

ANALISA PENURUNAN KINERJA KONDENSOR PADA TURBIN PLTU UNIT 4 DI PT. PLN (Persero) UNIT PEMBANGKITAN (UPK) BELAWAN

Oleh:
Jantri ¹⁾
Patricia Armelia ²⁾
Universitas Darma Agung, Medan ^{1,2)}
E-mail:
jantri@gmail.com ¹⁾
patriciaarmelia@gmail.com ²⁾

ABSTRAK

Kondensor merupakan suatu alat perpindahan panas utama yang berada pada PLTU. Kondensor berfungsi untuk mengkondensasikan uap bekas dari turbin tekanan rendah menjadi air kondensat. Uap bekas dari turbin masuk dari sisi atas kondensor, kemudian mengalami proses kondensasi yang mana terjadi perubahan fasa dari uap air menjadi air (air kondensat). Air kondensat akan digunakan kembali sebagai air pengisi boiler. Mengingat pentingnya suatu kondensor dalam unit, maka perlu diketahui seberapa besarkah laju perpindahan panas dan efektivitas kondensor yang optimal. Pada pembuatan tulisan ini akan diperhitungkan pengaruh dari variasi suhu air pendingin terhadap unjuk kerja kondensor. Perhitungan diambil berdasarkan data-data yang didapat dari PLTU Unit 4 Belawan. Hasil akhir dapat dilihat bahwa dengan semakin tingginya suhu air pendingin, maka akan meningkatkan tekanan kondensor, suhu saturasi kondensor, beda suhu rata-rata, koefisien perpindahan kalor total dan beban kalor kondensor. Dan dari sini akan mengakibatkan makin menurunnya efisiensi termal siklus.. Dari perhitungan metode NTU akan didapatkan nilai efektivitas dari kondensor. Analisis hasil perhitungan didapatkan nilai efektivitas tertinggi terjadi pada tekanan vakum 78.1 mBar dengan efektivitas 0.9956, sedangkan nilai efektivitas terendah terjadi pada tekanan vakum 184 mBar dengan efektivitas 0,990. Didapatkan semakin kecil tekanan vakum di dalam kondensor, menghasilkan efektivitas kondensor yang lebih baik. Hal tersebut sebanding dengan laju perpindahan panasnya.

Kata Kunci : Kondensor, Tekanan vakum, efektivitas, laju perpindahan panas

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi saat ini sangat mempengaruhi kebutuhan akan energi listrik. Hal tersebut menuntut PT. PLN (Persero) dalam hal ini sebagai penyedia energi listrik nasional di Indonesia untuk semakin meningkatkan produktivitas, keandalan, dan kemampuan untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat. Bagian dari PT. PLN (Persero) yang bertugas untuk menghasilkan energi listrik tersebut adalah bidang Pembangkitan, dalam hal ini akan difokuskan pada Unit Pembangkitan Belawan.

Siklus kerja PLTU merupakan siklus tertutup, yaitu menggunakan fluida yang sama secara berulang-ulang. Pertama air diisikan ke boiler hingga mengisi seluruh luas permukaan pemindah panas. Di dalam boiler air ini dipanaskan dengan gas panas hasil pembakaran bahan bakar dengan udara sehingga berubah menjadi uap. Uap hasil produksi boiler masih berupa uap jenuh, kemudian dipanaskan lagi menggunakan superheater sehingga menjadi uap kering yang kemudian dengan tekanan dan temperatur tertentu diarahkan untuk melakukan kerja di turbin sehingga menghasilkan daya mekanik berupa

putaran. Putaran turbin tersebut akan diteruskan ke generator yang dikopel satu poros dengan turbin.

Uap bekas dengan tekanan rendah keluar dari turbin dan masuk ke Kondensor untuk didinginkan dengan air pendingin berupa air laut yang dipompa menggunakan pompa CWP (Circulation Water Pump) agar berubah menjadi air melalui proses kondensasi. Air tersebut selanjutnya disebut dengan air kondensat yang ditampung pada *hot well*. Air kondensat ini kemudian dipanaskan lagi secara bertahap menggunakan *Heater*/pemanas menggunakan uap ekstraksi melalui LPH1, LPH2, LPH3, Deaerator, dan HPH. Air demin tersebut digunakan lagi sebagai air pengisi boiler. Demikian siklus ini berlangsung terus menerus dan berulang-ulang.

