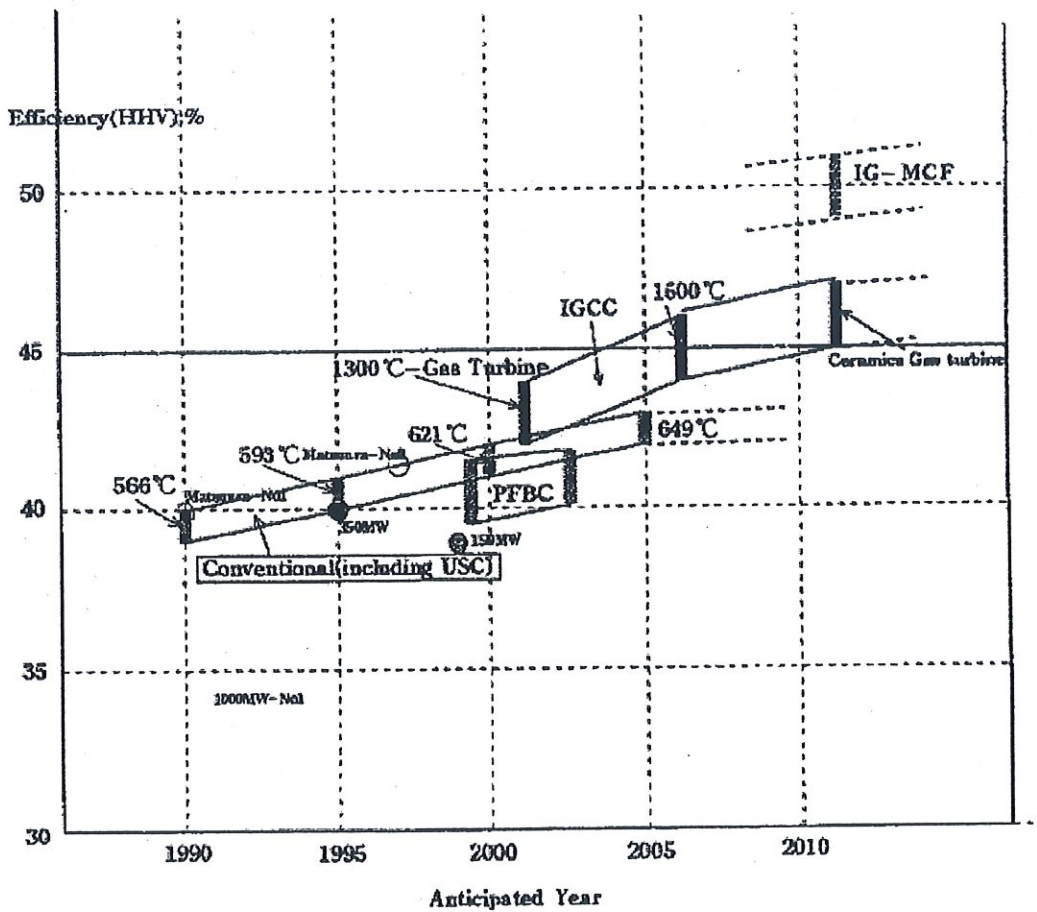


LAPORAN TEKNIS

METODOLOGI PENINGKATAN EFISIENSI PANAS PADA PENGOPERASIAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP, TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, JEPANG

Oleh :
Irhan Febijanto



PUSAT PENGAJIAN & PENERAPAN
TEKNOLOGI PENGEMBANGAN SUMBER DAYA ENERGI
DEPUTI BIDANG TENOLOGI PENGEMBANGAN SUMBER DAYA ALAM
BPP TEKNOLOGI
2002

LAPORAN TEKNIS



METODOLOGI PENINGKATAN EFISIENSI PANAS PADA PENGOPERASIAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP, TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, JEPANG

Oleh :
DR. Irhan Febijanto
Nip: 680002166

Mengetahui :

Direktur Pusat Pengkajian dan Penerapan
Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi

(DR. Ir. Subagio Imam Bakri)
Nip: 680000168

PERPUSTAKAAN

No. Induk	: 155811/04.
Klasifikasi	: 16-97
Subjek	: - BPS + keu
Harga / Asal	:
Pemb. / Had / Tk	:
Katalog	: Entry : 5-11-04
Dit	: 06-10-04.

PUSAT PENGAJIAN & PENERAPAN
TEKNOLOGI PENGEMBANGAN SUMBER DAYA ENERGI
DEPUTI BIDANG TEKNOLOGI PENGEMBANGAN SUMBER DAYA ALAM
BPP TEKNOLOGI
2002

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	2
1. PENDAHULUAN	3
1.1 LATAR BELAKANG DAN SEJARAH PERKEMBANGAN EFESIENSI PLTU	3
2. PRINSIP DAN CARA PENGURANGAN <i>HEAT LOSS</i> DI PLTU	7
3. METODA PENINGKATAN EFESIENSI PENGOPERASIAN PLTU	8
3.1 PENGOPERASIAN CWP TUNGGAL	9
3.2 PENGURANGAN FASILITAS PERALATAN PLTU.	9
3.3 PENGURANGAN <i>HEAT LOSS</i> PADA STARTING DAN STOPPING	9
3.4 PENURUNAN SUHU GAS BUANG DAN KADAR O ₂	10
3.5 PERBAIKAN DISAIN AIR HEATER	10
3.6 PERBAIKAN EFESIENSI KERJA SUDU TURBIN	14
3.7 KONTROL KECEPATAN FASILITAS PERALATAN PEMBANTU PLTU	14
4. FAKTOR-FAKTOR PERHITUNGAN EFESIENSI PANAS PLTU	15
5. PENUTUP	17
6. DAFTAR PUSTAKA	18

GAMBAR dan TABEL

Gambar 1 Perkembangan Efisiensi Panas PLTU di dunia	4
Gambar 2 Perkembangan Kapasitas Turbin-Generator di Jepang	4
Gambar 3 Perkembangan Steam Pressure PLTU di Jepang	5
Gambar 4 Perkembangan Suhu Steam PLTU di Jepang	5
Gambar 5 <i>Heat Balance</i> pada PLTU kapasitas 600 MW	7
Gambar 6 Efek Pengoperasian Jumlah CWP pada PLTU kapasitas 600 MW	8
Gambar 7 Mekanisme Terbentuknya Gap di <i>Air Heater</i>	11
Gambar 8 Sensor Drive System di Air Heater	11
Gambar 9 Tipe Seal yang Lama (9a) dan Baru (9b)	12
Gambar 10 Skema Inovasi pada Komponen Turbin	13
Gambar 11 Hubungan antara Daya Gerak Poros dengan Aliran FLuida	15
Tabel 1 Faktor-faktor perhitungan Efisiensi Panas PLTU	16
Gambar 12 Kontrol Kecepatan GMF (<i>Clutch System</i>)	17
Gambar 13 Kontrol Kecepatan BFP (<i>Torque Converter System</i>)	18

1. PENDAHULUAN

Laporan teknis ini disampaikan kepada P3TPSE (Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi), sebagai salah satu syarat untuk melengkapi laporan kerja, dalam rangka training di Maintenance Technology Group, Thermal Power Plant Engineering Center, Thermal Power Plant Department, TEPCO (Tokyo Electric Power Company), Jepang.

1.1 LATAR BELAKANG DAN SEJARAH PERKEMBANGAN EFISIENSI PLTU

Di beberapa negara maju seiring dengan cepatnya laju pertumbuhan industri dan ekonomi, kebutuhan akan sumber daya energi yang pada dekade sekitar tahun 1950-an masih dapat dipenuhi dengan kebutuhan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), semakin lama semakin tidak dapat memenuhi. Peranan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dengan bahan bakar batubara menggantikan posisi PLTA. Dan kemudian disusul akan pembangunan-pembangunan PLTU dengan bahan bakar LNG, pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir, yang sampai sekarang keamanannya dan dampak terhadap lingkungan pasca pakai masih mengundang banyak perdebatan.

