

Analisa Penurunan Vakum Kondesor Tipe Permukaan PLTGU Grati

Jasmid Edy

Jurusan D3 Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknik – PLN
Email : jasmidedy@yahoo.com

Erlina

Jurusan Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknik – PLN
Email : erlina_st@yahoo.com

Anuri

Jurusan D3 Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknik – PLN

Abstract

Loss of heat from the steam cycle power plants are mostly due to the heat removed through the condenser. condenser serves to change the output steam turbine (exhaust steam) into a condensate water through the process of heat transfer between steam and cooling water. Grati PLTGU condenser-type surface (surface condenser) with cooling in the form of sea water as much as 46.070 m³ / h decreased vacuum reaches 665 mmHg, whereas the design of the level of vacuum in the condenser PLTGU RoW can reach 703 mmHg at the load of 160 MW. The analysis shows that, keavakuman decline occurred because the RoW PLTGU condenser cooling water capacity of less as a result of the increase in head loss at the inlet tunnel and the rising sea temperature reaches 330C which fluctuates due to the influence of the season and climate. However, it is also the case of over-heat duty, which may be due to damage to the components of the turbine blade and seal so that the steam turbine output energy is still quite large, it is indicated by naikknya LMTD which reached 94% .Penurunan PLTGU Grati condenser vacuum caused losses large enough for the company, where any reduction of 10 mmHg vacuum caused an economic loss of 10 billion rupiah per year. As a follow up then, treated steps to resolve the issue of which is necessary setrategi better maintenance of the condenser and the cooling system so that the equipment can function optimally, as well as replacement in perodik on turbine components that history could potentially damage before the maintenance period Major Inspection Blade Row hereinafter that the Low Pressure Turbine Blades Stationary and Seal Strip, because the maintenance cycle is long enough (36000 hours) so that steam turbine efficiency is maintained.

Keywords: condenser, exhaust steam, cooling water, head loss, vacuum, heat duty, LMTD

1. PENDAHULUAN

Sejak didirikan pada tahun 1995, PT. Indonesia Power sebagai anak Perusahaan dari PT PLN (Persero) telah dirancang untuk berperan dan menjadi bagian penting solusi pemenuhankebutuhan pasokan Listrik di Indonesia.Kebutuhan energi listrik tentu akan terus tumbuh, dan sudah menjadi keharusan perusahaan pembangkitan harus menurunkan biaya produksi listrik dan meningkatkan kemampuan operasional unit pembangkit agar lebih ekonomis. Kerugian panas dari siklus pembangkit tenaga uap sebagian besar karena panas yang dibuang melalui kondensor.

Pengoperasian kondensor secara optimum pada dasarnya sangat penting untuk menghasilkan

efisiensi *thermal* yang maksimum. Kondisi operasi kondensor memiliki pengaruh yang besar terhadap daya yang dihasilkan suatu pembangkit listrik tenaga uap dan nilai *heat rate* pembangkit tersebut. Di saat yang sama, kondisi operasional dari sistem air pendingin merupakan salah satu faktor yang sangat menentukan kondisi operasi kondensor.

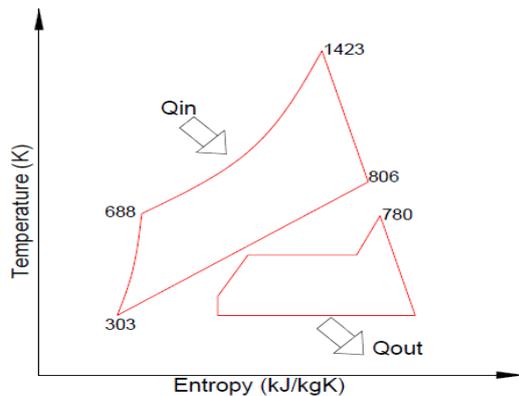
Kondensor merupakan peralatan utama dalam suatu pembangkit listrik tenaga uap. Dalam sistem kerjanya, *supply* air pendingin untuk kondesor harus selalu tersedia untuk menjaga proses kondensasi berlangsung secara *continue* sehingga siklus uap-air pada PLTGU berlangsung dengan baik. Tekanan didalam kondensor dibuat vakum

dengan tujuan untuk mempermudah proses kondensasi uap bekas keluaran turbin dan memperkecil tekanannya sehingga rasio tekanan uap yang dapat dikonversi oleh turbin menjadi energi mekanis semakin besar. Namun pada saat ini kondensator PLTGU Grati mengalami penurunan tingkat kevakuman, sehingga efisiensi dari sistem tenaga uap mengalami penurunan. Oleh sebab itu diperlukan analisa untuk mengetahui penyebab dari akar masalah yang timbul tersebut sehingga dapat dihasilkan suatu solusi yang tepat untuk mengatasinya.

