PUSAT PEMBANGKIT DAN OPERASI EKONOMISNYA

Pusat pembangkit berfungsi untuk mengkonversikan sumber daya energi primer menjadi energi listrik. Pusat pembangkit listrik konvensional mencakup:

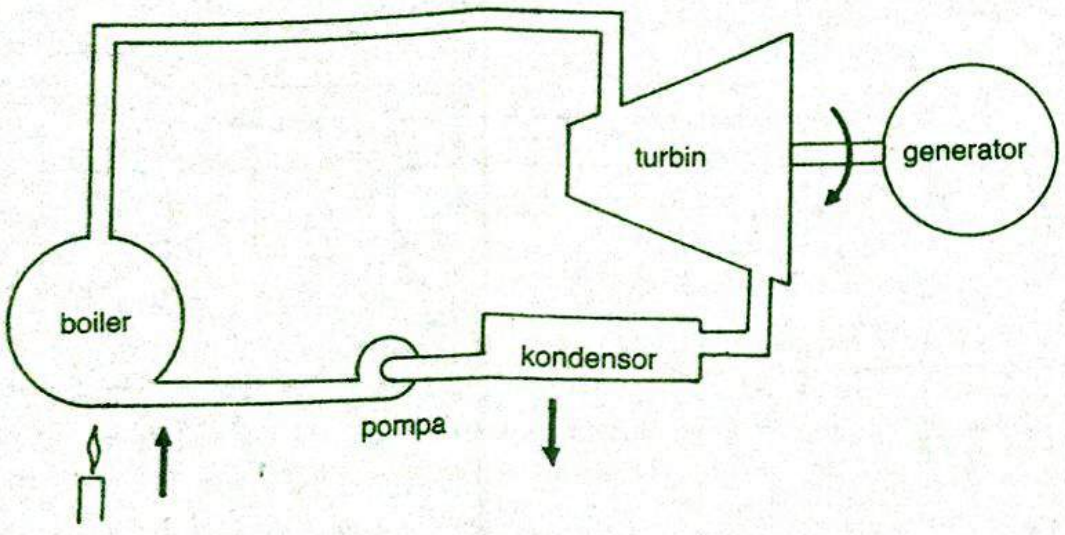
(1) Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU): minyak, gas alam, dan batubara.
(2) Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA).
(3) Pusat Listrik Tenaga Gas (PLTG).
(4) Pusat Listrik Tenaga Diesel (PLTD).
(5) Pusat Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP).
(6) Pusat Listrik Tenaga Nuklir (PLTN).

Di samping pembangkit listrik konvensional tersebut, saat ini tengah dikembangkan beberapa teknologi konversi untuk sumberdaya energi baru seperti: biomassa, solar, limbah kayu, angin, gelombang laut, dan sebagainya.

Pembangkit listrik melalui cara magnetohidrodinamik (MHD) pada saat ini juga sedang memasuki tahap penelitian dan pengembangan yang intensif.

Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Pada pembangkit listrik ini, bahan bakar minyak, gas alam, atau batubara dipakai untuk membangkitkan panas dan uap pada boiler. Uap tersebut kemudian dipakai untuk memutar turbin yang dikopelkan langsung dengan sebuah generator sinkron. Setelah melewati turbin, uap yang bertekanan dan bertemperatur tinggi tadi muncul menjadi uap bertekanan dan bertemperatur rendah. Panas yang disadap oleh kondensor menyebabkan uap berubah menjadi air yang kemudian dipompakan kembali menuju boiler. Siklus lengkap proses ini terlihat pada Gambar 1.2. Sisa panas yang dibuang oleh kondensor mencapai setengah jumlah panas semula yang masuk. Hal ini mengakibatkan efisiensi termodinamika suatu turbin uap bernilai lebih kecil dari 50%. Turbin uap yang modern mempunyai temperatur boiler sekitar 500 sampai 600 °C dan temperatur kondensor antara 20 sampai 30 °C.

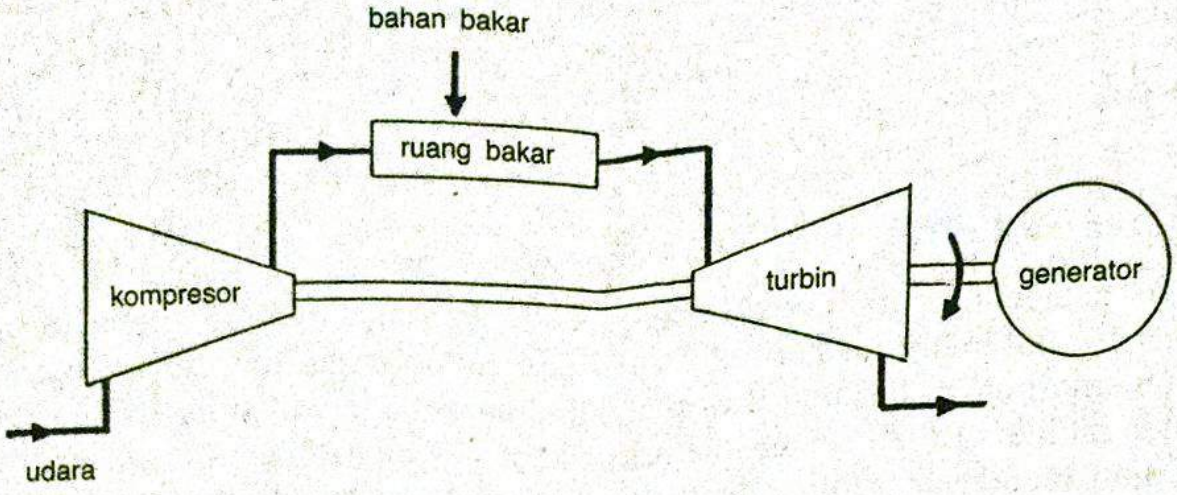


Gambar 1.2

Pusat Listrik Tenaga Gas (PLTG)