Teknologi pembangunan PLTU ini, berkembang sejalan dengan penguasaan para ahli terhadap teknologi boiler, turbin dan *heat exchanger* lainnya. Sebagai contoh pertumbuhan teknologi ini, kita lihat perkembangan teknologi pembangunan PLTU di Jepang.

Pada tahun 1952 semenjak ditetapkan kebijakan beroperasinya Pembangkit Listrik swasta (Electric Power Company) yang terbagi dalam 9 wilayah, yaitu Hokkaido, Tohoku, Tokyo, Chubu, Chugoku, Kansai, Okinawa, Kyushu, dan Shikoku, perkembangan teknologi PLTU di Jepang berkembang dengan pesat, seiring dengan pertumbuhan ekonomi yang membutuhkan suplai energi yang meningkat pesat.

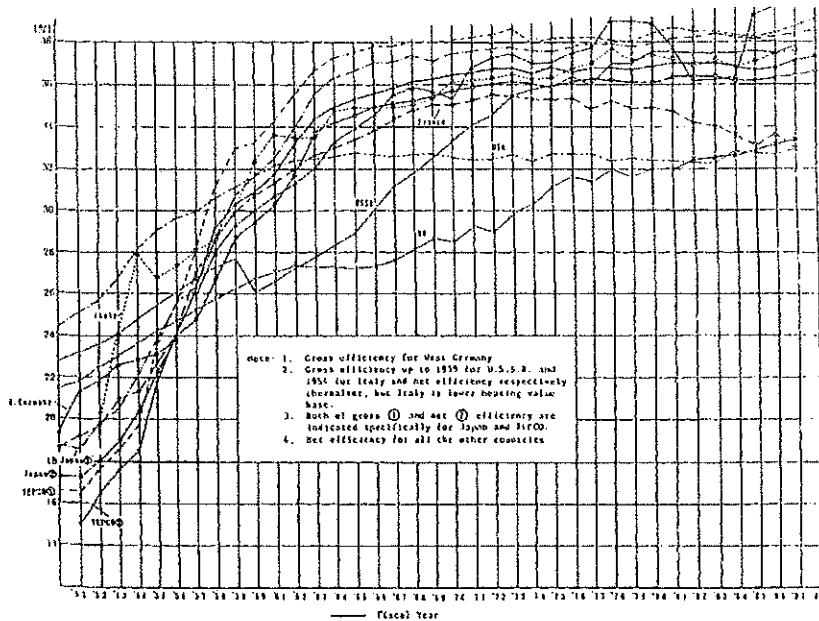
Pada tahun 1955 Kansai Electric Power Company, menyelesaikan proyek PLTU Tanagawa dengan kapasitas 75 MW (tekanan uap $88 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ dan suhu 538°C), proyek ini merupakan PLTU pertama di Jepang yang menggunakan sistem *reheat-cycle*. Dengan maksud panas uap air setelah menggerakkan turbin dikembalikan ulang ke dalam boiler ke untuk dipanaskan kemudian dialirkan kembali ke turbin (*Intermediate Pressure* atau *Low Pressure*). Sistem seperti ini diikuti pembangunannya oleh Tokyo Electric Power Company, dengan PLTU kapasitas 125 MW (tekanan uap $127 \text{ kg/cm}^2\text{g}$). Tahun 1959, kapasitas terbesar dari 156 MW sampai 175 MW (tekanan uap $169 \text{ kg/cm}^2\text{g}$) dibangun di beberapa tempat di Jepang, dan pada tahun 1966, dibangun PLTU dengan kapasitas 375 MW. Yang disusul pada tahun 1967, pembangunan PLTU Anegasaki oleh Tokyo Electric Power Company (TEPCO) dengan kapasitas 600 MW, dengan tekanan uap $246 \text{ kg/cm}^2\text{g}$, yang merupakan *super-critical pressure*. Dan pada tahun 1974 TEPCO membangun PLTU Kashima dengan kapasitas 1000 MW.

Pada periode tersebut pembangunan dan improvisasi di bidang teknologi peningkatan kapasitas dan efisiensi PLTU berkembang dengan pesat. Dalam rentang waktu 22 tahun, efisiensi PLTU naik sekitar 2 kali lipat yaitu naik menjadi sekitar 37.9%. Bisa dibayangkan pada keadaan tahun 195 yang efisiensinya sekitar 18.9%% (in gross, 17.2% in net). Gambar 1 menunjukkan perkembangan efisiensi PLTU di Jepang dan perkembangannya dengan negara lain. Dari gambar 1 tersebut yang perlu diperhatikan adalah pertumbuhan efisiensi PLTU di

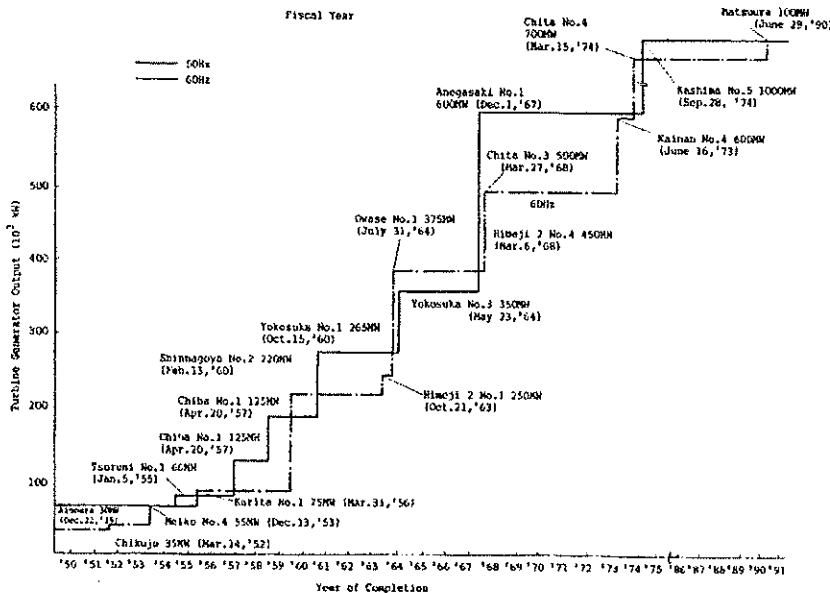
Jepang yang telah melebihi negara-negara industri lain pada tahun 1963. Tetapi setelah tahun 1963 pertumbuhan efisiensi PLTU menjadi jenuh dan hampir bisa dikatakan tetap pada level tersebut, yaitu sekitar 36%.

