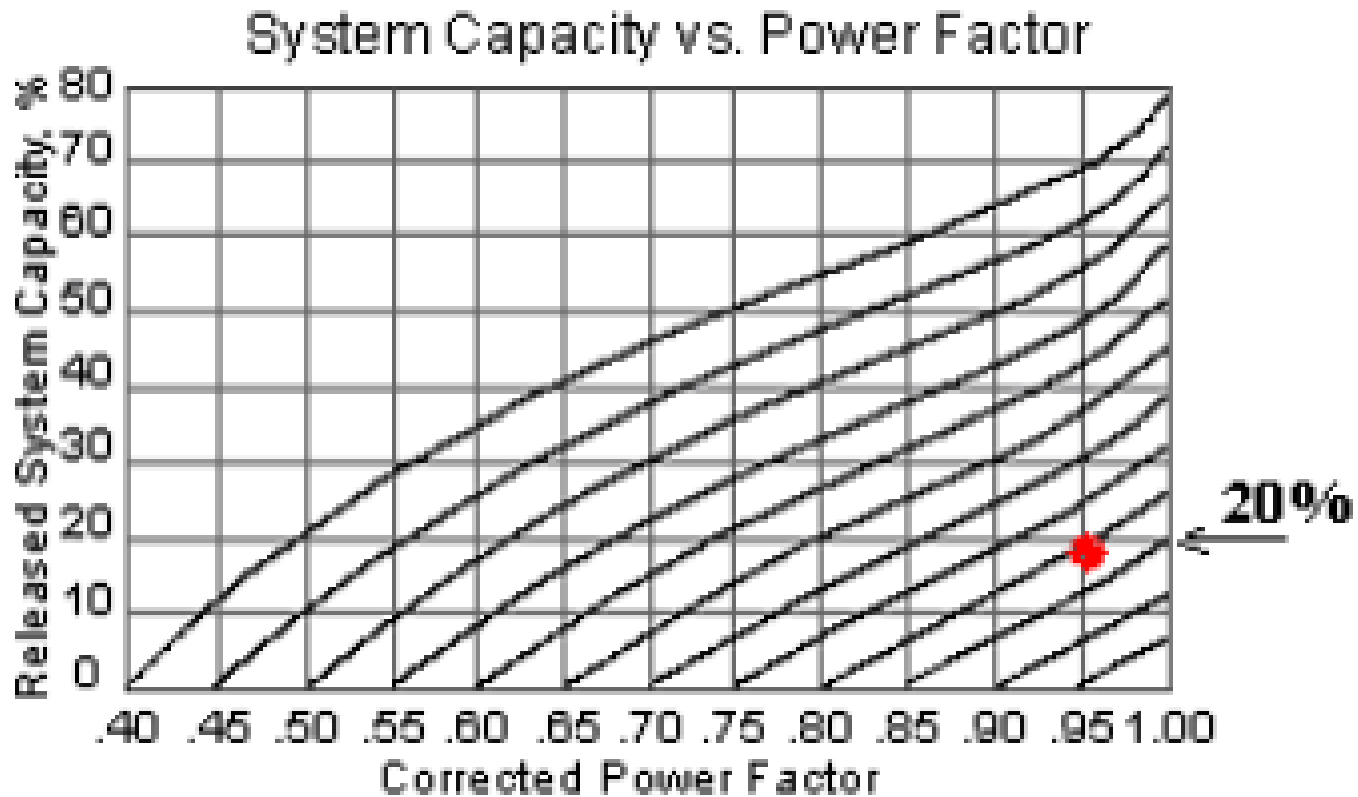
LOSS IN DISTRIBUTION CAPACITY



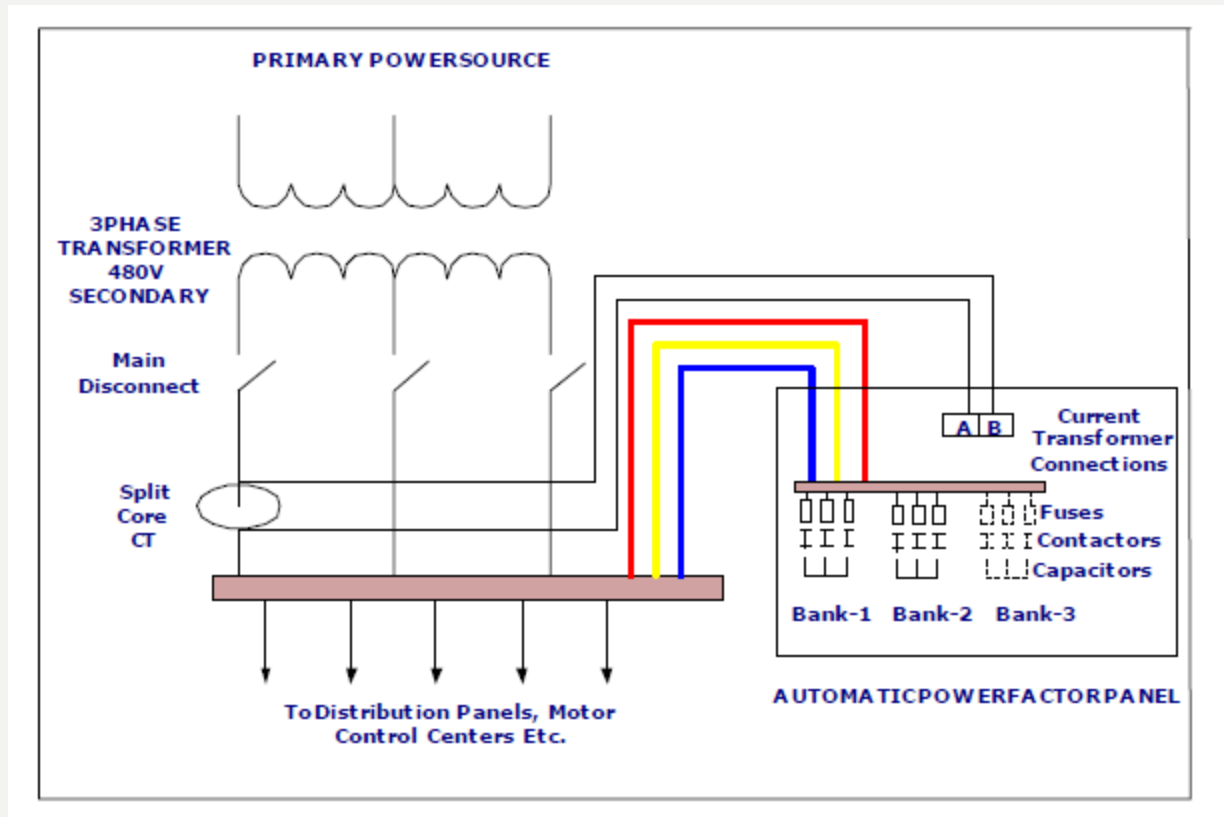
Motor Load Factor	Power Factor
Unloaded	17%
1/4 Loaded	55%
1/2 Loaded	73%
3/4 Loaded	80%
Fully Loaded	84%
Overloaded (25%)	86%