Seperti juga pada PLTD, PLTG atau turbin gas merupakan mesin dengan proses pembakaran dalam (*internal combustion*). Bahan bakar berupa minyak atau gas alam dibakar di dalam ruang pembakar (*combustor*). Udara yang memasuki kompresor setelah mengalami tekanan bersama-sama dengan bahan bakar disemprotkan ke ruang pembakar untuk melakukan proses pembakaran. Gas panas hasil pembakaran ini berfungsi sebagai fluida kerja yang memutar roda turbin bersudu yang terkopel dengan generator sinkron. Generator sinkron kemudian mengubah energi mekanis menjadi energi listrik (lihat Gambar 1.3).

Berbeda dengan pada PLTD, pada PLTG tidak terdapat bagian mesin yang bergerak translasi (bolak-balik) karena itu ia merupakan mesin yang bebas dari getaran. Meskipun temperatur turbin gas (1000 °C) jauh lebih tinggi daripada temperatur turbin uap (538 °C), namun efisiensi konversi termalnya hanya mencapai 20% – 30%. Karena biaya modal yang rendah, serta biaya bahan bakar yang tinggi, maka PLTG berfungsi memikul beban puncak.



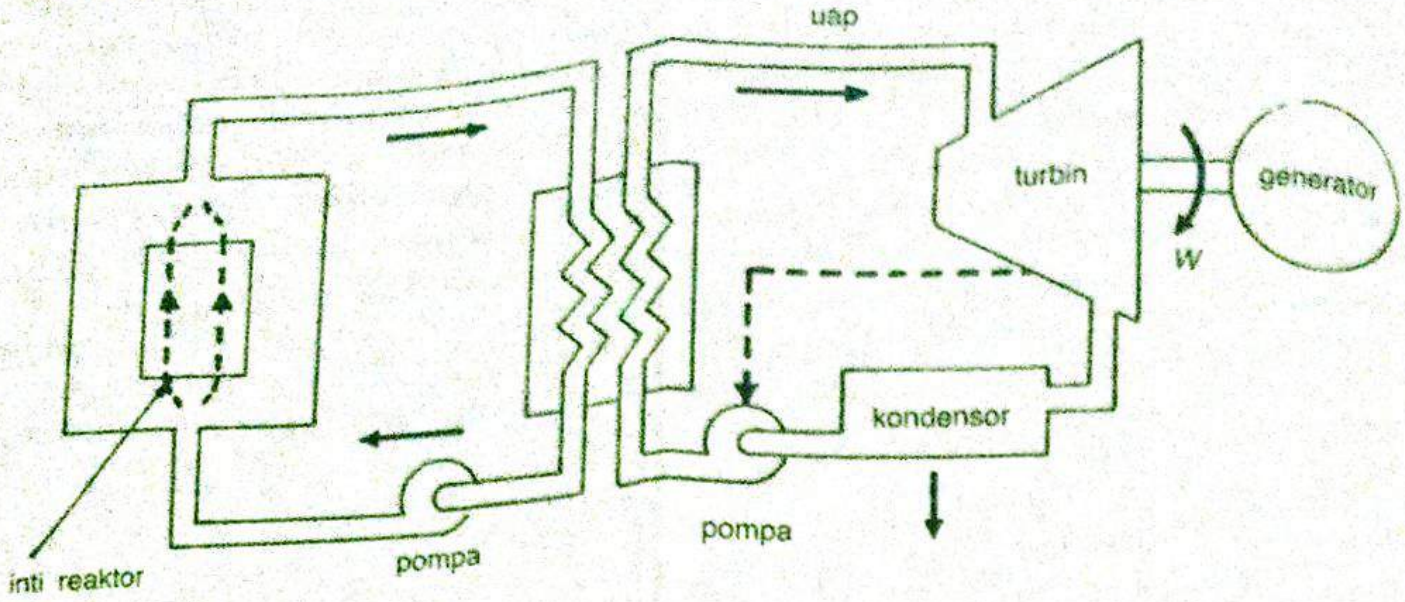
Gambar 1.3

Pusat Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)

Pada reaktor air tekan (*pressurized water reactor*) terdapat dua rangkaian yang seolah-olah terpisah. Pada rangkaian pertama bahan bakar uranium-235 yang diperkaya dan tersusun dalam pipa-pipa berkelompok, disundut untuk menghasilkan panas dalam reaktor. Karena air dalam bejana penuh, maka tidak terjadi pembentukan uap, melainkan air menjadi panas dan bertekanan. Air panas yang bertekanan tersebut kemudian mengalir ke rangkaian kedua melalui suatu generator uap yang terbuat dari baja. Generator uap menghasilkan uap yang memutar turbin dan proses selanjutnya mengikuti siklus tertutup sebagaimana berlangsung pada turbin uap PLTU.

Keuntungan reaktor air tekan yang mempunyai dua rangkaian ini terletak pada pemisahan rangkaian pertama yang merupakan reaktor radioaktif dari proses konversi turbin uap yang berlangsung pada rangkaian kedua. Dengan demikian,

uap yang masuk ke dalam turbin dan kondensor merupakan uap bersih yang tidak tercemar radioaktif. PLTN yang mempunyai biaya modal tinggi dan biaya bahan bakar rendah itu seyogyanya beroperasi untuk beban dasar (7000–8000 jam per tahun).