Pada periode sebelum tahun 1963, faktor penyebab perkembangan yang pesat dari efisiensi ini dapat disimpulkan sebagai berikut :

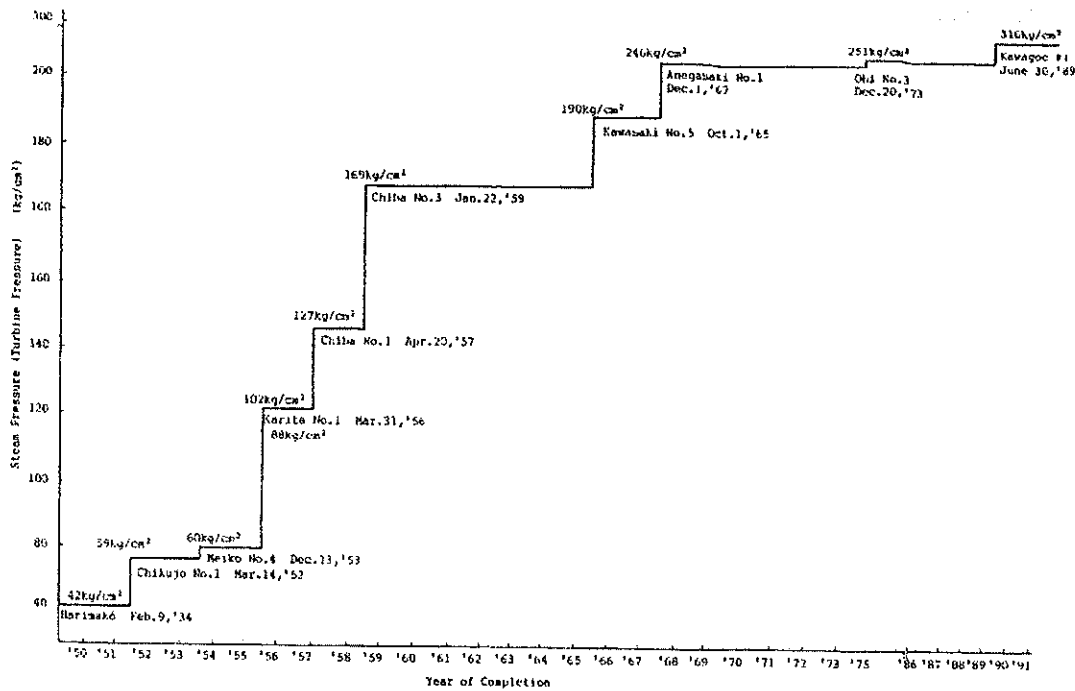
- (1) Pembangunan PLTU dengan skala besar
- (2) Tingginya kondisi uap air
- (3) Pengurangan fasilitas peralatan PLTU
- (4) Dan adanya penemuan-penemuan pada siklus panas (*heat cycle*)



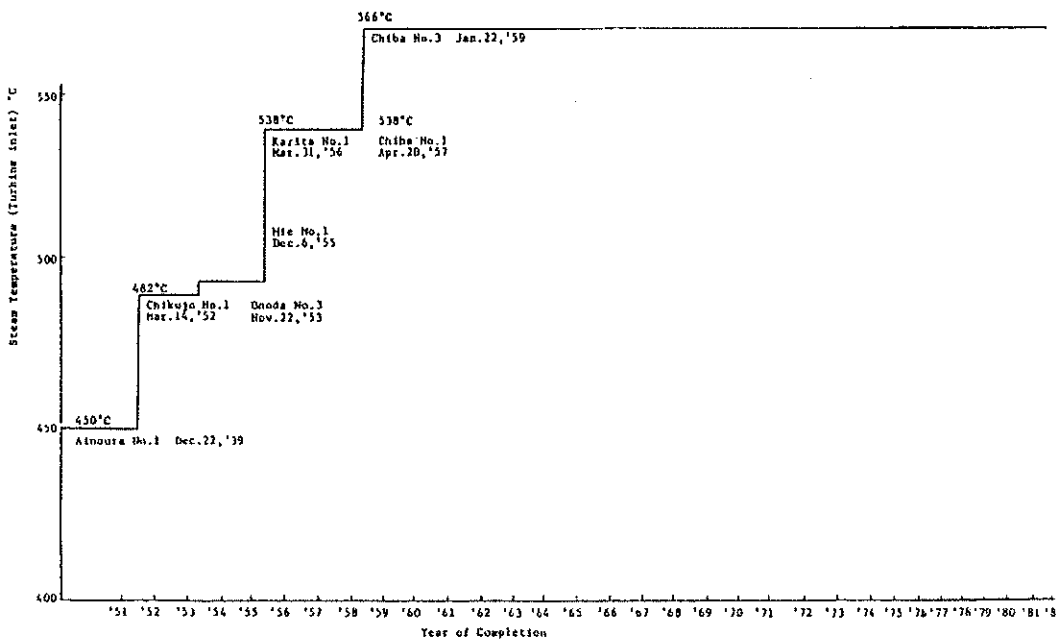
Gambar 1 Perkembangan Efisiensi Panas PLTU di dunia



Gambar 2 Perkembangan Kapasitas Turbin-Generator di Jepang



Gambar 3 Perkembangan Steam Pressure PLTU di Jepang



Gambar 4 Perkembangan Suhu Steam PLTU di Jepang

Pertumbuhan kapasitas PLTU ditunjukkan pada gambar 2, dan pertumbuhan tekanan dan suhu uap air di masukan turbin, masing masing ditunjukkan pada gambar 3 dan 4. Dari kedua gambar tersebut, ditunjukkan bahwa, sampai tahun 1957, pertumbuhan tekanan dan suhu uap air di PLTU berkembang sejalan dengan semakin besarnya pembangunan PLTU. Tahun 1958 suhu dan tekanan uap air mencapai titik puncaknya yaitu pada tingkat 127 kg/cm²g dan 566°C,

ketika pembangunan PLTU Chiba unit 3 dengan kapasitas 175 MW diselesaikan. Unit ini menjadi unit yang mempunyai tekanan tertinggi dan mencapai tingkatan *subcritical pressure*. Setelah itu, kondisi uap air tersebut dipakai untuk pembangunan PLTU dengan kapasitas 220 sampai 350 MW. Tekanan uap air 169 kg/cm² ini menjadi tekanan maksimum dan standar, kecuali tekanan uap 190 kg/cm² pada PLTU Kawasaki unit 5 yang memakai standar Eropa, pada tahun 1965.

Pada tahun 1967, untuk pertama kalinya diaplikasikan *super critical pressure*, 246 kg/cm² yang dipakai pada PLTU Anegasaki dengan kapasitas 600 MW. Dan kondisi tekanan uap air ini mejadi standar untuk PLTU dengan *super critical pressure*. Dan pada tahun 1989 standar 316 kg/cm², menjadi standar untuk kondisi uap air *ultra super-critical pressure*, ketika PLTU Kawagoe dibangun.

Perkembangan suhu uap air ini dimulai ketika pembangunan PLTU Chiba dengan kapasitas 566°C pada tahun 1958, suhu tersebut menjadi batas maksimum. Dan kapasitas suhu 566°C ini dipakai pada pembangunan PLTU dengan kapasitas 175 sampai 350 MW. Tetapi untuk PLTU dengan *super-critical pressure*, pemakaian kondisi suhu dibuat menjadi lebih rendah sebanding dengan kenaikan tekanan, dimana kondisi suhu didisain menjadi 538°C, sedangkan suhu untuk *reheat system* tetap memakai kondisi suhu 566°C. Terhentinya kenaikan suhu pada saat itu, mempunyai dua arti, yaitu :

- (1) Adanya kejadian di Amerika dan beberapa negara lainnya yang mengoperasikan PLTU dengan kondisi suhu tinggi yang disertai dengan kejadian padamnya sistem
- (2) Adanya kenaikan harga yang sangat tinggi untuk pemakaian *Austenite Steel* untuk suhu tinggi.

Sehubungan dengan improvisasi dari *cycle system* yang mempunyai pengaruh terhadap efisiensi, *reheat cycle* mulai diadopsi/dipakai pada tahun 1955, pada pembangunan PLTU Tanagawa, dan sistem itu mulai diaplikasikan di pembangunan PLTU di tempat lain. Beberapa unit *super-critical type (steam pressure, 316 kg/cm²)* didisain dengan 2 tingkat *reheat system*. Sistem ini misalnya diterapkan di PLTU Himeji unit 2 milik Kansai Electric Power Company dengan kapasitas 450 MW, tekanan uap air 316 kg/cm² dan suhu 538 °C /552 °C /566°C. Selain itu di PLTU Sakaide milik Shikoku Electric Power dengan kapasitas 195 MW steam turbine dan 30MW gas turbine. PLTU ini merupakan PLTU yang menerapkan sistem *combined cycle* yang memanfaatkan gas buang dari gas turbine secara efektif, dimana panas yang dibuang tersebut dipakai untuk memanaskan air untuk menghasilkan uap air dan menggerakkan *steam turbine*. Efisiensi panas dari unit *combined cycle* ini dapat mencapai 43% (gross) dan lebih baik daripada PLTU dengan skala besar yang hanya dapat menapai efisiensi sekitar 40% (gross).