2. KAJIAN LITERATUR

2.1. Siklus PLTGU Grati

Siklus PLTGU Grati bekerja berdasarkan temperatur tertinggi pada siklus Rankine adalah 780 K sedangkan pada siklus Brayton temperatur tertinggi 1343 K dan temperatur rendahnya (temperatur gas buang) adalah 806 K, maka dari sini temperatur tertinggi siklus Rankine masih dibawah temperatur rendah siklus Brayton. Kondisi tersebut yang mendasari dijadikannya konsep PLTGU Grati dengan menggabungkan kedua siklus tersebut. Proses penggabungan dua siklus (*combined cycle*) PLTGU Grati terlihat seperti gambar 1. dibawah ini.



Gambar 1. T-S Diagram Siklus Kombinasi PLTGU Grati

Sedangkan siklus uap-air yang terjadi pada PLTGU Grati terjadi di *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG). Dengan memanfaatkan panas dari gas buang turbin gas HRSG mampu menghasilkan uap bertekanan sama seperti halnya boiler pada PLTU. Uap tersebut digunakan sebagai tenaga penggerak turbin uap untuk memutar generator pembangkit tenaga listrik.

2.2. Kondensator

Kondensator adalah peralatan yang digunakan untuk mengkondensasikan uap keluar dari turbin. Sehingga vakum kondensator dan efisiensi unit terjaga. Tekanan di dalam kondensator adalah sama dengan tekanan pengembunan uap oleh karena itu temperatur pengembunan akan ditentukan oleh temperatur air pendingin kondensator. Kondensator dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu:

1. Kondensator Kontak Langsung
2. Kondensator Permukaan

2.3. Prinsip Perpindahan Panas Pada Kondensator

Menurut Changel (1997), hampir pada semua *heat exchanger* perpindahan panasnya di dominasi oleh konveksi dan konduksi dari fluida panas ke fluida dingin, di mana keduanya di pisahkan oleh dinding. Perpindahan panas secara konveksi sangat di pengaruhi oleh bentuk geometri *heat exchanger* dan tiga bilangan tak berdimensi., yaitu bilangan Reynolds, bilangan Nusselt dan bilangan Prandtl fluida. Besar konveksi yang terjadi dalam suatu *double-pipe heat exchanger* akan berbeda dengan *cross-flow heat exchanger* atau *shell-and-tube heat exchanger* atau *compact heat exchanger* atau *plate heat exchanger* untuk beda temperature yang sama. Sedang besar ketiga bilangan tak berdimensi tersebut tergantung pada kecepatan aliran serta sifat fluida yang meliputi massa jenis, viskositas absolute, panas jenis dan konduktivitas panas.

Berdasarkan hukum kesetimbangan panas, dimana panas yang masuk sama dengan panas yang di lepaskan, maka besarnya beban panas yang diterima oleh kondensator dapat di tulis kedalam suatu persamaan seperti berikut ini :

Panas yang dilepas uap = Panas yang diterima air pendingin

$$\dot{m}_{exh} \cdot h_{exh} = \dot{m} \cdot C_p \cdot (t_2 - t_1).....2.1$$

Dimana :

\dot{m}_{exh} : Jumlah massa alir uap keluar turbin (kg/s)

\dot{m} : Jumlah massa alir air pendingin kondensator (kg/s)

h_{exh} : Spesifik Enthalpy uap keluar turbin pada *Insentropic process*(kJ/kg)

C_p :Panas spesifik air pendingin kondensator (kJ/kg.°C)

t_1 :Temperatur air pendingin masuk kondensor (°C)
 t_2 :Temperatur air pendingin keluar kondensor (°C)