Beberapa hal yang dapat menyebabkan turunnya vakum pada kondensor sendiri adalah *tube* kondensor yang kotor yang dikarenakan adanya pengerakan (*scaling*) pada sisi dalam tube akibat dari biota laut yang terikat dengan air laut dan tinggal hidup di dalam *tube*, tekanan *gland seal condensor* terlalu rendah, vakum penahan (*vacuum break*) tidak menutup rapat, membrane turbin mengalami keretakan, katup aliran *deaerator* terbuka, adanya kebocoran pada *fleksibel joint* antara turbin dengan kondensor yang menyebabkan naiknya tekanan di dalam kondensor akibat masuknya udara luar sehingga tekanan vakum didalam kondensor menjadi terganggu.

Permasalahan yang ada pada PLTU Unit 4 adalah menurunnya kinerja kondensor yang sangat berpengaruh pada efisiensi turbin yang pada akhirnya menyebabkan penurunan daya yang dikeluarkan generator. Apabila dalam penanganannya tidak dapat di usahakan untuk perbaikan sampai kondisi normal, maka dengan terpaksa unit PLTU tersebut harus di setop emergency atau dalam

keadaan tak terkendalikan lagi unit akan trip dengan sendirinya.

Atas latar belakang tersebut, maka dari itu saya memilih topik yaitu Penurunan Kinerja Kondensor PLTU. Sehingga untuk pengajuan Judul proposal saya mengajukan tugas akhir dengan judul “ Analisa Penurunan Kinerja Kondensor pada PLTU Unit 4 Di PT. PLN (Persero) Unit Pembangkitan Belawan”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah di uraikan sebelumnya, dapat di rumuskan permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini:

- Faktor apa saja yang mempengaruhi terjadinya penurunan tekanan pada kondensor
- Berapa laju perpindahan panas yang terjadi pada kondensor
- Apa dampak yang ditimbulkan dengan penurunan kinerja kondensor
- Usaha yang dilakukan untuk meminimalkan penurunan kinerja kondensor

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dan ruang lingkup pada penelitian ini difokuskan pada proses yang terjadi pada Kondensor PLTU Unit 4 PT. PLN (Persero) Unit Pembangkitan Belawan yaitu :

- Perpindahan panas yang terjadi antara uap jenuh dari *exhaust* turbin dengan air pendingin (air laut) yang terjadi secara *Once Through system*
- Data yang diambil untuk bahan analisa adalah data pencatatan parameter (*Log Sheet*) operasi PLTU unit 4 UPK Belawan dengan mengambil data pengoperasian awal produksi dengan data pengoperasian terbaru
- Kemungkinan kebocoran *tube* akan di abaikan karena material *tube* yang terbuat dari titanium diasumsikan tahan terhadap korosif sehingga kecil kemungkinan bocor

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah, maka tujuan dari penelitian ini adalah :

- a. Untuk menghitung laju perpindahan panas yang terjadi
- b. Untuk mengetahui penyebab turunnya kinerja kondensor yang berakibat pada menurunnya efisiensi turbin yang berujung terjadinya derating (penurunan) beban sebagai *out put generator*

1.5 Manfaat Penelitian

Diharapkan pada penelitian ini dapat memberikan manfaat dan menambah wawasan kepada penulis serta pihak yang terkait didalamnya, yaitu sebagai berikut:

- a. Bagi Penulis : mengetahui sistem kerja kondensor dan menghitung *heat transfer* yang terjadi dan mengidentifikasi permasalahan pada turunnya kinerja kondensor PLTU Unit 4
- b. Bagi Program Studi Teknik Mesin Universitas Darma Agung : hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu referensi tambahan bagi civitas akademik khususnya Program Studi TeknikMesin.
- c. Bagi PT. PLN (Persero) Unit Pembangkitan Belawan : dapat membantu perusahaan dalam hal ini secara khusus operator PLTU Unit 4 untuk dapat menganalisa perhitungan *heat transfer* di kondensor dan dapat mencari solusi terbaik saat mengalami gangguan pengoperasian PLTU.