Salah satu usaha untuk menaikkan efisiensi panas adalah dengan cara mengurangi fasilitas peralatan PLTU yang membutuhkan daya listrik. Besarnya PLTU membuat dibutuhkan penambahan fasilitas peralatan yang berakibat konsumsi daya listrik untuk kebutuhan PLTU tersebut bertambah, dan ini dapat mengurangi efisiensi panas. Pemakaian penggerak turbin dari *motor-driving* menjadi turbin *driving feedwater pump system*, merupakan salah satu cara dalam pengurangan daya fasilitas peralatan PLTU. Dan masih banyak usaha-usaha lain dalam usaha menaikkan efisiensi panas PLTU dalam pelaksanaan operasi PLTU.

2. PRINSIP DAN CARA PENGURANGAN HEAT LOSS DI PLTU

Beberapa penelitian dan percobaan di dalam pengoperasian PLTU telah dapat menjelaskan prinsip terjadinya *heat loss* di PLTU, sebagai ilustrasi pada gambar 5, ditunjukkan *Heat Balance* pada PLTU dengan kapasitas 600 MW.

Dari gambar dapat diketahui panas/energi yang hilang dari boiler sekitar 13%, panas yang hilang ini karena adanya panas yang dibawa oleh gas buang yang dipancarkan dari boiler dan panas radiasi yang dipancarkan permukaan luar boiler.

Energy yang dikandung dalam bahan bakar diubah menjadi energi panas di boiler dan dengan adanya suplai air di pipa/tube, energi panas diserap oleh air dan berubah menjadi uap air dengan tekanan dan suhu yang tinggi. Uap air ini kemudian masuk ke dalam turbin dan berubah menjadi energi gerak, dimana gerakan turbin ini menggerakkan rotor dari generator.

Heat loss yang terbesar terjadi di turbin, dimana energi yang dikandung dalam uap air dilepaskan ke air pendingin (air laut) di dalam kondensator yang terletak di bawah turbin. Besarnya energi yang dilepaskan tersebut sekitar 44% dari total energi yang dikandung bahan bakar. Pelepasan energi ini adalah hal yang tidak dapat dielakkan dalam proses perubahan dari *thermal engine* yang merubah energi gerak dari energi panas. Selain itu pada turbin juga terjadi *mechanical loss*, sekitar 3%. *Heat loss* di generator sangat kecil.

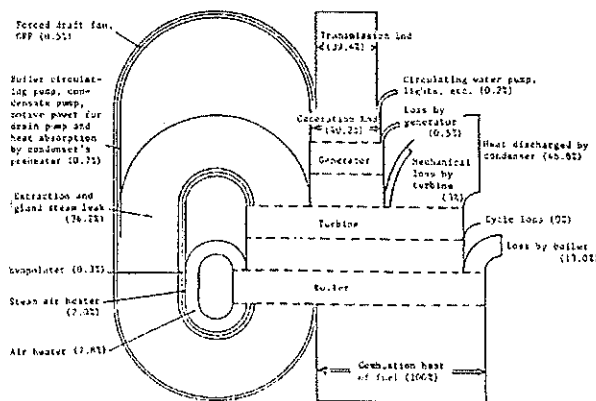
Energi listrik yang dihasilkan dipakai untuk konsumsi pompa, air blower, dan penerangan di kompleks PLTU, dan sisanya ditransmisikan ke konsumen.

Dari energi panas yang hilang tersebut, berikut ini akan diterangkan beberapa cara untuk mengurangi *energy loss* yang telah diterangkan di atas.

Metoda untuk pengurangan gas buang di boiler didisain untuk mengurangi kelebihan suhu udara dan suhu gas buang. Hal ini dilakukan dengan catatan bahwa tidak terjadi pembakaran yang buruk atau rusaknya *Air Heater* karena karat.

Hilangnya panas akibat radiasi (*radiation loss*) di boiler dapat diperkecil dengan menjaga suhu dalam keadaan normal. Sedangkan *loss* di kondensator turbin berakibat fatal, tetapi dengan pengontrolan tekanan udara vakum ke tekanan yang sesuai dengan kondisi operasi, *loss* dapat dikurangi.

Usaha untuk mengurangi *mechanical loss* di turbin, dilakukan dengan memperbaiki disain dan kualitas *labyrinth packing* yang digunakan untuk mengurangi kebocoran uap air antara sudu turbine dengan tingkatan/stage di dalam turbin.



Gambar 5 Heat Balance pada PLTU kapasitas 600 MW

Pengurangan kebutuhan listrik untuk PLTU dilakukan dengan mengurangi jumlah air blower dan pompa yang digunakan sampai jumlah/dalam kebutuhan minimum selama operasi dilakukan pada *partial load* atau dengan cara pengontrolan kecepatan operasi dari peralatan tersebut.

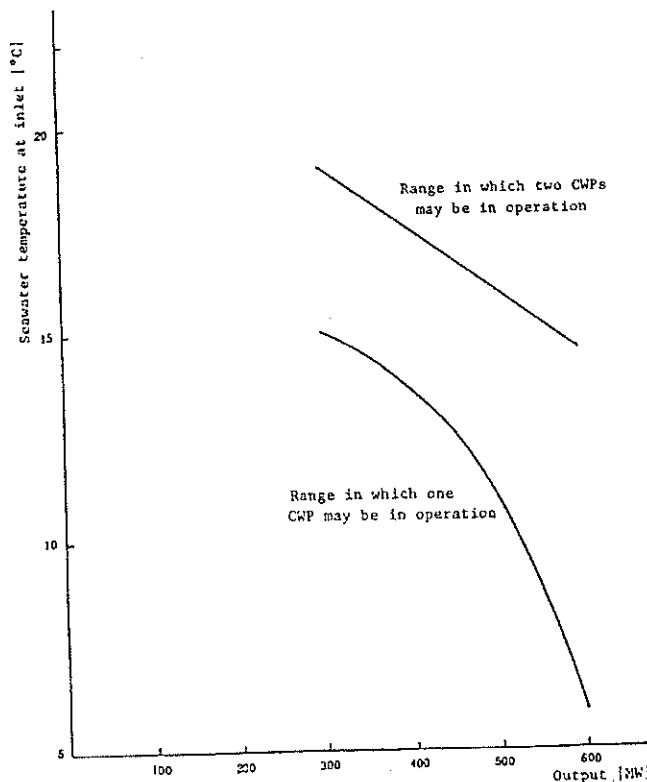
Selain itu usaha-usaha yang dilakukan dengan melakukan *periodical maintenance* sangat membantu unjuk kerja fasilitas peralatan PLTU sesuai dengan disain.

3. METODA PENINGKATAN EFISIENSI PENGOPERASIAN PLTU

Walaupun kondisi uap air sudah dilakukan improvisasi yang sangat penting dalam meningkatkan efisiensi panas di PLTU, tetapi hal ini tidak dapat menjamin peningkatan efisiensi PLTU di masa datang. Untuk itu diperlukan beberapa idea yang berpijak pada penambahan peralatan kontrol fasilitas maupun kontrol operasi.