2.4. Efektivitas Perpindahan Panas Kondensor

Efektivitas (ϵ), adalah rasio antara tingkat perpindahan panas yang sebenarnya dan perpindahan panas maksimum yang mungkin. Dimana perpindahan panas yang sebenarnya dapat diperoleh dari besarnya Q_c , sedangkan q_{max} diperoleh dari :

$$q_{max} = \dot{m}_{air} \cdot C_p \cdot (\Delta t_{max}) \dots\dots\dots 2.2$$

Sehingga besarnya efektivitas perpindahan panas pada kondensor dituliskan sebagai

$$\epsilon = \frac{Q_c}{q_{max}} \dots\dots\dots 2.3$$

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *cooling water flow* dan *cooling water inlet temperature* terhadap kevakuman kondensor PLTGU Grati serta untuk mengetahui besarnya kerugian secara ekonomi yang timbul akibat penurunan tingkat kevakuman yang terjadi di PLTGU Grati.

Sebagai data pembanding digunakan data *heat balance* pada kondisi *75% Gas Operation* dengan beban 160 MW, sehingga untuk menghasilkan perbandingan yang berimbang maka data operasi yang diambil juga berpedoman pada kondisi yang sama yaitu *Gas Operation* dan pada beban sekitar 160 MW.

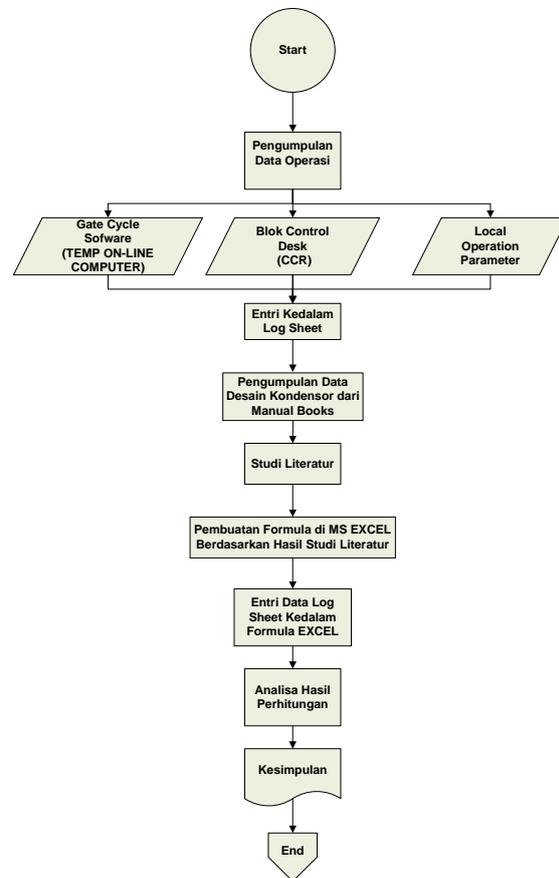
3.1. Rancangan Penelitian

Objek penelitian ini adalah kondensor PLTGU Grati. Kondensor PLTGU Grati merupakan kondensor berjenis permukaan (*surface condenser*) sehingga air pendingin dan uap keluar turbin tidak kontak atau bercampur secara langsung. Data detail mengenai spesifikasi Kondensor PLTGU Grati berdasarkan data manual book seperti yang terlihat pada tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Data Desain Kondensor PLTGU Grati

Condenser Top Vacuum (mmHg abs)		63
Cooling Water	Cooling Water Flow (m ³ /h)	46070
	Inlet Temp. (°C)	30
	Outlet Temp. (°C)	37.5
	Flow velocity (m/s)	2.35
Cooling Tube	Cooling Surface (m ²)	12670
	Outside Diameter (mm)	22.23
	Thickness (mm)	0.5
	Length (mm)	11871
	Tube Material	ASTM B 338 Gr.2
Total Number		15382
Steam Inlet Temperature (°C)		42.5

3.2. Kerangka Pemecahan Masalah



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Debit Air Pendingin Kondensor

