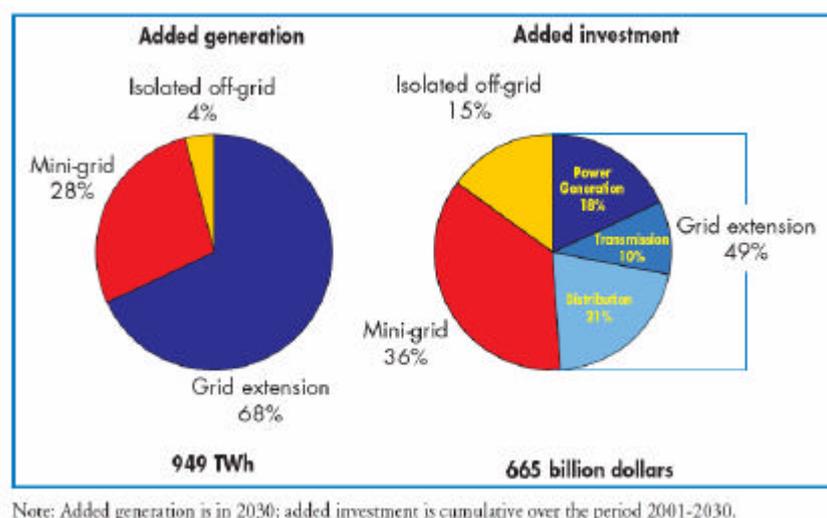


LISTRIK

1. SKENARIO ENERGI DI MASA MENDATANG.....	1
2. PEMBANGKITAN & PENDISTRIBUSIAN LISTRIK	2
3. FASE LISTRIK.....	4
4. DAYA AKTIF DAN REAKTIF.....	5
5. KOREKSI FAKTOR DAYA.....	6
6. MANAJEMEN BEBAN LISTRIK.....	8
7. MEKANISME PENAGIHAN LISTRIK.....	9
8. TRAFKO.....	11
9. FORMULA LISTRIK.....	13
10. REFERENSI	14

1. SKENARIO ENERGI DI MASA MENDATANG

Pemakaian listrik per kapita kadangkala digunakan sebagai indikator perkembangan suatu negara. Di negara yang sedang berkembang, industri merupakan pemakai listrik terbesar dan sekitar 30 persen masyarakat belum dapat menikmati listrik.



Gambar 1: Penambahan pembangkitan & investasi sampai tahun 2030
(Badan Energi Internasional, 2004)

Badan Energi Internasional meramalkan skenario berikut untuk tahun 2030 (IEA, 2004):

- Akses terhadap listrik di negara yang sedang berkembang mencapai 78 persen dari populasi penduduknya, dengan pemakaian rata-rata per kapitanya 2.136 kWh

Peralatan Energi Listrik: Listrik

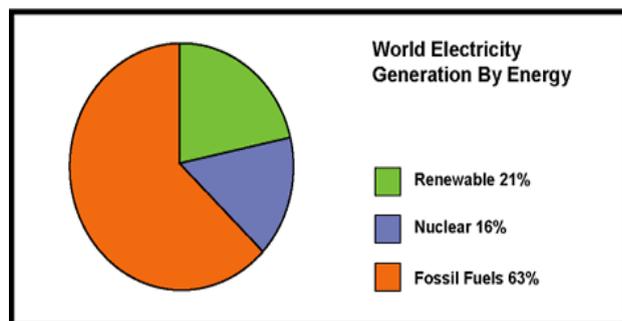
- 1,4 milyar penduduk belum akan dapat memiliki akses terhadap listrik. Investasi tambahan diperlukan sebesar \$665 milyar untuk mencapai akses 100 persen (lihat Gambar 1) dan memberikankan akses keuntungan bagi masyarakat rata-rata 526 kWh/kapita. Mula-mula setiap orang hanya akan mendapatkan akses penggunaan listrik sebagai substitusi bahan bakar tradisional (LPG, minyak tanah) yang digunakan untuk menutupi kebutuhan dasar. Hampir seluruh pasokan tambahan akan diperlukan di Afrika (437 TWh) dan Asia Selatan (377 TWh), atau masing-masing terdapat peningkatan sebesar 25 persen dan 18 persen.

IEA/ Badan Energi Internasional merekomendasikan hal-hal berikut untuk menjamin akses terhadap listrik secara universal (IEA, 2004):

- Renovasi dan modernisasi pembangkit listrik konvensional, dan sistem jaringan dan pendistribusian dengan teknologi baru yang efisien dalam energi
- Manajemen dari sisi permintaan: adopsi dan pelaksanaan penggunaan teknologi yang efisien dalam energi.
- Menciptakan kepedulian diantara anggota pengguna energi untuk pelaksanaan pemantauan penghematan energi dan menerima teknologi baru bilamana tersedia.

2. PEMBANGKITAN & PENDISTRIBUSIAN LISTRIK

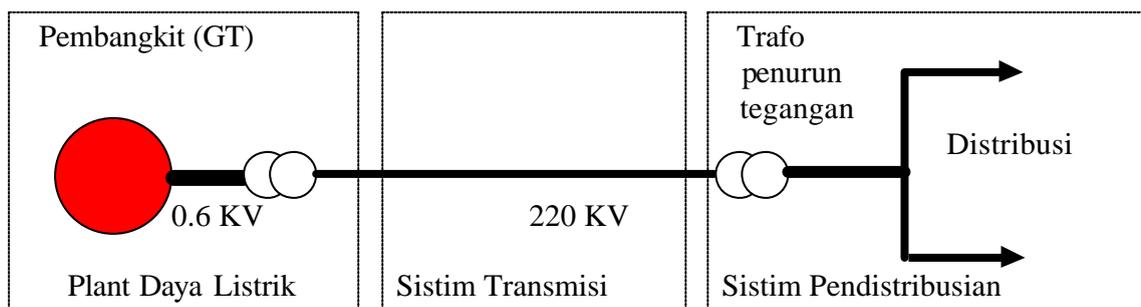
Gambar 2 memperlihatkan bahwa hampir kebanyakan listrik dihasilkan oleh stasiun daya listrik yang menggunakan bahan bakar fosil (batubara, gas, minyak) dan fasilitas nuklir yang menggunakan uranium. Dikarenakan kepedulian terhadap lingkungan dan keselamatan, dan akhir-akhir ini kepedulian terhadap keamanan energi sebagaimana pasokan