Pelumas adalah zat kimia, yang umumnya cairan, yang diberikan di antara dua benda bergerak untuk mengurangi gaya gesek. Zat ini merupakan fraksi hasil destilasi minyak bumi yang memiliki suhu 105-135 derajat celcius. Pelumas berfungsi sebagai lapisan pelindung yang memisahkan dua permukaan yang berhubungan. Umumnya pelumas terdiri dari 90% minyak dasar dan

10% zat tambahan. Salah satu penggunaan pelumas paling utama adalah oli mesin yang dipakai pada mesin pembakaran dalam.

SAE adalah singkatan dari *Society of Automotive Engineers*, suatu asosiasi yang mengatur standarisasi di berbagai bidang seperti bidang rancang desain teknik, manufaktur, dll. Kode SAE digunakan untuk menunjukkan tingkat kekentalan (*viscosity*). Tulisan seperti ini; SAE 10W-30, 10W-40 atau 20W-40, 20W-50, adalah standardisasi yang dikeluarkan oleh pihak SAE untuk kualitas dari kekentalan oli. Angka di sebelah kiri tanda W adalah nilai kekentalan oli ketika mesin dingin. Kemudian angka di sebelah kanan W adalah nilai kekentalan oli ketika mesin beroperasi pada suhu kerjanya. Semakin besar angkanya (baik kiri maupun kanan) itu artinya adalah semakin kental pada kondisinya. Misalnya ada yang sama-sama 15W, tetapi kalau yang satu 15W-40 yang satunya lagi 15W-50, maka keduanya memang punya kekentalan sama saat mesin dingin, tetapi ketika mesin beroperasi, yang 15W-40 akan lebih encer daripada 15W-50. Semakin kental oli, maka pelumasan semakin baik. Tapi pada batas tertentu, semakin kentalnya oli malah menghambat kerja part yang bergerak. Analoginya begini, tentu anda akan lebih mudah bergerak di air encer daripada air kental (itulah mengapa penggunaan oli encer kan membuat tarikkan lebih enteng, dsb), namun sebenarnya tingkat keausan lebih mudah terjadi pada pelumas yang lebih encer daripada oli kental.

Oleh karena itu teknik atau sistem pelumasan harus dipertimbangkan dalam setiap perencanaan mesin khususnya yang memiliki bagian yang bergerak dan bergesekan. Fenomena pelumasan dapat dilihat pada hamper semua jeni bantalan yang berfungsi menumpu poros. Tipe yang paling umum digunakan adalah bantalan gelinding (*roller bearing*) dan bantalan luncur (*journal bearing*),

sebab konstruksinya sederhana, mudah dalam pekerjaan bongkar-pasang, harga relatif murah dan mudah dalam pelumasannya.

1.1 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan sebelumnya, maka penulis merumuskan masalah sebagai berikut:

- Pengaruh yang ditimbulkan oleh pelumasan yang bukan rekomendasi Honda produksi tahun 2020 terhadap *noise* kebisingan dan emisi gas buang yang dihasilkan.
- Efek samping penggunaan pelumasan mesin SAE 20W-50 terhadap mesin Honda produksi tahun 2020.