Berdasarkan data *Heat Balance Diagram* kebutuhan *cooling water*(\dot{m}_{cw}) sebesar 46070 m³/h, dengan *cleanliness factor* adalah 0.9. Berdasarkan informasi operator dan data operasi, dalam kondisi normal CWP beroperasi dengan *discharge pressure* 1.2 kg/cm² sampai 1.4 kg/cm². Jika level air laut pada ketinggian 2000 mm dan *differential level screen* 100 mm maka

besarnya *discharge flow* dan *head* pompa CWP yang diperoleh dari hasil pembacaan kurva karakteristik pompa CWP adalah sebagai berikut :

$$p = 1017 \frac{kg}{cm^2} \cdot 9.81 \frac{m}{s^2} \cdot 9m$$

$$p = 89791 N/m^2 \sim 0.92kg/cm^2$$

Tabel 2. Debit Pompa CWP Rata-rata

	Discharge Press. (Kg/cm ²)	Total Head (m)	Discharge Flow (m ³ /h)
	1.20	15.3	20,700
	1.25	15.8	19,600
	1.30	16.3	18,800
	1.35	16.8	17,800
	1.40	17.3	16,400
Average	1.30	16.30	18,660

Berdasarkan tabel 2. rata-rata *flow* yang dihasilkan pompa CWP sebesar 18,660 m³/h. Jika dalam kondisi normal, pompa beroperasi keduanya maka *water flow* yang dihasilkan menjadi 37,320 m³/h. Namun dari jumlah tersebut tidak semua digunakan sebagai pendingin kondensor, karena pompa CWP juga mensupply kebutuhan *Closed Cooling Cycle Heat Exchanger* dan *Chlorination Plant* dengan total kebutuhan 1,685 m³/h, sehingga diperoleh *net condenser cooling water* sebesar 35,635 m³/h atau lebih rendah 22.65% dari kondisi desainnya. Pada prinsipnya, besarnya *discharge pressure* pompa CWP sangat tergantung pada besarnya pembukaan *condenser outlet valve*.

Pengaturan pembukaan *condenser outlet valve* bertujuan untuk mempertahankan tekanan minimal pada *inlet water box* agar air pendingin bisa mencapai *condenser top tube* sehingga semua pipa-pipa pada kondensor dapat teraliri air pendingin.

Berdasarkan data *ideal head loss* bahwa secara ideal besarnya *head loss* yang dialami *cooling water* dari *sea level* sampai dengan *inlet pressure indikator* pada *inlet water box* sebesar 7300 mm ~ 7.3 meter. Jika CWP beroperasi dengan *discharge perssure* 1.3 kg/cm² sehingga menghasilkan total head sebesar 16.3 meter maka besarnya *head sisa* sampai dengan *inlet pressure indikator* adalah 16.3 m – 7.3 m = 9 m.

Jadi secara ideal besarnya *cooling water inlet pressure* pada kondensor seharusnya adalah :

$$p = \rho \cdot g \cdot H$$

Dalam aplikasinya, operator melakukan pengaturan *condenser cooling water flow* berpedoman pada *cooling water inlet pressure* yang dalam kondisi normal besarnya dijaga pada kisaran 0.65 kg/cm². Dari data operasional tersebut, terdapat perbedaan karena pompa CWP secara rata-rata beroperasi dengan *discharge pressure* 1.3 kg/cm² seperti pada tabel 2., maka seharusnya tekanan yang terbaca pada *inlet cooling water* adalah 0.92 kg/cm².

Namun aktualnya tekanan pada *inlet cooling water* hanya berkisar 0.65 kg/cm², sehingga telah terjadi kenaikan *head loss* atau *pressure drop* pada *inlet culvert* sebesar 29.3%. Hal ini terjadi sebagai akibat semakin bertambahnya *fouling* pada *inlet culvert* akibat sedimen yang terbentuk selama periode operasi tertentu sehingga menimbulkan hambatan aliran air pendingin yang akhirnya menimbulkan kenaikan *head loss* pada *inlet culvert*.