Gambar 2. Pembangkitan listrik di dunia
(Administrasi Informasi Energi US, 2004)

minyak tergantung pada sedikit negara, sumber alternatif energi masih sedang digali. Energi yang terbarukan menyediakan 21 persen dari kebutuhan energi dunia, termasuk PLTA/ daya air (20 persen), energi matahari, angin, panas bumi, biomasa, dan ombak (sekitar 1 persen namun makin berkembang).

Gambar 3 memperlihatkan gambaran sederhana mengenai sistem kelistrikan, yang dijelaskan dibawah ini.



Gambar 3. Pembangkitan, transmisi dan distribusi daya listrik

Listrik umumnya dibangkitkan dengan pembangkit AC disebut “alternator” pada pembangkit daya termal, air atau nuklir pada 50 atau 60 siklus per detik. Biasanya listrik dibangkitkan pada sekitar 9 hingga 13 KV di terminal pembangkitnya. Daya yang dihasilkan oleh satu pembangkit (dikenal juga dengan istilah UNIT) berada pada kisaran 67,5 MW, 110 MW, 220 MW, 500 MW, dan ada juga yang mencapai 1000 MW atau lebih. Tingkat MW yang lebih tinggi lebih disukai karena lebih rendahnya pemakaian daya pembantu, biaya perawatan dan biaya operasi per MW yang dihasilkan.

Listrik harus dibangkitkan hanya jika diperlukan, sebab listrik tidak dapat disimpan. Daya yang dihasilkan disalurkan ke pengguna melalui jaringan transmisi dan distribusi, yang terdiri dari trafo, jalur transmisi dan peralatan kontrol. Seluruh stasiun daya memiliki trafo pembangkit (GTs) yang meningkatkan tegangan menjadi tegangan ekstra tinggi (EHV, misal 132 KV, 220 KV, 400 KV) sebelum ditransmisikan. Mentransmisikan daya pada tegangan tinggi mempunyai keuntungan dapat mengurangi kehilangan selama transmisi dan dapat digunakan jalur transmisi yang lebih kecil dan lebih ekonomis, hal ini diperlihatkan pada Tabel 1. Kemudian, pada sub-stasiun dipasang trafo penurunan, yang akan menurunkan tegangan untuk didistribusikan ke pengguna industri, perdagangan dan pemukiman melalui jalur distribusi.

Tidak terdapat perbedaan antara jalur transmisi dan jalur distribusi kecuali tingkat tegangan dan kemampuan penanganan dayanya. Jalur transmisi beroperasi pada EHV dan biasanya mampu mentransmisikan energi listrik dalam jumlah besar yang melintasi jarak yang sangat jauh. Jalur distribusi membawa daya dalam jumlah terbatas pada tegangan lebih rendah dengan jarak yang pendek.

Tabel 1. Keuntungan Transmisi Tegangan Tinggi

Alasan	Penjelasan	Keuntungan
Lebih sedikit terjadi penurunan tegangan	Penurunan tegangan pada jalur transmisi/distribusi tergantung pada tahanan, reaksi dan panjang jalur, dan arus yang terambil. Untuk jumlah daya yang sama yang dialirkan, tegangan yang lebih tinggi menghasilkan arus terambil lebih rendah dan penurunan tegangan yang lebih rendah.	Pengaturan tegangan yang baik (perbedaan antara tegangan yang terkirim dan diterima sekecil mungkin).
Lebih sedikit terjadi kehilangan daya	Daya yang hilang pada jalur sebanding dengan hambatan (R) dan kuadrat arus (I), jadi $P_{Loss} = I^2R$. Tegangan yang lebih tinggi menghasilkan arus yang lebih rendah sehingga kehilangan daya lebih rendah.	Efisiensi transmisi tinggi
Konduktor lebih kecil	Tegangan yang lebih tinggi menghasilkan arus yang lebih rendah sehingga hanya diperlukan konduktor yang lebih kecil untuk mengalirkan arus.	Investasi dan biaya pemasangan lebih sedikit

Contoh

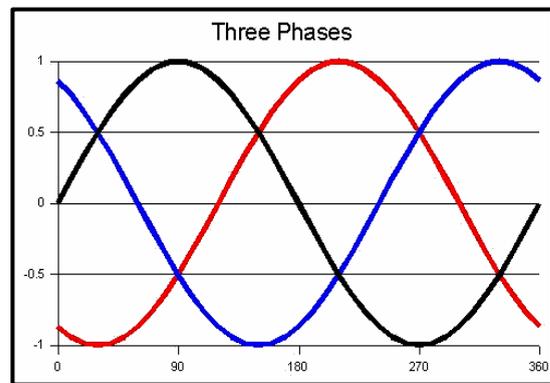
Jika tegangan dari daya yang didistribusikan meningkat dari 11 kV ke 33 kV, maka penurunan tegangan dapat berkurang 1/3 dan kehilangan jalur akan lebih rendah dengan faktor 1/9, atau $(1/3)^2$.

3. FASE LISTRIK

Terdapat satu karakteristik utama dari pasokan listrik AC yang memerlukan penjelasan: fase.