Usaha untuk meningkatkan efisiensi panas dengan berdasarkan analisa, survey dan penelitian faktor-faktor penyebab *heat loss*, dapat dijabarkan seperti di bawah ini :

- (1) Metoda pengurangan loss bergantung pada metoda pengoperasian
- (2) Metoda yang dibutuhkan pada perawatan sangat bergantung pada peralatan perawatan, perbaikan dan inspeksi.
- (3) Metoda improvisasi fasilitas



Gambar 6 Efek Pengoperasian Jumlah CWP pada PLTU kapasitas 600 MW

3.1 PENGOPERASIAN CWP TUNGGAL

CWP (Circulation Water Pump) dalam keadaan normal dioperasikan dalam jumlah 2 atau 3, secara bersamaan. Fungsi dari pompa ini adalah mensuplai atau mensirkulasikan air pendingin atau air laut ke dalam pipa kondensor, untuk mengambil panas dari uap setelah menggerakkan turbin. Ketika unit beroperasi dengan beban rendah, salah satu dari CWP berhenti untuk menghemat daya listrik yang digunakan untuk menggerakkan fasilitas peralatan pembantu di PLTU.

Dengan berhentinya CWP maka suplai udara dingin menjadi berkurang, maka akan terjadi penurunan tingkat hampa udara di dalam kondensor, yang menghasilkan peningkatan konsumsi panas di ruangan turbin. Akibat dari pengurangan satu atau dua CWP, harus diperhitungkan daya keluaran unit dan suhu air laut sebagai air pendingin, dan juga dengan membandingkan volume penurunan daya listrik yang digunakan untuk menggerakkan CWP dengan kenaikan konsumsi panas di ruangan turbin dengan turunnya tekanan hampa udara di kondensor.

Gambar 6 menunjukkan kurva pendekatan yang menggambarkan hubungan antara output PLTU dengan suhu laut, dan hubungannya dengan penggunaan satu atau dua CWP.

3.2 PENGURANGAN FASILITAS PERALATAN PLTU.

Jumlah daya listrik yang digunakan untuk konsumsi fasilitas peralatan PLTU ini harus lebih rendah dari daya listrik yang ditransmisikan. Dan fasilitas peralatan yang digunakan untuk cadangan harus tidak digunakan untuk penghematan. Fasilitas peralatan PLTU ini antara lain seperti FDF (Forced Draft Fan), IDF (Induced Draft Fan), GMF (Gas Mixing Fan), Compressor, CP (Circulation Pump) dan CBP.

3.3 PENGURANGAN HEAT LOSS PADA STARTING DAN STOPPING

Pada pengoperasian PLTU, berdasarkan kebutuhan suplai energi listrik pada saat-saat tertentu, dilakukan starting atau stopping dari unit, berdasarkan kebutuhan operasi sistem tersebut, misalnya midnight start, stop dan pengoperasian PLTU dengan kapasitas kecil atau menengah yang bukan merupakan *base load*, sehingga dilakukan pengoperasian pada saat diperlukan saja.

Untuk mengurangi *heat loss* pada saat pengoperasian starting dan stopping, dilakukan usaha-usaha sebagai berikut :

- (1) Penghematan bahan bakar untuk *fire setting*, dengan cara mensuplai bahan bakar ketika persiapan sudah selesai.
- (2) Memperpendek waktu untuk mencapai kondisi uap air, sehingga turbin dapat siap digerakkan, dan mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk menaikkan beban.
- (3) Pengurangan jumlah suplai air ke boiler untuk mengurangi *loss* akibat *blowing*.
- (4) Pengurangan jumlah peralatan fasilitas pembantu, ketika unit dalam keadaan siap beroperasi/beroperasi.

- (5) Waktu yang dibutuhkan untuk starting fasilitas peralatan pembantu harus diperiksa dan dilakukan pengurangan waktu yang dibutuhkan untuk start.
- (6) Usaha-usaha lain, seperti mengatur waktu starting dan stopping agar jumlah pengoperasiannya berkurang.

3.4 PENURUNAN SUHU GAS BUANG DAN KADAR O₂

Energi yang dikeluarkan melalui dari boiler yang dilepaskan ke udara luar sangat besar, pengurangan energi tersebut sangat dibutuhkan untuk meningkatkan efisiensi panas sistem PLTU.

Pengurangan *loss* dari gas buang ini berarti :

- (1) Rendahnya suhu gas buang
- (2) Penurunan volume gas buang dilakukan dengan pengurangan suplai udara.

Untuk melakukan usaha-usaha ini, perlu menjadi catatan bahwa *Low Temperature Sector* dari *Air Heater* sangat mudah terkena karat yang berasal dari sulfat yang dikandung bahan bakar, terutama sekali dari *heavy oil* atau batubara dan kemungkinan turunnya kondisi pembakaran. Kondisi seperti ini perlu diperhatikan dalam melakukan metoda penurunan suhu gas buang dan konsentrasi O₂.

3.5 PERBAIKAN DISAIN AIR HEATER

Pada Air Preheater umumnya terjadi kebocoran udara pembakaran ke arah gas buang. Jika unjuk kerja seal tidak sempurna, maka kebocoran akan semakin meningkat, dan akan terjadi peningkatan kebocoran dari volume energi yang dibawa oleh udara pembakaran, yang dapat menyebabkan kenaikan daya FDF (Forced Drift Fan) dan akhirnya berakibat terhadap efisiensi PLTU.

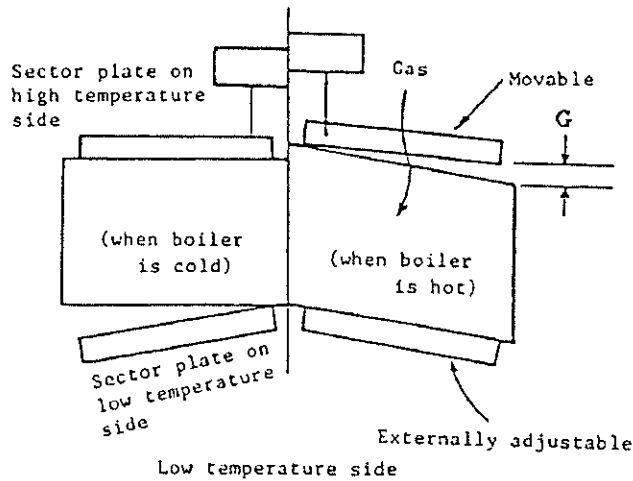
Beberapa perbaikan unjuk kerja *seal* telah dilakukan sebagai berikut :

- (1) Perbaikan pada radial seal systems dengan SDS (Sensor Drive System), ketika boiler dalam keadaan panas, rotor *Air Heater* menjadi panjang/memuai ke arah sisi bersuhu tinggi, di saat yang bersamaan panas merubah bentuk dari fan, dimana perubahan bentuk ditunjukkan pada gambar 7. Ketika suhu *air heater* panas, bagian luar *Air Heater* membentuk celah sebesar G. Celah ini muncul di bagian luar rotor, yaitu bagian suhu tinggi dengan *sector plate*. Seperti ditunjukkan gambar 8, sistem ini didisain dengan dasar, bahwa jarak G tersebut dideteksi dengan *non-contact sensor* yang dipasang di tiap *sector plate* di atas rotor bagian luar. Bagian luar ujung *sector plate* bergerak ke atas dan bawah, untuk mengontrol panjang celah gap yang di kontrol antara 1.0+
_ 02 mm.