4.2. Hubungan Debit Air Pendingin Terhadap Vakum Kondensor

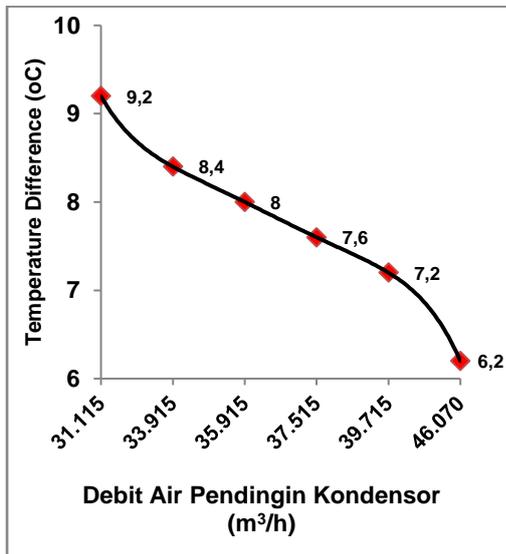
Dalam rumus kesetimbangan energi dimana laju aliran massa (*m_{cw}*) bersifat variabel, dengan menganggap besarnya panas yang diterima pendingin (*Qc*) dan besarnya *spesifik heat* (*C_p*) konstan, maka besarnya Δt dan parameter lainnya dapat dihitung. Berdasarkan konsep tersebut dilakukan perhitungan terhadap pengaruh *cooling water flow rate* terhadap *condenser vacuum* berdasarkan kondisi desain operasi *Steam Turbin 75% gas operation*.

Hal ini bertujuan agar data yang diperoleh dapat dijadikan pedoman operasional dan perbandingan dengan nilai yang lebih berimbang, karena daya terpasang (DTP) *Steam Turbine* Unit PLTGU Grati ditetapkan sebesar 159.58 MW. Berdasarkan konsep tersebut dilakukan perhitungan sehingga diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 3. Hasil Perhitungan dengan Debit Air Pendingin yang berbeda

Cooling Water Flow Rate (m ³ /h)	Temperature Difference Δt (°C)	LP Turbine Exhaust Temperature (°C)	Condenser Vacuum (mmHg)
46,070	6.2	40.4	703
39,715	7.2	41.4	700
37,515	7.6	41.8	698.6
35,915	8	42.2	697.3
33,915	8.4	42.6	696
31,115	9.2	43.4	693.3

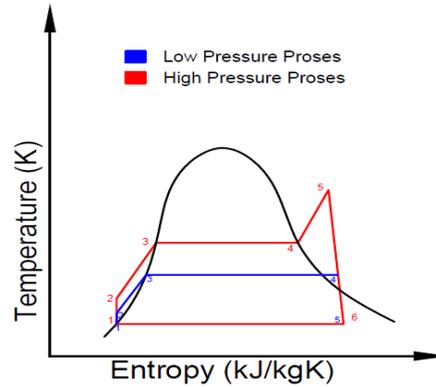
Secara grafik data hasil perhitungan memberikan gambaran sebagai berikut :



Gambar 3. Temperature Difference (Δt) vs Debit Air Pendingin Kondensor

4.3. Pengaruh Vakum Kondensor terhadap Daya Turbin Uap

PLTGU Grati memiliki satu unit Steam Turbine dengan daya terpasang 159.58 MW. Hal ini berarti combined output harus sebesar 159.58 MW dan untuk menganalisa pengaruh vakum kondensor terhadap daya turbin uap dapat dianalisa berdasarkan siklus berikut ini :

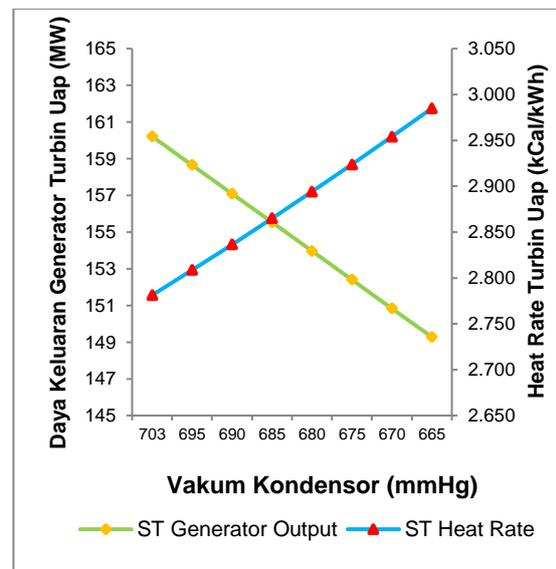


Gambar 4. Renkine Cycle PLTGU Grati

$$\text{Daya Turbin (P)} = [(\dot{m}_{HP} \cdot h_5) + (\dot{m}_{LP} \cdot h_4)] - [\dot{m}_{exh} \cdot h_{5/6}]$$