Gambar 1.4

Pusat Tenaga Listrik Air (PLTA)

Penggunaan tenaga air mungkin merupakan bentuk konversi energi tertua yang pernah dikenal menusia. Perbedaan vertikal antara batas atas dengan batas bawah bendungan di mana terletak turbin air, dikenal sebagai *tinggi terjun*. Tinggi terjun ini mengakibatkan air yang mengalir akan memperoleh energi kenetik yang kemudian mendesak sudu-sudu turbin. Bergantung pada tinggi terjun dan debit air, dikenal tiga macam turbin yaitu: Pelton, Francis, dan Kaplan. Karena tidak menggunakan bahan bakar, biaya operasi PLTA sangat rendah, namun hal ini dibarengi dengan biaya investasi yang sangat tinggi untuk konstruksi pekerjaan sipilnya.

Bergantung pada ketersediaan sumber energi air, PLTA dapat berfungsi untuk memikul beban puncak ataupun beban dasar. Sebagai sumberdaya energi yang dapat pulih, sumber potensi tenaga air sangat menarik untuk dikembangkan. Tetapi pemanfaatannya secara luas sangat dibatasi oleh kondisi geografis setempat dan permasalahan lokasi yang biasanya jauh dari pusat beban. Dari 77 863 MW potensi tenaga air yang terbesar di seluruh Indonesia, sampai dengan periode Pelita IV ini baru sekitar 2000 MW saja yang telah dimanfaatkan.

Dengan memperhatikan bahwa setiap jenis pusat pembangkit mempunyai perbedaan yang cukup berarti dilihat dari aspek biaya modal, biaya operasi, maupun efisiensinya, maka seorang insinyur listrik harus mampu memilih alternatif susunan gabungan pembangkitan (*generation-mix*) yang paling ekonomis untuk dioperasikan.

Mengingat beban bervariasi secara ekstrem dari saat ke saat dan bersamaan dengan itu penyediaan (*supply*) sistem pembangkit diharapkan selalu mencukupi kebutuhan beban yang berfluktuasi tadi, maka terdapat interelasi antara parameter ekonomis pusat-pusat pembangkit dengan dinamika beban. Susunan kapasitas terpasang pembangkit PLN menurut jenisnya untuk keadaan akhir Pelita IV (1988/89) terlihat pada Tabel 1.1.

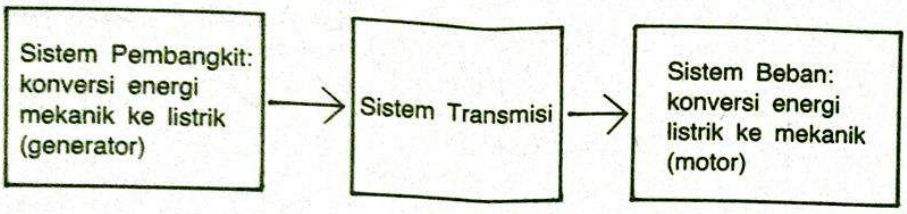
Tabel 1.1 Susunan Kapasitas Terpasang Pembangkit PLN Menurut Jenisnya untuk Keadaan Akhir Pelita IV (1988/89)

Jenis Pembangkit	Kapasitas Terpasang	
	(MW)	(%)
1. PLTA	1989.4	25.6
2. PLTD	1346.6	17.3
3. PLTG	945.0	12.1
4. PLTP	140.0	1.8
5. PLTU: Batubara	1330.0	17.1
6. PLTU: Minyak	2036.0	26.1
Total (MW)	7787.0	100

Sumber: PLN

KONVERSI ENERGI ELEKTROMEKANIK

Salah satu aspek penting dalam sistem tenaga adalah yang menyangkut konversi energi elektromekanik; yaitu konversi energi dari bentuk mekanik ke listrik dan dari bentuk listrik ke mekanik. Konversi energi tersebut berlangsung pada sistem tenaga melalui peralatan elektromagnet yang disebut generator dan motor seperti diperlihatkan pada diagram blok Gambar 1.5.



Gambar 1.5

Pada Gambar 1.5, blok di sebelah kiri menggambarkan sistem pembangkit. Melalui generator sinkron tiga fasa yang menerima kopel dari poros turbin, sistem ini berperan untuk mengubah bentuk energi mekanik menjadi energi listrik.

Blok di tengah Gambar 1.5 menggambarkan bagian dari sistem tenaga yang mengirimkan energi listrik dari sistem pembangkit menuju sistem beban. Untuk mengurangi rugi-rugi panas, energi yang dikirim perlu dinaikkan tegangannya