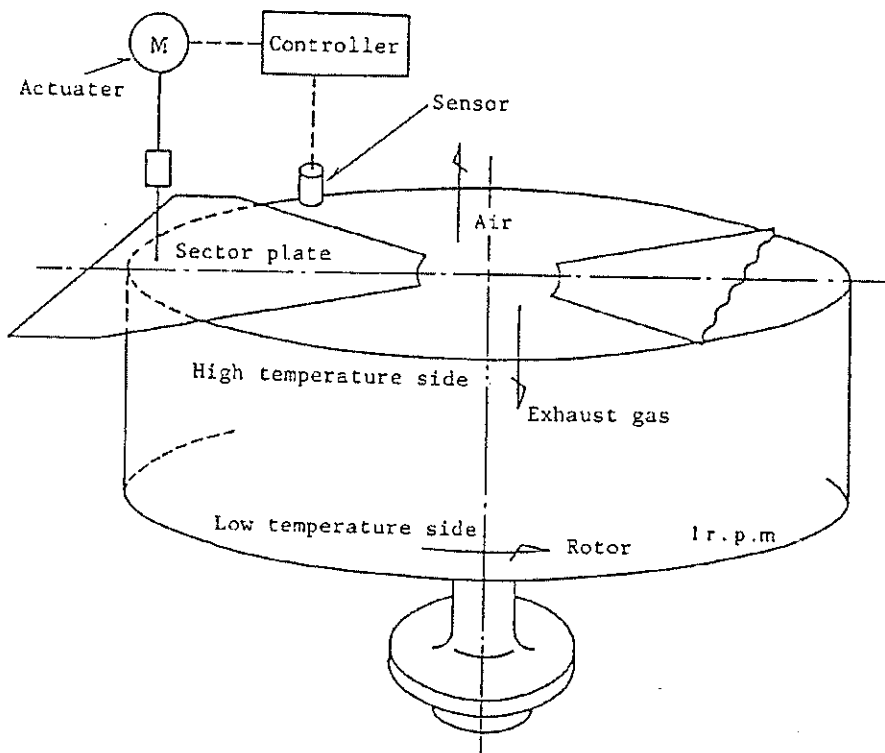
Setelah pemasangan SDS, pada PLTU 600 MW, ditemukan bahwa kebocoran udara rata rata turun sekiranya 30%. Penghematan bahan bakar karena penurunan jumlah volume udara masuk ke boiler. Dan penghematan daya listrik FDF, yang keduanya mempunyai sumbangan

terhadap kenaikan efisiensi panas yang telah rata-rata dapat menaikkan efisiensi panas sekitar 0.04%

Gambar 8 menunjukkan penambahan *saving energy* dengan cara pengoperasian SDS (*Sencor Drive System*) termasuk meningkatnya *heat recovery* karena penurunan kebocoran udara pembakaran di *Air Heater*, dan penurunan daya kerja dari FDF



Gambar 7 Mekanisme Terbentuknya Gap di Air Heater



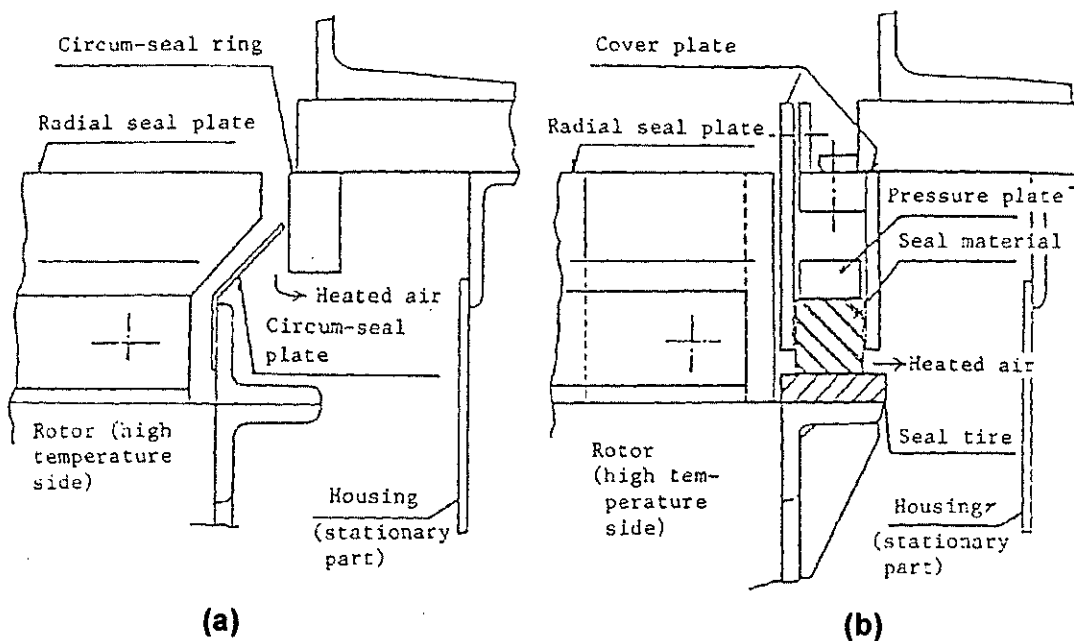
Gambar 8 Sensor Drive System di Air Heater

(2) Perbaikan *circum-seal*, gambar 9a menunjukkan tipe konvensional dari bagian luar rotor dari *air preheater* yang berfungsi mengecilkan gap antara seal plate dengan *seal ring*, untuk mengurangi kebocoran udara. Dengan sistem ini, akan ada perubahan suhu pada *air heater*, dan antara *seal plate* dengan *seal ring* menjadi saling bersentuhan dan akan terjadi gesekan. Ketika rotor dan *housing* berubah karena panas, maka akan timbul gap yang dapat menyebabkan bertambahnya kebocoran. Dengan cara mengubah konvensional struktur disain dari seal, pada sistem lingkaran luar (*outer circle*) dari rotor, yang diubah menjadi struktur seperti pada gambar 9b.