Pada dasarnya pasokan listrik AC dibagi kedalam sirkuit *satu fase* dan *tiga fase*. Sirkuit AC satu fase memiliki dua buah kawat yang dihubungkan ke sumber listrik. Tidak seperti sirkuit DC yang arah arus listriknya tidak berubah, maka dalam sirkuit AC arah arus berubah berkali-kali tiap detiknya tergantung pada frekuensi pasokan. Listrik 240 volt (V) yang dipasok ke rumah kita merupakan listrik AC satu fase dan memiliki dua buah kawat: ‘aktif’ dan ‘netral’.

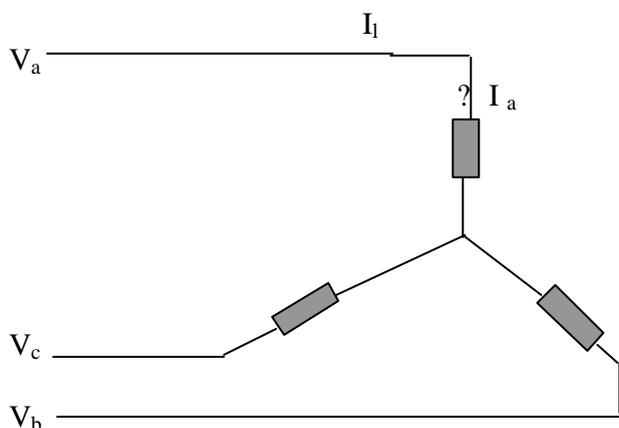
Jalur distribusi dapat terdiri dari empat jalur. Tiga jalur membawa listrik dari tiga sirkuit listrik, yang dibagi menjadi jalur netral yang umum (tiga jalur aktif dan satu jalur netral). Sistem 3 fase memiliki 3 bentuk gelombang (biasanya membawa daya) yaitu $2/3$ p radian (120 derajat, $1/3$ siklus) untuk waktu tertentu.



Gambar 4 menunjukkan sistem satu siklus tiga fase, dari 0 hingga 360 derajat (2 p radian), sepanjang aksis waktu. Garis yang diplotkan menunjukkan keragaman tegangan sesaat (atau arus) dalam waktu. Siklus ini akan berulang 50 atau 60 kali per detiknya tergantung pada frekuensi sistem dayanya. Warna garis menyatakan kode pewarnaan Amerika untuk sistem tiga fase: hitam = V_{L1} merah = V_{L2} biru = V_{L3} .

Gambar 4. Sistem listrik 3 fase
(Wikipedia contributors, 2005)

Sistem pasokan tiga fase selanjutnya dinyatakan oleh hubungan *bintang* dan *delta* seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.



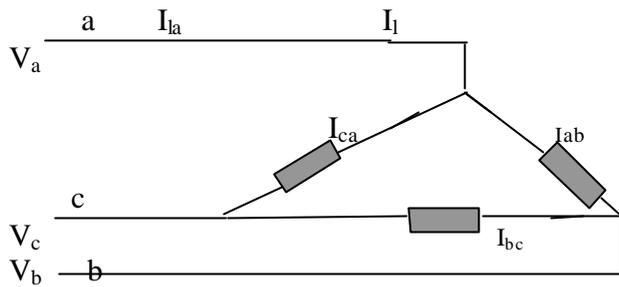
Hubungan Bintang

$I_L = \text{Jalur arus} = I_a = \text{Fase arus}$

$V_a = V_b = V_c = \text{Jalur tegangan}$

$n = \text{Titik netral}$

Jalur tegangan = 1,732 X Fase tegangan



Hubungan Delta

$V_a =$ Jalur tegangan = Fase tegangan

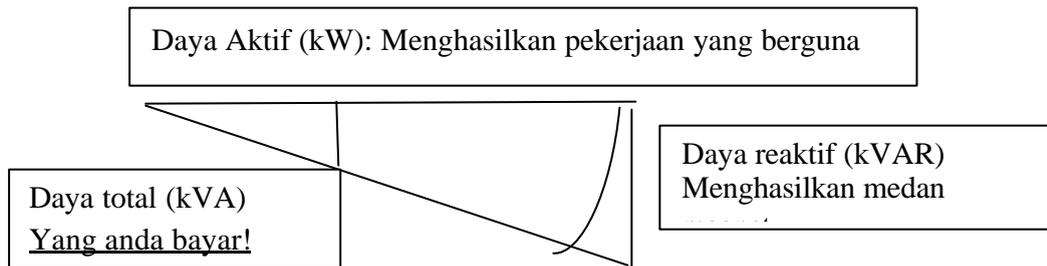
$I_a = I_b = I_c =$ Jalur arus

Jalur arus = 1,732 X Fase arus

Gambar 5. Hubungan bintang dan delta pada sistim listrik

4. DAYA AKTIF DAN REAKTIF

Daya aktif, diukur dalam kilowatt (kW), merupakan daya nyata (daya poros, daya yang sebenarnya) yang digunakan oleh beban untuk melakukan tugas tertentu. Terdapat beban tertentu seperti motor, yang memerlukan bentuk lain dari daya yang disebut daya reaktif (kVAR) untuk membuat medan magnet. Walaupun daya reaktif merupakan daya yang tersendiri, daya ini sebenarnya merupakan beban (kebutuhan) pada suatu sistim listrik. Utilitas harus membayar daya/ kebutuhan total seperti digambarkan dalam Gambar 6.