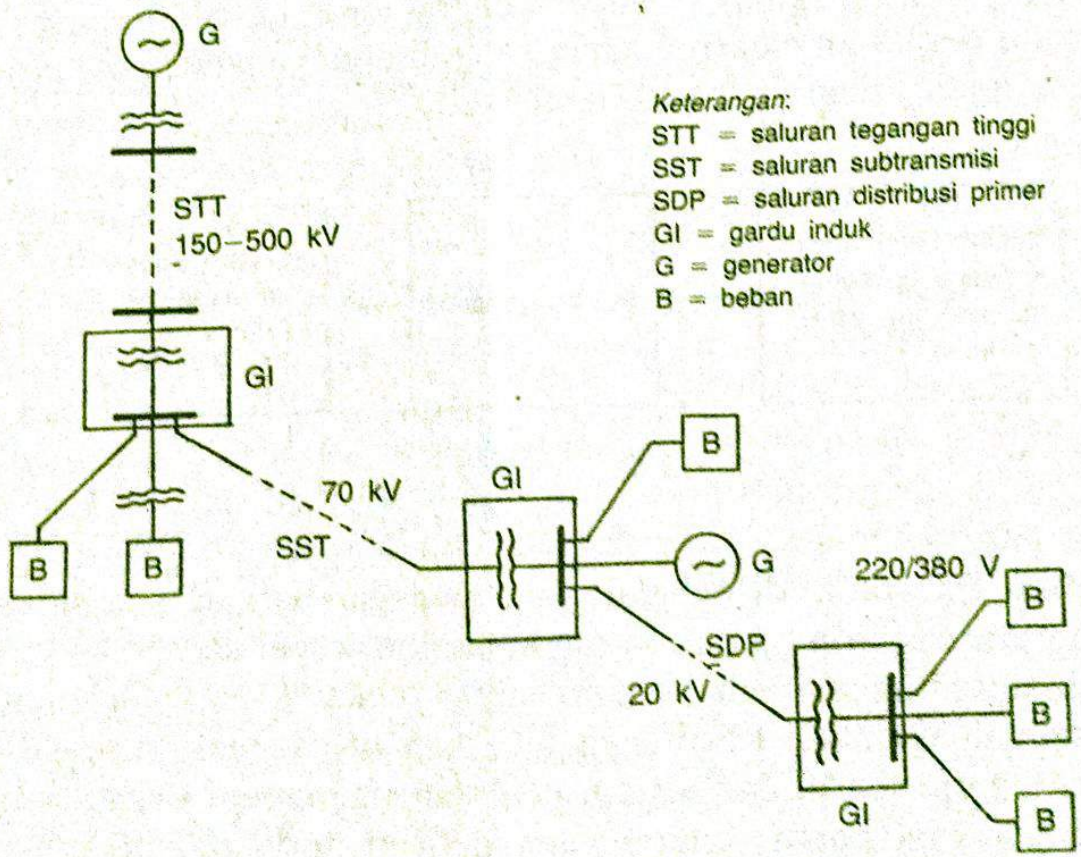
melalui transformator penaik tegangan. Dengan demikian, meskipun transformator bukan termasuk peralatan konversi energi, namun merupakan alat pembantu elektromagnet yang juga penting dalam sistem tenaga.

Blok di sebelah kanan menggambarkan sistem beban yang mengubah sebagian dari energi listrik menjadi bentuk energi mekanik. Perubahan tersebut berlangsung dalam mesin-mesin berputar yang disebut motor. Selain itu sebagian energi listrik dipergunakan untuk keperluan beban lainnya seperti penerangan, pendinginan, dan pemanasan.

TRANSMISI DAN DISTRIBUSI

Apabila saluran transmisi menyalurkan tenaga listrik bertegangan tinggi ke pusat-pusat beban dalam jumlah besar, maka saluran distribusi berfungsi membagikan tenaga listrik tersebut kepada pihak pemakai melalui saluran tegangan rendah.

Generator sinkron di pusat pembangkit biasanya menghasilkan tenaga listrik dengan tegangan antara 6–20 kV yang kemudian, dengan bantuan transformator, tegangan tersebut dinaikkan menjadi 150–500 kV. Saluran tegangan tinggi (STT) menyalurkan tenaga listrik menuju pusat penerima; di sini tegangan diturunkan menjadi tegangan subtransmisi 70 kV. Pada gardu induk (GI), tenaga listrik yang diterima kemudian dilepaskan menuju trafo distribusi (TD) dalam bentuk tegangan menengah 20 kV. Melalui trafo distribusi yang tersebar di berbagai pusat-pusat beban, tegangan distribusi primer ini diturunkan menjadi tegangan rendah 220/380 V yang akhirnya diterima pihak pemakai. Contoh saluran transmisi dan distribusi terlihat pada Gambar 1.6.

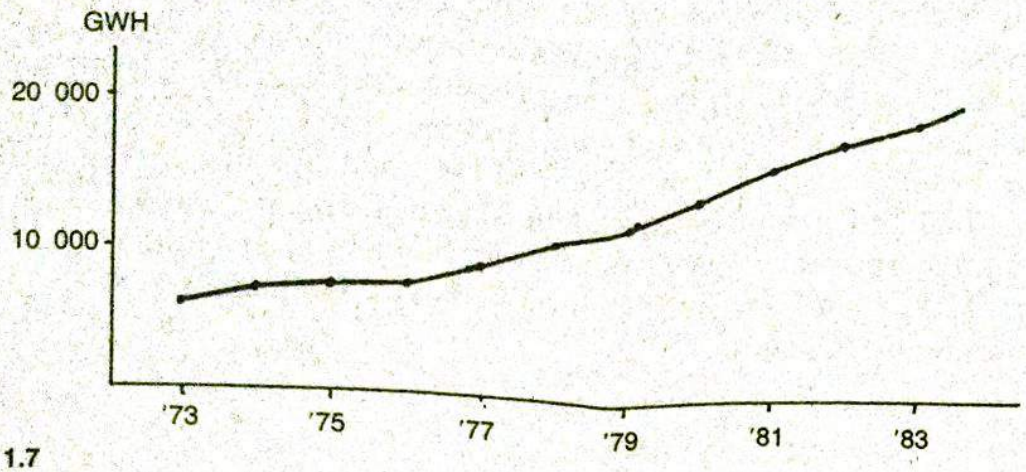


Gambar 1.6

KARAKTERISTIK BEBAN

Sistem tenaga listrik dirancang untuk dapat mengirim energi listrik dengan cara yang efisien dan aman kepada para langganan. Karakteristik dari permintaan energi listrik kadangkala membuat usaha tersebut sulit untuk dipenuhi. Meramalkan pertumbuhan beban dan usaha untuk memenuhi siklus beban harian dan beban tahunan secara memuaskan merupakan dua kesulitan yang harus diatasi.