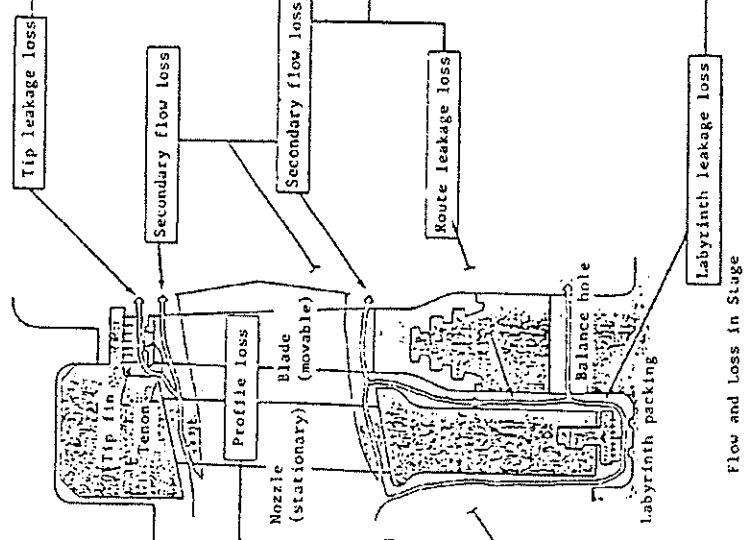
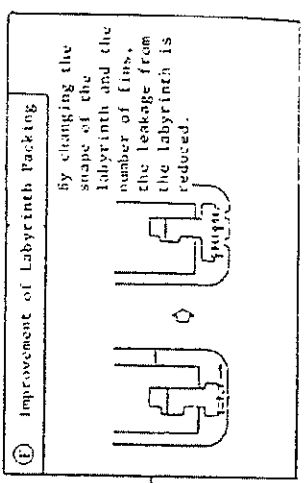
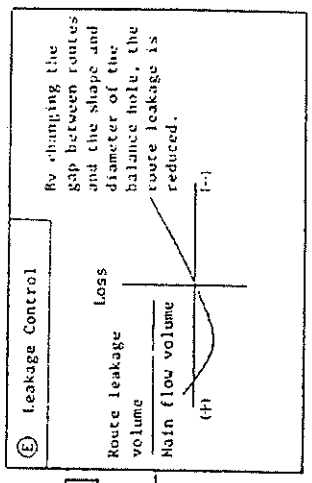
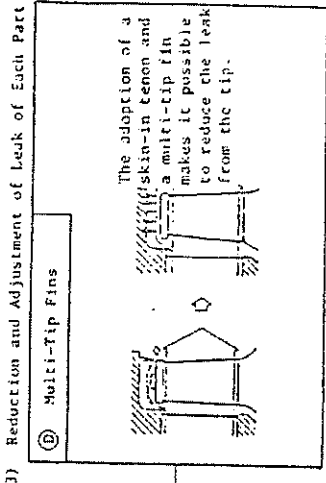
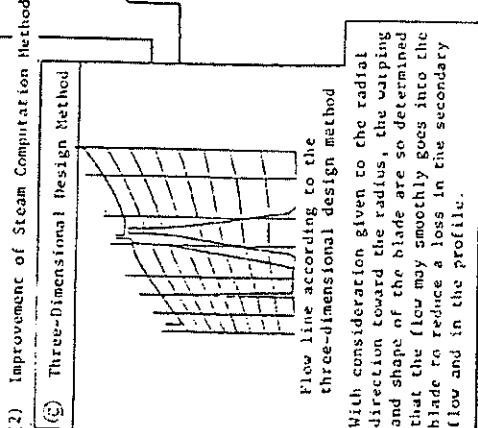
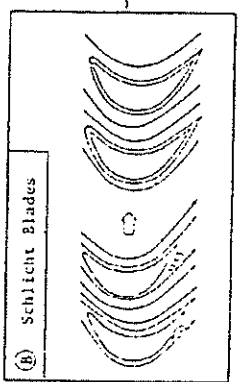
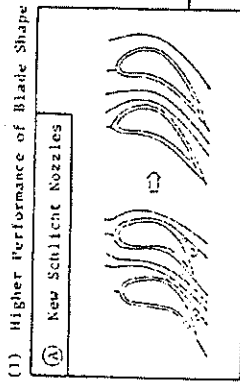
Dengan struktur seperti itu, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan :

- (a) Lebar dari *seal tire* harus ditentukan dengan pertimbangan pemuaian akibat panas.
- (b) Cover (penutup) diletakkan pada kedua sisi dari material seal untuk mencegah gap yang terjadi karena gerakan vertical dari material seal.
- (c) Permukaan dari seal harus rata/halus untuk mengurangi gesekan.
- (d) Material seal harus tahan gesekan pada suhu tinggi, dan anti terhadap karat.

Dari test efisiensi yang dilakukan pihak TEPCO diketahui bahwa setelah dilakukan perubahan struktur, nilai efisiensi naik menjadi sekitar 7.9%.



Gambar 9 Tipe Seal yang Lama (9a) dan Baru (9b)



Gambar 10 Skema Inovasi pada Komponen Turbin

3.6 PERBAIKAN EFESIENSI KERJA SUDU TURBIN

Sejalan dengan waktu pengoperasian, bagian-bagian dari turbin yang telah beroperasi lebih dari 100.000 jam akan mengalami abrasi, seperti nozzle, sudu dan juga tumbuhnya scale hasil oksidasi dari boiler.

Beberapa cara untuk meningkatkan efisiensi turbin, dalam usaha peningkatan efisiensi panas PLTU adalah sebagai berikut :

- (1) Pemakaian tipe sudu yang berperformace tinggi (*Schlicht blade*), untuk mengurangi *loss* dari sudu, diperlukan bentuk *cross-section* yang dapat menghilangkan *turbulence* dari aliran uap air. Pada beberapa dekade yang lalu, beberapa tipe sudu turbin telah dicoba untuk mencari bentuk sudu yang efisien dengan test di dalam lorong angin (*wind tunnel*) dan test-test lain terhadap kerangka sudu. Dengan kemajuan teori tentang sudu turbin dan dibantu kemajuan pesat dalam teknologi komputer, kemampuan para ahli dalam merancang sudu menjadi meningkat. Salah satu hasilnya adalah *laminar flow blade* (*Schlicht blades*).
- (2) Pengubahan pada metoda perhitungan uap air (*three dimensional design method*), pada *low pressure turbine*, aliran uap air menjadi meluas, disini diperlukan perhitungan komponen kecepatan uap air pada arah radius. Dengan perhitungan 3 dimensi yang menggantikan perhitungan secara konvensional (2 dimensi), efisiensi aliran uap air dapat ditingkatkan.
- (3) Pengurangan dan pengaturan kebocoran
 - (a) Penggunaan *multi-tip fin*, sebagai usaha untuk mengurangi kebocoran uap air dari ujung sudu turbin, dipakai *multi-tip fin*. Dimana pada beberapa dekade yang lalu pemakaian tersebut adalah hal yang tidak mungkin karena akan terjadinya perbedaan dilatasi dari material.
 - (b) Kontrol kebocoran,
 - (c) Perubahan disain *labyrinth packing*
- (4) Perubahan pada pemakaian *steam control valve*, pada beban sebagaian (*part-load*) dimana daya listrik tidak dihasilkan secara penuh, pengaturan *steam control valve* dengan pengubahan pada disain sudu turbin sangat membantu dalam meningkatkan efisiensi.

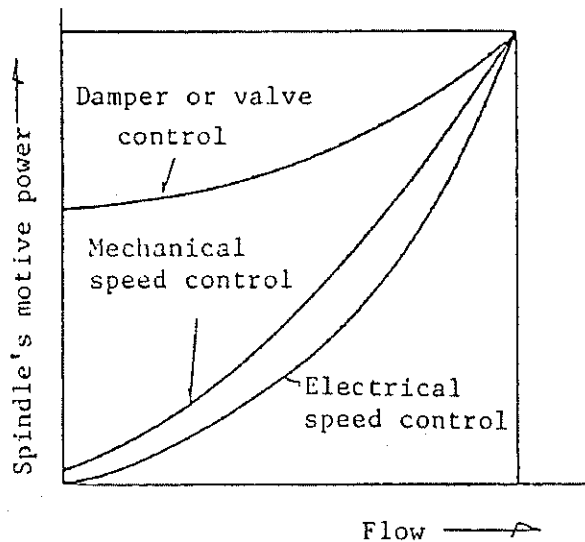
3.7 KONTROL KECEPATAN FASILITAS PERALATAN PEMBANTU PLTU

Kontrol pada pompa dan fan pada saat *partial load*, pengaturan aliran dengan *dampner* atau *valve control* menghasilkan *throttle loss*. Jika hal itu dilakukan pada *speed control* sebuah peralatan yang berputar, daya gerak pada poros akan berkurang.

Hubungan antara daya gerak poros dengan aliran ditunjukkan pada gambar 11. Dengan berkurangnya aliran, perbedaan antara daya gerak poros dengan kontrol *dampner* atau *control valve* dan kontrol kecepatan menjadi besar.

Prinsip dari kontrol kecepatan terbagi menjadi lima, yaitu *mechanical torque converter and clutch*, *electric thyristor motor*, *VVVF* (*variable voltage and variable*

frequency device) and Scherbius. Jika sebuah fasilitas peralatan pembantu PLTU dengan kapasitas besar akan diganti dengan electric system, maka biaya yang dihabiskan akan tinggi, karena main control circuit harus dikontrol atau motor harus diganti. Dengan sistem mekanik, motor yang telah terpasang dapat dipakai dengan biaya yang tidak tinggi.