Gambar 6. Gambaran segitiga daya

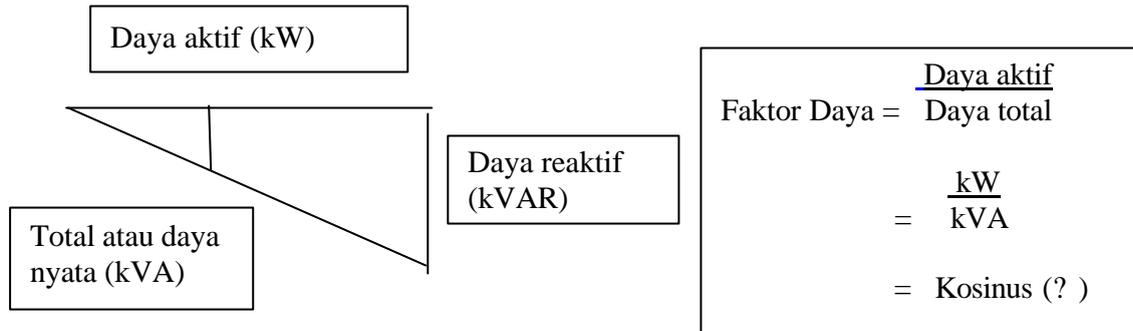
Penjumlahan vektor daya aktif dan reaktif merupakan daya total (nyata), diukur dalam kVA (kilo Volts-Amperes). Daya ini merupakan daya yang dik irim oleh perusahaan energi ke pelanggan. Secara matematis hal ini dapat dinyatakan sebagai:

$$kVA = \sqrt{(KW)^2 + (KVAR)^2}$$

5. KOREKSI FAKTOR DAYA

5.1 Apakah yang disebut Faktor Daya?

Faktor daya adalah perbandingan antara daya aktif (kW) dengan daya total (kVA), atau kosinus sudut antara daya aktif dan total. Daya reaktif yang tinggi akan meningkatkan sudut ini dan sebagai hasilnya faktor daya akan menjadi lebih rendah (Lihat Gambar 7).

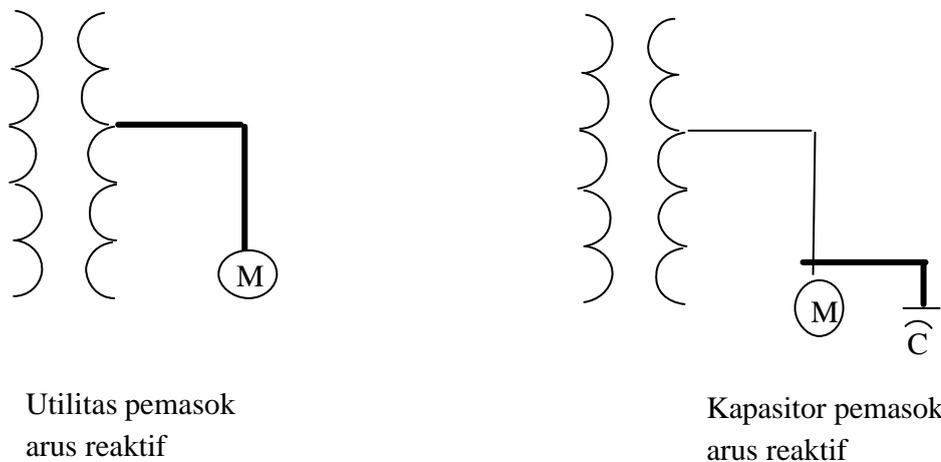


Gambar 7. Factor Daya pada sirkuit listrik

Faktor daya selalu lebih kecil atau sama dengan satu. Secara teoritis, jika seluruh beban daya yang dipasok oleh perusahaan listrik memiliki faktor daya satu, daya maksimum yang ditransfer setara dengan kapasitas sistem pendistribusian. Sehingga, dengan beban yang terinduksi dan jika faktor daya berkisar dari 0,2 hingga 0,3, kapasitas jaringan distribusi listrik menjadi tertekan. Jadi, daya reaktif (kVAR) harus serendah mungkin untuk keluaran kW yang sama dalam rangka meminimalkan kebutuhan daya total (kVA).

5.2 Kapasitor untuk Memperbaiki Faktor Daya

Faktor daya dapat diperbaiki dengan memasang kapasitor pengkoreksi faktor daya (lihat gambar 8 dan 9) pada sistem distribusi daya pabrik. Kapasitor bertindak sebagai pembangkit daya reaktif dan oleh karenanya akan mengurangi jumlah daya reaktif, juga daya total yang dihasilkan oleh bagian utilitas.



Gambar 8. Kapasitor sebagai arus kVAR



Gambar 9: Bank Kapasitor jenis film
(Copper Industries Inc. 2000)

Sebuah contoh yang memperlihatkan perbaikan faktor daya dengan pemasangan kapasitor ditunjukkan dibawah ini.

<p>Contoh</p> <p>Sebuah pabrik kimia memasang sebuah trafo 1500 kVA. Kebutuhan parik pada mulanya 1160 kVA dengan faktor daya 0,70. Persentase pembebanan trafo sekitar 78 persen ($1160/1500 = 77.3$ persen). Untuk memperbaiki faktor daya dan untuk mencegah denda oleh pemasok listrik, pabrik menambahkan sekitar 410 kVAR pada beban motor. Hal ini meningkatkan faktor daya hingga 0,89, dan mengurangi kVA yang diperlukan menjadi 913, yang merupakan penjumlahan vektor kW dan kVA_r.</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>KW = 812</p> <p>KVA = 1160</p> <p>KVAR = 828</p> <p>COS ϕ = 0.70</p> <p>PF = $\frac{812}{1160} = 0.70$</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>KW = 812</p> <p>KVA = 913</p> <p>KVAR = 828 - 410 = 418</p> <p>COS ϕ = 0.89</p> <p>PF = $\frac{812}{913} = 0.89$</p> </div> </div> <p>Trafo 1500 kVA kemudian hanya berbeban 60 persen dari kapasitasnya. Sehingga pabrik akan dapat menambah beban pada trafonya dimasa mendatang. (Studi lapangan NPC)</p>
---	--