Pertumbuhan rata-rata konsumsi listrik di Indonesia pada Pelita II dan Pelita III masing-masing mencapai 14.1% dan 12.7% per tahun. Selama sepuluh tahun itu (1974/75–1983/84) konsumsi listrik total telah meningkat sebanyak tiga kali. Dalam Pelita IV (1983/84–1988/89) pertumbuhan rata-rata pemakaian listrik diperkirakan sekitar 13–15% per tahun. Mengingat untuk membangun suatu pusat pembangkit tenaga listrik diperlukan waktu 8 sampai 10 tahun, maka para perencana sistem harus melihat kemungkinan-kemungkinan perkembangan sistem tenaga 10 sampai 20 tahun ke muka. Hal tersebut diperlukan agar tersedia cukup waktu untuk memperkirakan dan memperbaiki perencanaan dalam perspektif jangka panjang.



Gambar 1.7

Melalui kombinasi pengkajian kecenderungan masa lalu dan pembuatan ramalan ke masa depan, perencana akan memperkirakan kebutuhan pembangkitan tenaga dan merekomendasikan pembangunan fasilitasnya. Namun demikian, tugas perencana sistem tidak terbatas pada menjamin ketersediaan pembangkitan yang cukup saja, tapi juga harus dapat menentukan:

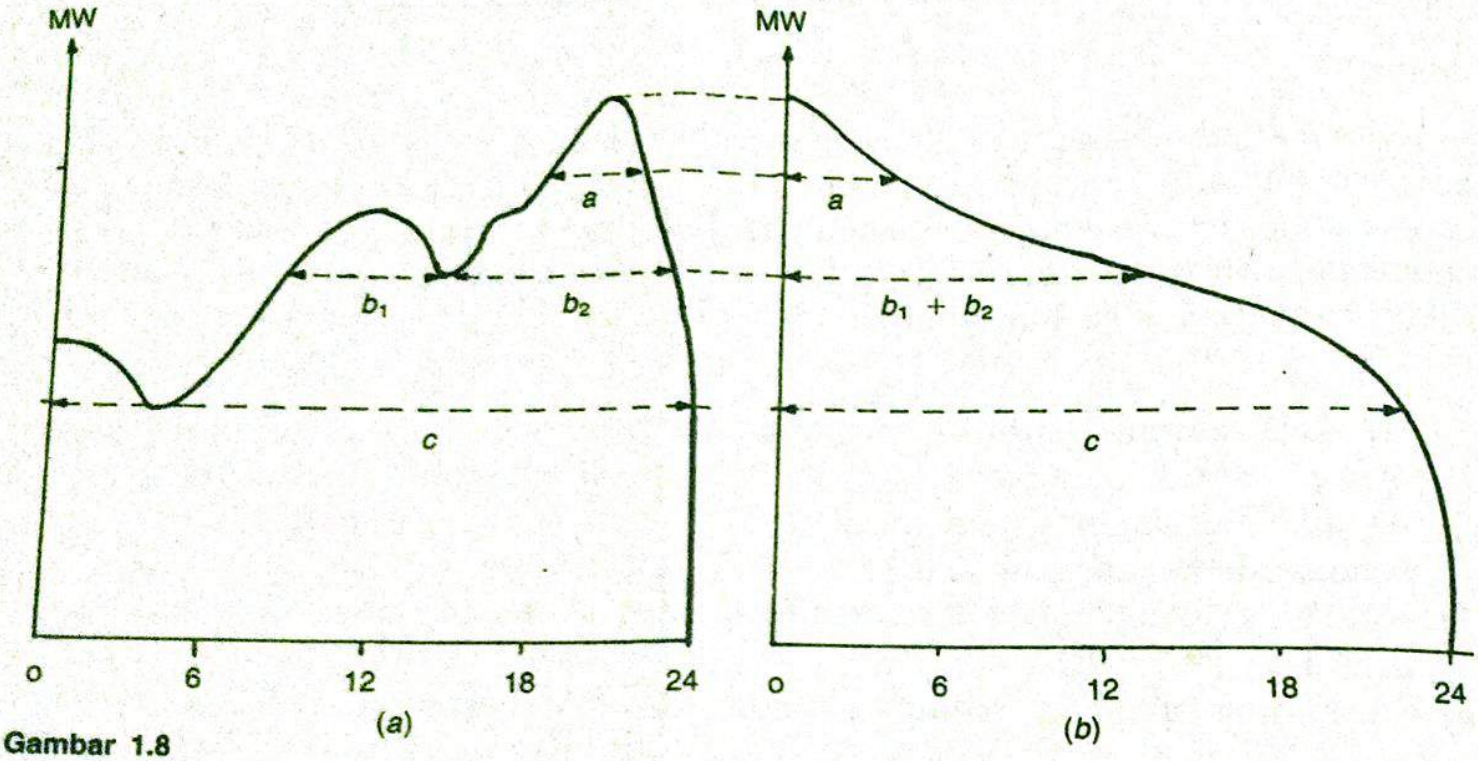
(1) Apakah saluran transmisi yang tersedia beserta pelengkapnya masih cukup mampu untuk membawa tambahan energi listrik yang diperlukan?
(2) Apakah peralatan sistem masih cukup andal untuk melindungi sistem dari keadaan-keadaan gangguan?
(3) Apakah keadaan gejala peralihan (*transient*) akan mengganggu operasi normal sistem.
(4) Cara operasi yang paling ekonomis untuk bermacam-macam keadaan pembebanan.