KAPASITAS SISTEM VS PF

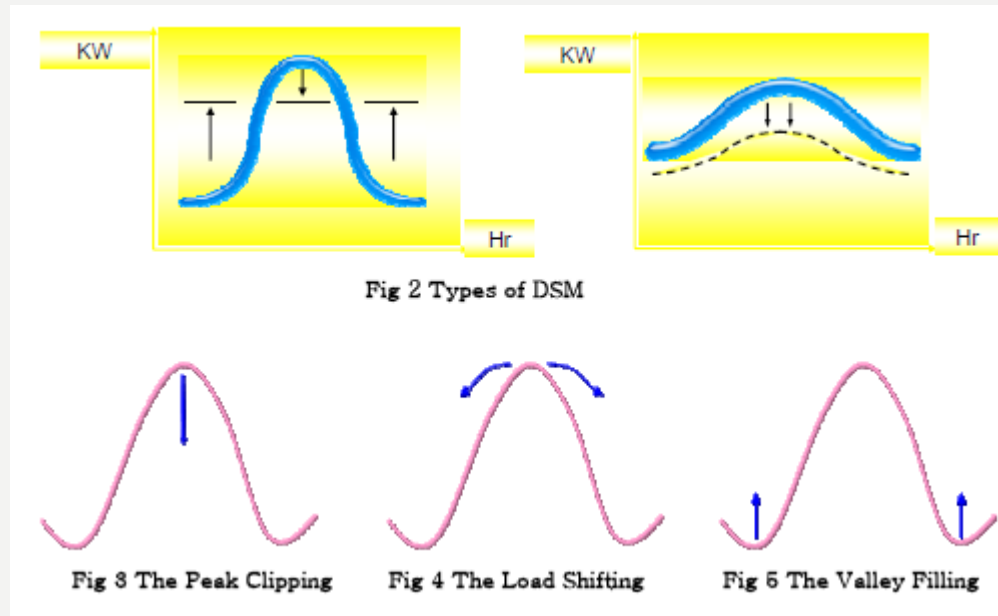


PEMASANGAN KAPASITOR