5.2 Keuntungan Perbaikan Faktor Daya dengan Penambahan Kapasitor

Keuntungan perbaikan faktor daya melalui pemasangan kapasitor adalah:

Bagi perusahaan:

- Diperlukan hanya sekali investasi untuk pembelian dan pemasangan kapasitor dan tidak ada biaya terus menerus.
- Mengurangi biaya listrik bagi perusahaan sebab (a) daya reaktif (kVAR) tidak lagi dipasok oleh perusahaan utilitas sehingga kebutuhan total (kVA) berkurang dan (b) nilai denda yang dibayar jika beroperasi pada faktor daya rendah dapat dihindarkan.
- Mengurangi kehilangan distribusi (kWh) dalam jaringan pabrik.
- Tingkat tegangan pada beban akhir meningkat sehingga meningkatkan kinerja motor.

Bagi utilitas pemasok listrik

- Komponen reaktif pada jaringan dan arus total pada sistim ujung akhir berkurang

Peralatan Energi Listrik: Listrik

- Kehilangan daya I^2R dalam sistim berkurang karena penurunan arus
- Kemampuan kapasitas jaringan distribusi listrik meningkat, mengurangi kebutuhan untuk memasang kapasitas tambahan

6. MANAJEMEN BEBAN LISTRIK

Di tingkat makro, meningkatnya konsumsi listrik dan kecenderungan menurunnya konsumsi listrik selama waktu tertentu pada siang hari dapat diatur untuk disesuaikan dengan kebutuhan. Dengan mahalnya penambahan kapasitas dan hanya dapat dipasang dalam jangka waktu yang panjang (terutama jika *plant* daya yang baru harus dibangun), manajemen pembebanan yang lebih baik pada penggunaan akhir dapat membantu meminimalkan kebutuhan puncak pada infrastruktur utilitas dan memperbaiki penggunaan kapasitas pembangkit listrik. Beberapa teknik yang efektif untuk manajemen pembebanan diberikan dalam Tabel 2.

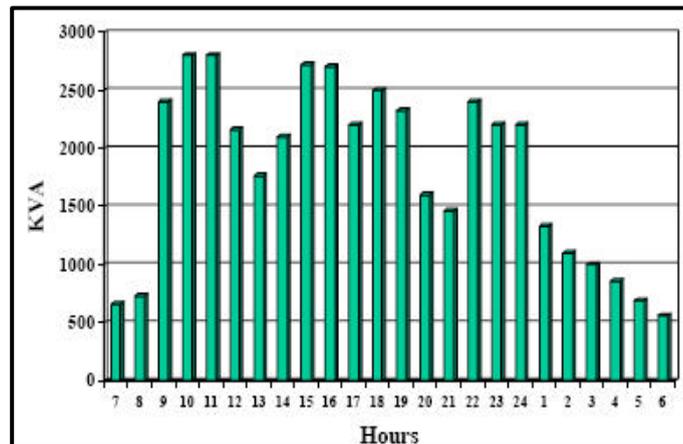
Tabel 2: Strategi Manajemen Beban Puncak (Biro Efisiensi Energi 2004)

<i>Menggeser Beban Proses yang Tidak Kritis dan Tidak Kontinyu ke waktu bukan Beban Puncak</i>	Penjadwalan ulang beban listrik yang besar dan pengoperasian peralatan, pada shift kerja yang ada dapat direncanakan dan diterapkan untuk meminimalkan permintaan maksimum secara bersamaan. Untuk maksud ini, disarankan untuk mempersiapkan diagram alir operasi dan diagram proses. Menganalisa diagram tersebut dengan pendekatan yang terintegrasi, memungkinkan untuk melakukan penjadwalan ulang operasi peralatan dengan berbagai cara untuk memperbaiki faktor beban yang pada gilirannya akan menurunkan permintaan maksimum.
<i>Membuang Beban yang Tidak Penting selama Waktu Beban Puncak</i>	Bila permintaan maksimum cenderung mencapai batas yang sudah ditentukan, pembuangan beberapa beban yang tidak perlu untuk sementara waktu dapat menolong mengurangi beban. Dapat juga dipasang sistim pemantauan langsung, yang akan mematikan beban yang tidak perlu bila batas permintaan yang ditentukan telah tercapai. Sistim yang sederhana adalah dengan membunyikan alarm, kemudian beban dibuang secara manual. Sistim pengendali mikroprosesor yang canggih juga tersedia, yang memberikan opsi pembuangan beban secara otomatis.
<i>Mengoperasikan Pembangkitan di tempat atau Penggunaan Pembangkit Diesel selama Waktu Beban Puncak</i>	Jika digunakan pembangkit diesel (DG) untuk melengkapi daya yang dipasok oleh utilitas listrik, disarankan untuk menggunakan DG untuk waktu beban puncak. Hal ini akan mengurangi permintaan beban menuju tingkat yang dapat dipertimbangkan dan meminimalkan biaya tagihan.
<i>Mengoperasikan unit AC selama waktu bukan beban puncak dan menggunakan penampung termis dingin</i>	Memungkinkan untuk mengurangi permintaan maksimum dengan cara membangun tempat penyimpanan produk/ bahan, air, air dingin/ air panas, yang dioperasikan selama waktu beban rendah. Operasi pada waktu beban rendah dapat menolong dalam menghemat energi dikarenakan kondisi yang baik seperti suhu luar yang lebih rendah dll.
<i>Pemasangan Peralatan Pengkoreksi Faktor Daya</i>	Permintaan maksimum dapat juga dikurangi pada pabrik dengan menggunakan bank kapasitor dan menjaga faktor daya optimal. Sistim tersebut menyala-matikan bank kapasitor untuk mencapai faktor daya yang dikehendaki pada suatu sistim sehingga dapat mengoptimalkan permintaan maksimum.