Selain persoalan-persoalan teknik tersebut, harus pula turut diperhatikan permasalahan yang menyangkut dampak lingkungan dan aspek penerimaan masyarakat atas hadirnya fasilitas baru ini. Dengan demikian seorang insinyur tenaga listrik, menghadapi kebutuhan listrik yang kian meningkat, diharapkan dapat melakukan perkiraan-perkiraan dan sekaligus menyelesaikan persoalan yang muncul secara tepat dan terus-menerus.

Mengingat teknologi yang tersedia saat ini belum mungkin untuk menyimpan energi listrik secara efisien serta memenuhi persyaratan biaya-manfaat, maka tenaga listrik harus dibangkitkan sebanyak yang diperlukan saja.

Pusat-pusat pembangkit yang tersedia harus selalu dapat memenuhi kebutuhan beban yang berubah-ubah tersebut. Meskipun pusat pembangkit dengan ukuran besar biasanya dianggap lebih ekonomis, namun jika tambahan daya yang diperlukan hanya sekadar untuk memenuhi beban puncak yang berlangsung beberapa jam, pembangkit ukuran kecil sudah cukup memadai untuk melayaninya. Karena itu, seorang insinyur tidak saja harus memperkirakan pertumbuhan beban dari tahun ke tahun, tapi juga harus mampu memperhitungkan secara ekonomis kebutuhan beban harian yang selalu berubah-ubah.

Karakteristik perubahan besarnya daya yang diterima oleh beban sistem tenaga setiap saat dalam suatu interval hari tertentu dikenal sebagai *kurva beban harian*. Penggambaran kurva ini dilakukan dengan mencatat besarnya beban setiap jam melalui pencatatan Mega Watt-meter yang terdapat di gardu induk. Sumbu vertikal menyatakan skala beban dalam satuan MW, sedangkan sumbu horizontal menyatakan skala pencatatan waktu dalam 24 jam. Dengan demikian luas daerah di bawah kurva merupakan besarnya energi listrik yang diserap oleh beban dalam waktu 1 hari (MW × jam = MWh). Contoh beban harian pada hari kerja biasanya terlihat pada Gambar 1.8*a*.



Gambar 1.8

Pada kurva tersebut tampak bahwa beban naik secara tajam pada sekitar pukul 18.00 dan mencapai puncaknya pada pukul 21.00. Ini disebabkan meningkatnya pemakaian untuk penerangan rumah, lampu-lampu hias dan penerangan jalan, iklan pada toko-toko, serta pemakaian TV di rumah-rumah.

Bila kurva beban harian memberi informasi tentang besarnya beban dari waktu ke waktu selama interval waktu satu hari, maka *kurva kelangsungan beban* (*load duration curve*) memberikan informasi tentang lama (waktu) berlangsungnya daya dengan besar tertentu. Kurva kelangsungan beban ini (Gambar 1.8*b*) diturunkan dari kurva beban harian (Gambar 1.8*a*) yang dipotong-potong dengan selang waktu yang kecil, kemudian disusun dari kiri ke kanan secara berurutan, menurut tingkatan besarnya daya; luas bidang gambar kurva menyatakan besarnya energi listrik yang diperoleh dalam selang waktu tertentu.

Sebagaimana beban berubah-ubah setiap jam dalam sehari, beban puncak harian pun tidak selalu tetap dalam setahun. Ada kalanya beban puncak tinggi pada bulan-bulan tertentu dan rendah pada bulan-bulan lainnya. Pada saat beban puncak rendah itulah saat yang tepat untuk melaksanakan pemeliharaan (*maintenance*) sistem peralatan. Menghentikan operasi peralatan untuk pemeliharaan akan mempengaruhi produksi listrik dan keandalan sistem. Karena akan berpengaruh secara ekonomis, menentukan saat yang tepat untuk melaksanakan pemeliharaan, merupakan tugas penting lainnya bagi seorang insinyur listrik.

PROTEKSI

Suatu gangguan atau kegagalan, dalam keadaan bagaimanapun, akan mempengaruhi aliran arus normal pada sistem tenaga. Gangguan-gangguan yang terjadi dapat disebabkan oleh sambaran petir, hubungan singkat karena kejatuhan benda tertentu pada kawat penghantar, rusaknya isolasi, dan lain sebagainya. Gangguan-gangguan tersebut dapat mengakibatkan lonjakan tegangan yang berlebihan, aliran arus yang sangat besar, bunga api listrik, dan kegagalan sistem tenaga untuk beroperasi secara keseluruhan. Menjadi tugas insinyur listrik pula untuk merancang sistem proteksi dengan mengatur pemakaian sekering (*fuse*), pemutus daya (*circuit breaker*), dan sistem relai yang mampu menemukan gangguan dengan cepat serta memisahkannya segera dari bagian sistem yang lain. Dengan rancangan sistem proteksi yang baik, gangguan-gangguan yang terjadi dapat dilokalisir pada daerah kejadian saja sehingga tidak mengganggu para langganan di daerah lain.

NOTASI DAN SIMBOL

Penggunaan notasi dan simbol dalam buku ini diusahakan sesederhana mungkin. Untuk harga sesaat besaran arus bolak-balik, digunakan huruf kecil, misalnya i untuk arus sesaat, dan v untuk tegangan sesaat. Penggunaan huruf besar menunjukkan nilai fasor yang mengandung besaran (*magnitude*) dan sudut. Besaran fasor adalah harga rms-nya (*root-mean-square*). Namun pada pemakaian

tertentu, huruf besar juga berarti harga bilangan nyata yang hanya mempunyai besaran. Misalnya $P = VI \cos \theta$ akan menghasilkan bilangan-bilangan nyata, sehingga nilai V dan I hanya menunjukkan besarannya saja.