Dimana \dot{m}_{HP} adalah *mass flow* uap tekanan tinggi (HP), \dot{m}_{LP} adalah *mass flow* uap tekanan rendah (LP), \dot{m}_{exh} adalah *mass flow* uap keluaran LP turbin, sedangkan h_4 , h_5 dan $h_{5/6}$ adalah besarnya enthalpy uap pada masing-masing titik pada siklus Renkine PLTGU Grati dan enthalpy uap bekas ditentukan berdasarkan garis ekspansi isentropik turbin uap.

Berdasarkan data desain pada pengoperasian beban 75% dengan bahan bakar gas, hubungan vakum kondensor dan besarnya daya yang dihasilkan turbin adalah sebagai berikut :



Gambar 5. Daya Keluaran Generator dan Heat Rate vs Vakum Kondensor

Dalam kondisi *steam flow* dan temperatur yang tetap, penurunan tingkat kevakuman berarti telah terjadi peningkatan tekanan absolut kondensor atau lazim disebut sebagai *condenser back pressure*. Ketika tekanan absolut kondensor naik maka *enthalpy* uap keluar LP turbin akan meningkat, yang berarti besarnya energi didalam uap yang dapat dikonversi oleh turbin menjadi daya listrik semakin kecil.

Kesimpulan

Berdasarkan data operasi dan perhitungan yang dilakukan berdasarkan teori termodinamika maka pembahasan permasalahan didalam penelitian ini menghasilkan beberapa kesimpulan antara lain:

1. Kondensor PLTGU Grati bertipe *surface condenser* dengan kebutuhan air pendingin berupa air laut sebesar 46,070 m³/h, yang dipenuhi oleh dua unit *Circulating Water Pump* (CWP) dengan kapasitas masing-masing 25,200 m³/h.
2. Pengoperasian *Circulating Water Pump* (CWP) dengan kapasitas yang lebih rendah dari desainnya, yang terjadi karena rendahnya tekanan *cooling water* disisi *inlet condenser* sebagai akibat dari naiknya *head loss* pada *inlet culvert* membuat debit air pendingin kondensor berkurang.
3. Penurunan *cooling water flow rate* dan naiknya *cooling water inlet temperature* memiliki efek yang sama pada kondensor yaitu mengakibatkan tingkat kevakumannya menurun.
4. Koefisien perpindahan panas menyeluruh kondensor PLTGU Grati mengalami penurunan 41%, hal ini sebagai akibat nilai LMTD dan TTD meningkat signifikan karena terjadi peningkatan *exhaust steam temperature* sehingga terjadi *over heat duty* yang kemungkinan besar disebabkan adanya kerusakan pada komponen sudu dan *seal* turbin sehingga uap keluaran turbin energinya lebih tinggi dari seharusnya.
5. Penurunan kevakuman kondensor PLTGU Grati mengakibatkan efisiensi thermal unit pembangkit turun karena energi panas yang diperlukan untuk membangkitkan 1 kWh energi listrik (*heat rate*) menjadi lebih tinggi.
6. Setiap penurunan kevakuman kondensor PLTGU Grati sebesar 10 mmHg menyebabkan kerugian ekonomi sebesar 10 Milyar Rupiah pertahun.

Daftar Pustaka

- Haryanto, "Diktat Pompa dan Kompresor", Jakarta. STT-PLN JAKARTA, 2014.
- Habib Rochani, "Diktat Pembangkit Thermal", Jakarta. STT-PLN JAKARTA, 2013.
- Hydro, 2013, "Restoration of Unit 1 Turbine and Generator – Holyrood Thermal Generating Station", <http://www.nlhydro.com/wp-content/uploads/2014, 5 Mei 2015>.
- Jasmid Eddy, "Diktat Perpindahan Panas", Jakarta. STT-PLN JAKARTA, 2014.
- Mitsubishi Heavy Industries, "Design Manual (As Build Drawing Sea Water Intake)", Takasago Machinery Work, Japan, 1997.
- Mitsubishi Heavy Industries, "Steam Turbine Design Manual (T01)", Takasago Machinery Work, Japan, 1997.