Peralatan Energi Listrik: Listrik

Suatu penyajian dari permintaan beban oleh pemakai terhadap waktu dikenal dengan nama 'Kurva Beban'. Jika permintaan beban diplotkan untuk 24 jam pada satu hari, dikenal dengan istilah 'Kurva Beban Jam-an' (lihat Gambar 10) dan jika permintaan harian diplotkan untuk selama satu bulan, disebut 'Kurva Beban Harian'.

Kurva beban berguna dalam memperkirakan pola permintaan daya rendah yang tinggi untuk bagian pabrik, pabrik keseluruhan, jaringan distribusi, dll.



Gambar 10: Kurva beban harian industri rekayasa
(Badan Produktivitas Nasional, India)

7. MEKANISME PENAGIHAN LISTRIK

Utilitas biasanya menerapkan struktur tarif dua bagian dalam tagihan listriknya untuk perusahaan besar dan sedang:

- *Tagihan Energi* – Biaya ini berkenaan dengan energi aktual atau daya aktif (kilowatt jam atau kWh) yang dipakai selama satu bulan/ jangka waktu tagihan. Beberapa utilitas saat ini mengenakan tagihan berdasarkan pada energi yang nyata terlihat (kVAh), yang merupakan penjumlahan vektor kWh dan kVArh.
- *Tagihan Permintaan Maksimum* – Tagihan ini merupakan tagihan permintaan maksimum yang tercatat selama sebulan/ jangka waktu penagihan dengan laju utilitas yang sesuai. Maksud dari pemberian hukuman/ penalti bagi beban puncak adalah untuk mendorong pengguna akhir untuk mengurangi beban puncak. Perusahaan dapat mengatur beban puncaknya (misal dengan mengurangi faktor daya) sehingga akan mengurangi tagihan listrik bulanan, tanpa perlu mengurangi penggunaannya.

Komponen lain dari tagihan listrik adalah:

- *Hukuman/ penalty atau bonus faktor daya*, yang diterapkan oleh hampir seluruh utilitas, adalah mengambil daya reaktif dari *grid*.
- *Biaya bahan bakar*: penyesuaian biaya yang diterapkan oleh beberapa utilitas untuk menyesuaikan biaya kenaikan bahan bakar terhadap nilai acuan dasar.
- *Tagihan listrik*: tagihantambahan berdasarkan jumlah listrik yang dipakai
- *Penyewaan meteran*: biaya tetap setiap bulan untuk meteran energi yang dipasang

Peralatan Energi Listrik: Listrik

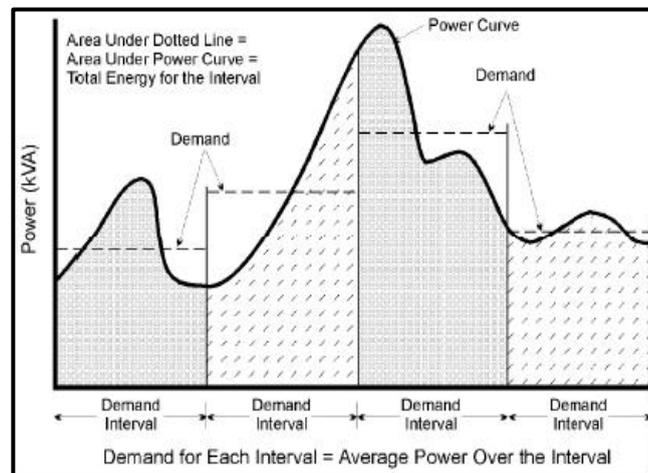
- *Pemakaian daya untuk penerangan dan fan*: tagihan yang lebih tinggi dari biaya listrik yang normal, yang dapat ditagihkan berdasarkan basis *slab* atau secara actual berdasarkan meteran.
- *Tagihan Waktu dalam Sehari (Time Of Day/ TOD)*: berbagai tagihan untuk jam beban puncak dan bukan puncak.
- *Hukuman/ penalti untuk penggunaan yang melebihi permintaan kontrak*

Utilitas memasang sebuah elektromagnetik atau meteran *trivector* elektronik untuk maksud penagihan, yang mengukur hal-hal berikut:

- Pemakaian maksimum yang tercatat selama sebulan, yang diukur pada interval waktu tertentu (misal 30 menit) dan disetel ulang pada setiap akhir siklus penagihan
- Energi aktif dalam kWh selama siklus penagihan
- Energi reaktif dalam kVARh selama siklus penagihan dan
- Energi yang nyata kelihatan dalam kVAh selama siklus penagihan

Suatu kurva permintaan ditunjukkan dalam Gambar 11. Pemakaian yang terukur melebihi yang ditentukan pada suatu interval waktu dan perhitungan rata-ratanya yang terlihat pada garis putus-putus.

Pemakaian maksimum akan menjadi pemakaian tertinggi dari nilai pemakaian yang dicatat dalam bulan penagihan. Meteran mencatat hanya jika nilai melampaui nilai pemakaian maksimum sebelumnya dan bahkan jika permintaan maksimum rata-ratanya rendah, industri/fasilitas dipungut biaya berdasarkan pada nilai permintaan maksimum tertinggi yang terukur.