Untuk perhitungan-perhitungan tiga fasa, daya nyata, daya reaktif, dan daya mayanya diasumsikan selalu mempunyai besaran tiga fasa, kecuali bila dinyatakan lain.

Notasi-notasi serta simbol-simbol akan dapat dipahami secara terperinci, sejalan dengan tahap-tahap penggunaan buku ini.

Masalah Utama dalam Pembangkitan Tenaga Listrik

Sebagaimana diuraikan dalam pasal I.1, proses pembangkitan tenaga listrik pada prinsipnya merupakan konversi energi primer menjadi energi mekanik penggerak generator yang menghasilkan tenaga listrik. Proses yang demikian ini menimbulkan masalah-masalah sebagai berikut :

A. Penyediaan Energi Primer.
Energi primer untuk Pusat Listrik Termal adalah bahan bakar. Penyediaan bahan bakar meliputi : pengadaan, transportasi, dan penyimpanannya, terutama yang memerlukan perhatian terhadap resiko kebakaran.
Energi primer untuk PLTA adalah air. Pengadaannya dari sungai dan hujan, sedangkan penyimpanannya di waduk. Untuk PLTA, konservasi hutan pada Daerah Aliran Sungai sangat penting agar hutan berfungsi sebagai penyimpan air sehingga tidak timbul banjir di musim hujan dan tidak terjadi kekeringan di musim kemarau.

B. Penyediaan Air Pendingin.
Masalah penyediaan air pendingin timbul pada Pusat Listrik Termal seperti PLTU dan PLTD. PLTG tidak memerlukan air pendingin yang banyak. PLTU dan PLTD dengan daya terpasang di atas 25 MW banyak yang dibangun di pantai dan menggunakan air laut sebagai air pendingin. Untuk Unit-unit PLTD yang kecil, di bawah 3 MW, pendinginannya dapat menggunakan udara yang didapat dari radiator.

C. Masalah Limbah.
PLTU batu bara menghasilkan limbah berupa abu batu bara dan asap yang mengandung gas SO_2, CO_2, dan NO_x. Semua PLTU mempunyai limbah bahan kimia dari air ketel (*blow down*). PLTD dan PLTG mempunyai limbah minyak pelumas. PLTA tidak menghasilkan limbah, tetapi limbah dari masyarakat yang masuk ke sungai penggerak PLTA sering menimbulkan gangguan pada PLTA.

D. Masalah Kebisingan.
Pusat Listrik Termal menimbulkan suara keras yang merupakan kebisingan bagi masyarakat yang tinggal di dekatnya. Tingkat kebisingan harus dijaga agar tidak melampaui standar yang berlaku.

E. Operasi.
Operasi Pusat Listrik sebagian besar 24 jam sehari. Selain itu biaya penyediaan tenaga listrik sebagian besar ($\pm$ 60%) untuk operasi Pusat Listrik, khususnya untuk membeli bahan bakar. Oleh karena itu, perlu dilakukan operasi Pusat Listrik yang seefisien mungkin. Jika Pusat Listrik beroperasi dalam Sistem Interkoneksi, paralel dengan Pusat-pusat Listrik lain melalui saluran transmisi, maka Pusat Listrik harus mengikuti pola operasi Sistem Interkoneksi.

F. Pemeliharaan.
Pemeliharaan peralatan diperlukan untuk :
a. Mempertahankan efisiensi.
b. Mempertahankan kehandalan.
c. Mempertahankan umur ekonomis.

Bagian-bagian peralatan yang memerlukan pemeliharaan terutama adalah :
1. Bagian-bagian yang bergeser, seperti : bantalan, *piston ring*, dan engsel-engsel.
2. Bagian-bagian yang mempertemukan zat-zat dengan suhu yang berbeda, seperti : penukar panas (*heat exchanger*) dan ketel uap.
3. Kontak-kontak listrik dalam saklar serta klem-klem penyambung listrik.

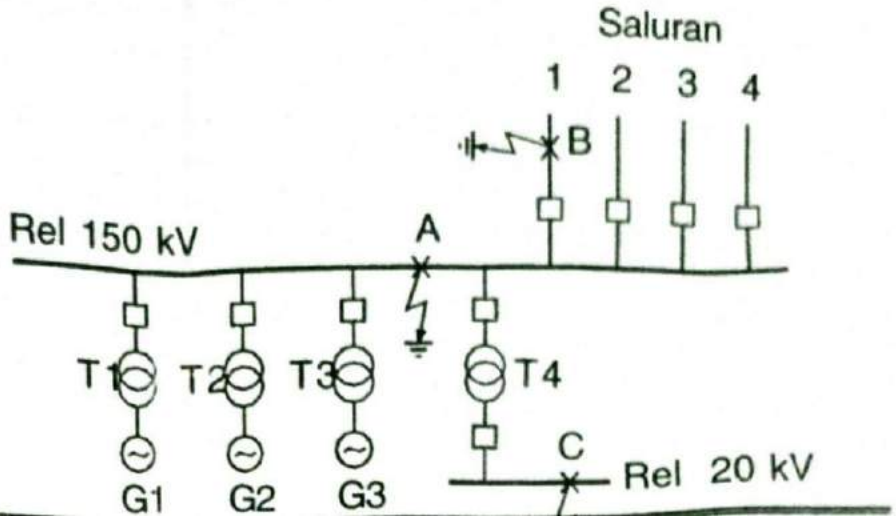
G. Gangguan dan Kerusakan.
Gangguan adalah peristiwa yang menyebabkan Pemutus Tenaga (PMT) membuka (*trip*) di luar kehendak operator sehingga terjadi pemutusan pasokan tenaga listrik. Gangguan sesungguhnya adalah peristiwa hubung singkat yang penyebabnya kebanyakan petir dan tanaman. Gangguan dapat juga disebabkan karena kerusakan alat, sebaliknya gangguan (misalnya yang disebabkan petir) yang terjadi berkali-kali akhirnya dapat mengakibatkan alat (misalnya transformator) menjadi rusak.