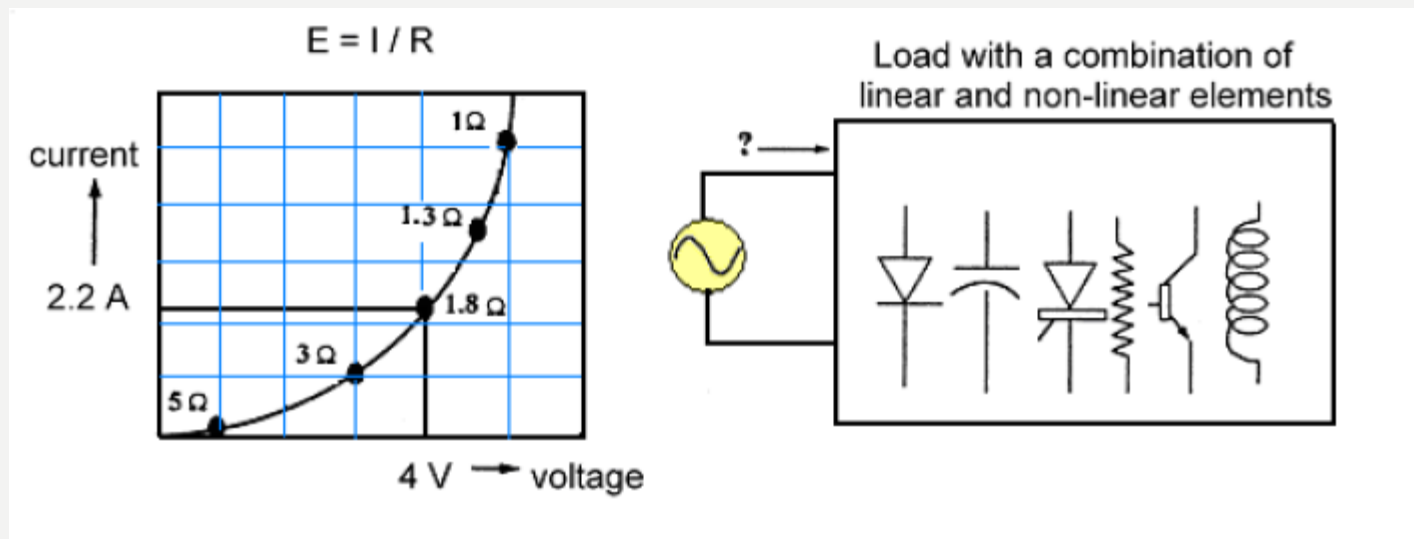
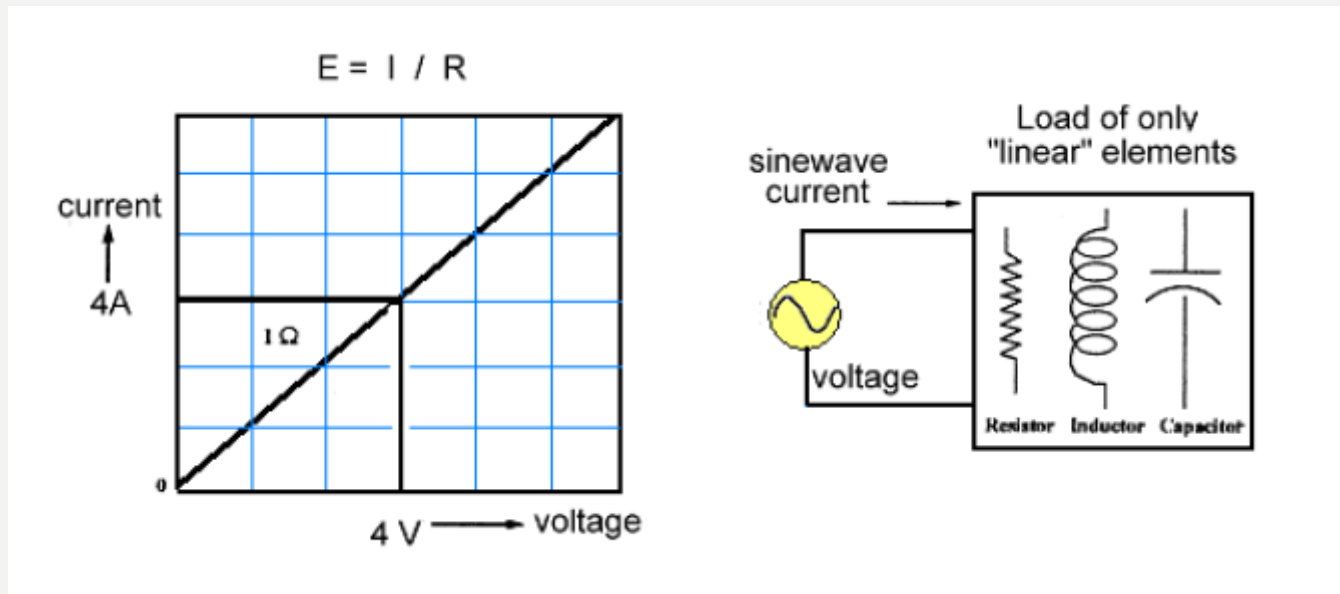