Gambar 11 Hubungan antara Daya Gerak Poros dengan Aliran FLuida

Sistem mekanik mempunyai banyak keuntungan. Sebagai contoh pemakaian kontrol kecepatan secara mekanik diterapkan pada GMF (*Gas Mixing Fan*) dan BFP (*Boiler Feed Pump*).

Gambar 12 menunjukkan struktur sistem pengatur kecepatan pada GMF (*Gas Mixing Fan*), dimana motor dihubungkan langsung dengan fan melalui flange. Setelah mengalami perbaikan, antara motor dan fan dipasang clutch, yang berfungsi mengatur kecepatan fan. Dimana piston hidrolik akan bergerak untuk menambah kontak tekanan antara clutch dengan motor dan clutch dengan fan. Dengan pengurangan kontak tekanan tersebut, kontrol kecepatan dari motor ke fan diatur/dikontrol. Dengan adanya clutch ini abrasi dan panas yang terjadi pada kontak langsung antara motor dengan fan dapat dikurangi.

Gambar 13 menunjukkan sistem kontrol kecepatan pada BFP (*Boiler Feed Pump*), dimana acceleration gear pada sistem yang lama diganti menjadi acceleration gear dengan torque converter. Pada sistem yang baru, dimana terdapat dua impeller yang diletakkan di dalam oli, dimana gerakan disampaikan pada impeller yang lain bergantung pada jumlah volume oli. Dan keuntungan lain dengan adanya oli ini, panas yang dihasilkan dapat dicegah.

4. FAKTOR-FAKTOR PERHITUNGAN EFESIENSI PANAS PLTU

Pengukuran efesiesi panas sebuah PLTU ini harus dilakukan dalam selang waktu tertentu, pelaksanaannya secara periodic berfungsi untuk mengetahui dan menjaga kondisi PLTU agar selalu dalam kondisi kerja yang optimal.

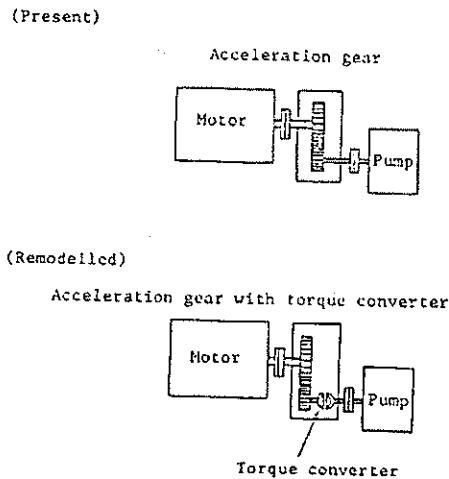
Pengukuran efisiensi panas selaku dilakukan harus melalui koordinasi operasi kontrol kantor pusat, agar supaya tidak mengganggu pengaturan beban.

Faktor-faktor yang diukur dan persamaan perhitungan dalam penentuan efisiensi panas sebuah PLTU ditunjukkan pada tabel pada tabel 1. Perhitungan ini biasanya dilakukan dengan komputer pusat yang terdapat di Control Room.

Tabel 1 Faktor-faktor perhitungan Efisiensi Panas PLTU

No	Item	Unit	Calcualtion Formula
(1)	No. of generating days	Day	Total of powe generating days
(2)	No. of generating hours	Hours	Total of synchronized hours
(3)	Generating MWh (gross)	MWh	Total of produced per hour
(4)	Generating MWh (net)	MWh	(3)-(5)
(5)	Auxiliary power consumption (in service)	MWh	Total of station service energy requirement per hour during synchronization of generator
(6)	Auxiliary power rate	MWh	$\{(5)/(3)\} \times 100$
(7)	Auxiliary power consumption	MWh	Total of station service energy requirement per hour during desynchronization of generator
(8)	Maximum generation	MW	Maximum peak of hourly generation
(9)	Maximum mean generation	MW	(totally of daily maximum generation)/(no. Period daa)
(10)	Average generation (generating hour)	MW	(3)/(2)
(11)	Averagee generation (period hours)		(3)/(period hours)
(12)	Load factor	%	$\{(11)/(8)\} \times 100$
(13)	Utility factor (generating hour)	%	$[(3)/\{(2) \times \text{normal capacity}\}] \times 100$
(14)	Utility factor (period hour)	%	$[(3)/\{\text{period hours} \times \text{normal capacity}\}] \times 100$
(15)	Number of starting up	Times	Number of synchronization
(16)	Main steam temperature	°C	Average degree at rated output
(17)	Reheat temperature	°C	Average degree at rated output
(18)	Condenser vacuum (measured)	mmHg	Average degree at rated output
(19)	Condenser vacuum (standard)	mmHg	Average of standard values to be determined from sea water temperature and output
(20)	Sea water temperature	°C	Average of water temperature at condenser inlet
(21)	Feedwater temperature	°C	Average degree at rated

peningkatan efisiensi panas ini sangat perlu, semenjak efisiensi dan optimalisasi kerja menjadi motto dalam rangka menghadapi era pasar bebas yang telah dimulai tahun 1999. Dengan adanya pasar bebas ini, TEPCO harus menghadapi 8 perusahaan listrik swasta Jepang yang lain, untuk bersaing merebut pasar dengan, tanpa batas wilayah.



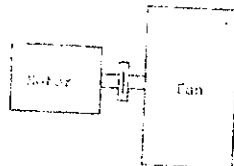
Gambar 13 Kontrol Kecepatan BFP (Torque Converter System)

6. DAFTAR PUSTAKA

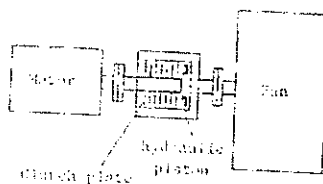
- (1) JICA-TEPCO Training Textbook, 1994, "Textbook for The Training Course in Thermal - Electric Power Engineering (1) "
 - (2) Buku pegangan Pegawai Baru TEPCO tahun 1999
-

			output
(22)	Flue gas temperature	°C	Average degree at rated output
(23)	Flue gas O ₂	°C	Average degree at rated output
(24)	Make up water	Ton/day	Average of 1-day 's estimated quantity
(25)	Atmospheric temperature	°C	Average of air temperature at FDF inlet
(26)	Fuel consumption by kinds of fuel	Kl. Ton	Input from fuel department
(27)	Gross calorific value in fuel consumption by kinds of fuel	10 ³ kcal	
(28)	Total of gross calorific value	10 ³ kcal	Total of (27)
(29)	Thermal efficiency (gross)	%	(3)/[(28) x 860 x 100]
(30)	Thermal efficiency (net)	%	(4)/[(28) x 860 x 100]

(22) (23)



(24) (25) (26) (27)



Gambar 12 Kontrol Kecepatan GMF (Clutch System)

5. PENUTUP

Usaha dalam peningkatan Efisiensi Panas PLTU ini, harus selalu diusahakan terus menerus selama PLTU beroperasi. Selain dengan cara-cara baku seperti yang diterangkan di atas, improvisasi dan idea-idea murni yang berasal dari insinyur-insinyur dan mekanik-mekanik yang bekerja di lapangan dan bersentuhan langsung dengan permasalahan akan efisiensi ini dianjurkan selalu digali dan dibahas serta dianalisa untuk diterapkan pada usaha peningkatan Efisiensi Thermal PLTU.

Peningkatan Efisiensi Panas ini sangat penting dan telah menjadi wacana di dunia dalam rangka mengurangi efek rumah kaca akibat emisi CO₂, terutama sekali PLTU yang dianggap salah satu penyumbang terbesar di dunia industri, dipaksa untuk selalu melakukan inovasi dalam mengurangi CO₂. Selain itu bagi TEPCO sendiri untuk kepentingan manajemen juga sangat usaha-usaha