H. Pengembangan Pembangkitan.
Pada umumnya, Pusat Listrik yang Berdiri Sendiri maupun yang ada dalam Sistem Interkoneksi memerlukan pengembangan. Hal ini disebabkan karena beban yang dihadapi terus bertambah, sedangkan di lain pihak Unit Pembangkit yang ada menjadi semakin tua dan perlu dikeluarkan dari operasi.

Contoh Soal:

23. Arus Hubung Singkat

Gangguan umumnya disebabkan karena terjadi hubung singkat dalam satu bagian sistem. Bagian yang paling banyak mengalami gangguan adalah saluran udara. Gangguan hubung singkat menimbulkan arus hubung singkat yang besar dan harus diperhitungkan dalam merencanakan instalasi listrik dari Pusat Listrik, khususnya dalam menentukan spesifikasi teknis Pemutus Tenaga (PMT).



Gambar II.30.
PLTU yang berdiri sendiri.

Keterangan gambar II.30 :

T = Transformator
G = Generator
A, B, C = Contoh-contoh lokasi gangguan

Gambar II.30 menggambarkan contoh dari sebuah PLTU yang berdiri sendiri (sistem terisolir) dengan 3 Unit Pembangkit yang sama : 3 x 80 MVA. Masing-masing unit mempunyai Transformator Penaik Tegangan ke 150 kV dengan kapasitas 80 MVA. Dari rel 150 kV ada 4 buah saluran keluar dan ada pasokan Transformator Pemakaian Sendiri yang menurunkan tegangan ke 20 kV dan mempunyai kapasitas 25 MVA. Hubungan Transformator Penaik Tegangan adalah Δ-Y (segitiga-bintang) dan Transformator Pemakaian Sendiri adalah Y-Y (bintang-bintang). Reaktansi *subtransient* (untuk menghitung arus hubung singkat) generator = 25%, sedangkan reaktansi Transformator Penaik Tegangan dan Transformator Pemakaian Sendiri masing-masing = 10%. Jika sebuah generator ini sudah paralel tapi belum berbeban, maka :

a. Hitunglah arus hubung singkat yang melalui Pemutus Tenaga (PMT) Generator apabila terjadi gangguan di titik A, yaitu di rel 150 kV !
b. Hitunglah arus hubung singkat yang melalui PMT Saluran No. 1 apabila terjadi gangguan di titik B, yaitu di saluran No. 1 !
c. Hitunglah arus hubung singkat yang melalui PMT Transformator Pemakaian Sendiri apabila terjadi gangguan di titik C, yaitu di rel 20 kV untuk Pemakaian Sendiri !

Jawaban :

Dipilih sebagai Base : 80 MVA dan Tegangan 150 kV.
Maka : Reaktansi Generator = XG = 0,25 per unit.
Reaktansi Transformator Penaik Tegangan : XT1 = 0,1 per unit.

Reaktansi Transformator Pemakaian Sendiri : $XT4 = \frac{80}{25} \times 0,1 = 0,32$ per unit.

Reaktansi dari rel diabaikan :

a. Arus hubung singkat yang melalui PMT Generator apabila terjadi gangguan di titik A, tegangan generator = E = 1 pu :

   I" = arus subtransien generator = $\frac{E}{XG + XT1} = \frac{1}{0,25 + 0,1} = \frac{1}{0,35} = 2,86$ per unit.

   1 unit per arus = $\frac{kVA}{\sqrt{3} \times kV} = \frac{80.000}{\sqrt{3} \times 150} = \frac{80.000}{259,81} = 307,92$ Ampere.

   Jadi, arus hubung singkat yang melalui PMT Generator untuk gangguan di titik A = 2,86 per unit = 2,86 x 307,92 = 880,65 Ampere.

b. Arus hubung singkat yang melalui PMT Saluran No. 1 apabila terjadi gangguan di titik B adalah arus hubung singkat yang dihasilkan oleh 3 buah generator = 3 x 880,65 Ampere = 2.641,95 Ampere.

c. Arus hubung singkat yang dihasilkan 1 generator untuk gangguan di titik C adalah :

   $\frac{E}{XG + XT1 + XT4} = \frac{1}{0,25 + 0,1 + 0,32} = \frac{1}{0,67} = 1,493$ per unit = 1,493 x 307,92 = 459,725 Ampere.

   Karena ada 3 buah generator yang paralel, maka arus hubung singkat yang melalui PMT Transformator Pemakaian Sendiri untuk gangguan di titik C = 3 x 459,725 = 1.379,175 Ampere.

Dari perhitungan tersebut di atas, tampak bahwa arus hubung singkat yang terbesar adalah untuk gangguan di titik B, yaitu gangguan di saluran.

Apabila Pusat Listrik dalam contoh soal tersebut di atas diinterkoneksi dengan sistem lain melalui saluran No. 3 dan saluran No. 4, maka untuk gangguan tersebut di atas akan ada kenaikan nilai arus hubung singkat, karena sistem yagn diinterkoneksikan akan memberi kontribusi arus hubung singkat melalui saluran No. 3 dan saluran No. 4.

Demikian juga apabila jumlah Unit Pembangkit dalam Pusat Listrik ditambah, maka nilai arus hubung singkat tersebut di atas juga naik, apalagi jika Unit Pembangkit tambahannya mempunyai kapasitas yang lebih besar.