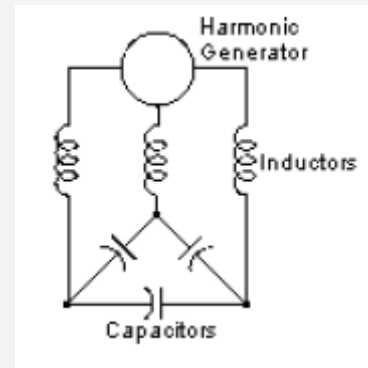
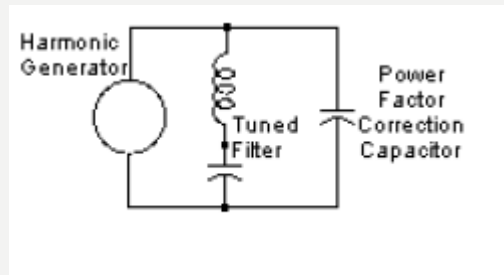
MANAJEMEN BEBAN PUNCAK

- **Kebutuhan listrik bervariasi dari waktu ke waktu**
- **Analisa trend dapat membantu mengidentifikasi area-area untuk pengurangan biaya**



SISTEM LINIER DAN NON LINIER





Harmonic Limits in Electric Power Systems (IEEE 519 1992)

The harmonic voltage limitations set forth by IEEE 519 1992 are:

- 1) Maximum Individual Frequency Voltage Harmonic: 3%
- 2) Total Harmonic Distortion of the Voltage: 5%

PEDOMAN SINGKAT THD

The THDu characterises the distortion of the voltage wave.

Below are a number of THDu values and the corresponding phenomena in the installation:

- THDu under 5% - normal situation, no risk of malfunctions
- 5 to 8% - significant harmonic pollution, some malfunctions are possible
- Higher than 8% - major harmonic pollution, malfunctions are probable. In-depth analysis and the installation of attenuation devices are required

The THDi characterises the distortion of the current wave.

The disturbing device is located by measuring the THDi on the incomer and each outgoing of the various circuits and thus following the harmonic trail.

Below are a number of THDi values and the corresponding phenomena in the installation:

- THDi under 10% - normal situation, no risk of malfunctions
- 10 to 50% - significant harmonic pollution with a risk of temperature rise and the resulting need to oversize cables and sources
- Higher than 50% - major harmonic pollution, malfunctions are probable. In-depth analysis and the installation of attenuation devices are required

FILTER THD