Gambar 11: Kurva Permintaan
(Badan Produktivitas Nasional)

Baru-baru ini hampir semua dewan pengurus listrik telah mengubah dari meteran *trivector* elektromekanis konvensional ke meteran elektronik, yang memiliki kemampuan yang sangat baik yang dapat membantu utilitas maupun industri. Kemampuan tersebut meliputi:

- Memori yang besar untuk data harian dan pencatatan seluruh kejadian terkait
- Ketelitian yang tinggi hingga mencapai tingkat 0,2
- Kemampuan untuk mencatat tarif berdasarkan data waktu harian
- Mencegah terjadinya perubahan terhadap pencatatan
- Pengukuran harmonis dan total distorsi harmonis (THD)
- Masa layanan yang panjang disebabkan tidak adanya bagian yang bergerak
- Kemampuan untuk mengakses/download data dari jarak jauh

Analisa kecenderungan permintaan listrik dan komponen biaya dapat membantu industri dalam mengidentifikasi area yang memungkinkan untuk menurunkan tagihan tarif listrik

8. TRAF0

8.1 Apakah yang disebut Trafo

Trafo merupakan suatu peralatan listrik statis, yang merubah energi listrik dari tingkat tegangan yang satu ke tingkat tegangan yang lain. Adanya alat ini memungkinkan untuk menghasilkan energi listrik pada tegangan yang relatif rendah dan mentransmisikannya pada tegangan tinggi dan arus yang rendah, sehingga akan mengurangi kehilangan jaringan dan digunakan pada tegangan yang aman (lihat Gambar 12).



Gambar 12. Gambar sebuah trafo
(Indiamart.com)

Trafo terdiri dari dua atau lebih kumparan yang listriknya terisolasi namun kemagnetannya tersambungkan. Kumparan primernya dihubungkan ke sumber daya dan kumparan sekundernya dihubungkan ke beban. Keistimewaan trafo adalah:

- *Turn's ratio*: merupakan perbandingan antara jumlah kumparan sekunder yang menyala dan jumlah kumparan primer yang menyala (lihat Gambar 13).
- Tegangan sekunder: tegangan primer dikalikan *turn's ratio*.
- *Ampere-turns*: dihitung dengan mengalikan arus dalam kumparan dengan jumlah nyala. *Ampere-turns* primer setara dengan *ampere-turns* sekunder.
- Pengaturan tegangan trafo: persentase kenaikan tegangan dari beban penuh ke tanpa beban.



Gambar 13: Rakitan inti dan kumparan trafo tiga fase
(Kuhlman Electric)

8.2 Jenis Trafo

Tabel 3 menampilkan daftar dari berbagai jenis trafo

Tabel 3: Pengelompokan Trafo (Biro Efisiensi Energi, 2004)

Kriteria	Jenis	Komentar
Berdasarkan pada tegangan yang masuk	Penaik/ <i>Step Up</i>	Mengubah LV ke HV
	Penurun/ <i>Step Down</i>	Mengubah HV ke LV
Berdasarkan pengoperasian	Trafo Daya	Terletak pada stasiun daya untuk menaikkan tegangan dan menangani daya yang besar. Jenis tegangannya adalah 400 kV, 220kV, 132KV, 66 kV, 33kV dll.
	Trafo Distribusi	Terletak pada sub-stasiun jaringan distribusi dan menangani daya yang rendah. Jenis tegangannya adalah 11kV, 6.6 kV, 3.3 kV, 440V, 230V dll.
	Trafo instrumen	Digunakan untuk mengukur tegangan dan arus yang tinggi dalam instrumen pengukuran.
Berdasarkan Lokasi	Luar ruangan	Berlokasi diluar ruangan pada struktur beton atau struktur tiang besi
	Dalam ruangan	Terletak di dalam gudang berstruktur beton
Berdasarkan hubungan	Tiga fase	Pasokan <i>input</i> dan <i>output</i> merupakan tiga fase (R/Y/B) dengan atau tanpa netral
	Satu fase	Pasokan <i>input</i> dan <i>output</i> merupakan satu fase

8.3 Menentukan Kehilangan dan Efisiensi Trafo

Didalam trafo tidak terdapat bagian yang berputar, sehingga efisiensinya berada pada kisaran 96 hingga 99 persen. Kehilangan-kehilangan terutama disebabkan dengan:

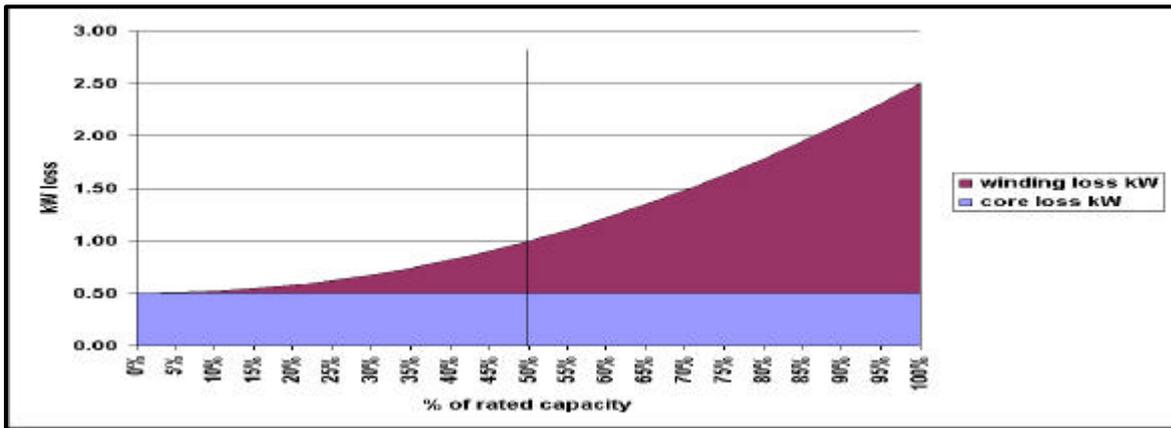
- Kehilangan Konstan: hal ini disebut juga kehilangan besi atau kehilangan inti, yang tergantung pada bahan inti dan sirkuit magnetik pada alur *flux*. Kehilangan arus *Hysteresis* dan *Eddy* merupakan dua komponen kehilangan konstan.
- Kehilangan Variabel: juga disebut dengan kehilangan beban atau kehilangan tembaga, yang beragam dengan kwadrat arus beban.

Catatan Efisiensi trafo terbaik terjadi pada beban bilamana kehilangan konstan sama dengan kehilangan variabel. Kehilangan trafo sebagai persentase arus beban ditunjukkan pada Gambar 14.

Pabrik pembuat trafo biasanya memberikan kehilangan tanpa beban ($P_{NO-LOAD}$) dan dengan beban penuh (P_{LOAD}). Hubungan matematis berikut merupakankan kehilangan total (P_{TOTAL}) pada berbagai kondisi beban pada trafo:

$$P_{TOTAL} = P_{TANPA BEBAN} + (\% \text{ Beban}/100)^2 \times P_{BEBAN}$$

$$P_{TOTAL} = P_{TANPA BEBAN} + (\text{Beban KVA}/\text{Laju KVA})^2 \times P_{BEBAN}$$



Gambar 14: Kehilangan trafo versus persen pembebanan (Biro Efisiensi Energi, 2004)

9. FORMULA LISTRIK

Tabel 4 dibawah memuat daftar formula/ rumus paling penting untuk sistim listrik.

Tabel 4: Formula Dasar yang Berhubungan dengan Sistim Listrik (Badan Produktivitas Nasional, tidak dipublikasikan)

Istilah	Tata Nama & Satuan	Hubungan Empiris	Keterangan
Tahanan	R (Ohm)	$= S L / A$	S= Resistivitas (Ohm-m) L=Panjang (m) A=Luas permukaan lintang (m ²)
Tegangan	V (Volt)	$= I R$	I=Arus (Amp) R=Tahanan(Ohm)
Reaktansi	X _L (ohm) (induksi)	$= 2\pi FL$	$\pi = 3,142$ F = Pasokan Frekuensi (Hz) L = Induktansi (Henry)
	X _C (ohm) (Kapasitansi)	$= 1/(2\pi FC)$	$\pi = 3.142$ F = Pasokan Frekuensi (Hz) C = Kapasitansi (Faraday)
Impedansi	Z (Ohm)	$= \sqrt{[R^2 + (X_L - X_C)^2]}$	
Daya Nyata	P (Watt)	$= VI \cos \Phi$ (Satu Fase) $= 1.732 VI \cos \Phi$ (Tiga Fase)	V=Tegangan (Volt) I=Arus (Amp) Cos Φ =Faktor Daya V=Tegangan (Volt) I=Arus (Amp) Cos Φ =Faktor Daya
Daya reaktif	VAR	$= 1.732 VI \sin \Phi$ (Tiga Fase)	V=Tegangan (Volt) I=Arus (Amp) Φ = Sudut Faktor Daya

Istilah	Tata Nama & Satuan	Hubungan Empiris	Keterangan
Daya Terlihat	VA	$=\sqrt{[P^2+(VAR)^2]}$	P=Daya Nyata (Watt) VAR=Daya Reaktif (VAR)
Faktor Daya	CosΦ	= P/VA	P=Daya Nyata (Watt) KVA=Daya Terlihat (VA)
Efisiensi	η	= P _{keluar} /P _{masuk}	P _{keluar} = Daya keluaran P _{masuk} =Daya Masuk
Rasio Trafo		$V_1/V_2 = N_1/N_2$	V ₁ =Tegangan Primer (Volt) V ₂ =Tegangan Sekunder (Volt) N ₁ = Jumlah Turn Primer N ₂ = Jumlah Turn Sekunder
Penurunan Tegangan pada Jaringan	ΔV (Volt)	=IR	I=Arus pada Jaringan(Amp) R=Tahanan Jaringan(Ohm)
Kehilangan Jaringan	P _{Jalur} (Watt)	=I ² R	I=Arus pada Jaringan(Amp) R=Tahanan Jaringan (Ohm)
Hubungan Bintang		$V_{jaringan}=1,732 V_{fase}$ $I_{jaringan} = I_{fase}$	V _{jalur} = Tegangan Jaringan (Volt) I _{jalur} = Arus Jaringan
Hubungan Delta		$V_{jaringan}=V_{fase}$ $I_{jaringan} = 1.732 I_{fase}$	V _{fase} = Tegangan Fase (Volt) I _{fase} = Arus Fase (Amp)

10. REFERENSI

Isi dari bagian ini sebagian besar didasarkan pada: Biro Efisiensi Energi, Kementerian Daya, Pemerintah India. *Efisiensi Energi pada Utilitas Listrik*. 2004.

Acuan lainya meliputi:

Copper Industries Inc, Copper Power Systems , 2004

www.cooperpower.com/Library/Literature/section.asp

Indiamart. www.indiamart.com/rowsons/index.html#oil-cooled-transformers

International Energy Agency. *World Energy Outlook 2004*.

www.iea.org/textbase/nptoc/WEO2004.toc.pdf

Kuhlman Electric. *Kuhlman General Catalog*, p 7.

www.kuhlman.com/clientdata/Kuhlman_General_Catalog1_1.pdf

US Energy Information Administration. www.eia.doe.gov/oiaf/ieo98/elect

Wikipedia contributors. *Three-phase, Variable set up and basic definitions*. In: The Free Encyclopedia. 2005. <http://en.wikipedia.org/wiki/Three-phase>

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.

Peralatan Energi Listrik: Listrik

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 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 its translation into other languages than English. This is the translated version from 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