1.2 Batasan Masalah

Mengingat begitu banyaknya jenis pelumasan mesin, maka permasalahan yang akan dibahas dalam skripsi ini adalah ekperimental mobil Honda produksi tahun 2020 dalam menggunakan pelumasan mesin 20W-50 berupa:

- Efek samping terhadap *Noise* mesin
- Efek samping terhadap emisi gas buang
- Efek samping jangka panjang
- Cara penanggulangan dari efek samping

1.3 Manfaat

Adapun manfaat penelitian yang terdapat pada penelitian studi ekperimental sistem pelumasan mobil yaitu sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui pentingnya pelumasan mesin yang digunakan sesuai tahun keluaran mobil
2. Untuk mengetahui efek samping yang timbul dari kesalahan penggunaan jenis pelumasan mesin.
3. Untuk mengetahui apa yang harus dilakukan jika sudah terlanjur menggunakan pelumasan mesin mobil yang salah.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mekanisme Perpindahan Panas

Panas adalah salah satu bentuk energi yang dapat dipindahkan dari suatu

tempat ketempat lain, tetapi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan samasekali. Energi hanya berubah bentuk dari bentuk yang pertama ke bentuk yang ke dua. Bila diperhatikan misalnya jumlah energi kalor api unggun kayu yang ditumpukkan, semua ini menyimpan sejumlah energi dalam yang ditandai dengan kuantitas yang lazim disebut muatan kalor bahan. Apabila api dinyalakan, energi termal yang tersimpan di dalam bahan tadi akan bertukar menjadi energi kalor yang dapat kita rasakan. Energi kalor ini mengalir jika terdapat suatu perbedaan suhu. Bila diperhatikan sebatang logam yang dicelupkan ke dalam suatu tangki yang berisi air kalor. Karena suhu awal logam ialah T_1 dan suhu air ialah T_2 , dengan $T_2 > T_1$, maka logam dikatakan lebih dingin daripada air. Hal yang penting dalam sistem yang terdiri dari air dan logam ialah adanya suatu perbedaan suhu yang nyata yaitu $(T_2 - T_1)$.

Kalor mengalir dengan sendirinya dari suhu yang tinggi ke suhu yang rendah. Akan tetapi, gaya dorong untuk aliran ini adalah perbedaan suhu. Bila sesuatu benda ingin dipanaskan, maka harus dimiliki sesuatu benda lain yang lebih panas, demikian pula halnya jika ingin mendinginkan sesuatu, diperlukan benda lain yang lebih dingin. Terdapat tiga bentuk perpindahan panas yaitu konduksi, konveksi dan radiasi.

2.2 Alat Penukar Kalor (Heat exchanger)

Alat penukar kalor adalah suatu alat yang digunakan untuk memindahkan panas antara dua fluida atau lebih yang memiliki perbedaan temperatur. Alat penukar kalor dapat berfungsi sebagai pemanas maupun sebagai pendingin. Biasanya, medium pemanas dipakai uap lewat panas (super heated steam) dan air biasa sebagai air pendingin (cooling water). Penukar panas dirancang sebisa mungkin agar perpindahan panas antar fluida dapat berlangsung secara efisien. Pertukaran panas terjadi karena adanya kontak, baik

antara fluida terdapat dinding yang memisahkannya maupun keduanya bercampur langsung begitu saja. Perpindahan panas pada alat penukar kalor biasanya melibatkan konveksi masing-masing fluida dan konduksi sepanjang dinding yang memisahkan kedua fluida. Laju perpindahan panas antara kedua fluida pada alat penukar kalor bergantung pada besarnya perbedaan temperatur pada lokasi tersebut.

2.3 Kondensor PLTU

Kondensor adalah suatu alat penukar kalor (*heat exchanger*) yang digunakan untuk merubah uap bekas turbin menjadi air. Uap setelah melakukan kerja didalam turbin didinginkan dengan air pendingin sehingga terkondensasi menjadi air. Air kondensat ini selanjutnya digunakan lagi didalam siklus sebagai air pengisi boiler.

Proses perubahan uap menjadi air di kondensor menimbulkan pelepasan panas dari uap ke air pendingin. Jumlah panas yang berpindah atau diserap air pendingin sangatlah besar mengingat jumlah uap bekas turbin juga besar. Panas ini kemudian dibuang ke laut atau ke udara tanpa dapat dimanfaatkan. Hal ini merupakan kerugian yang terbesar didalam siklus panas PLTU. Selain fungsi utamanya untuk mengkondensasikan uap menjadi air, kondensor juga mempunyai fungsi lain sebagai :

- a. penampung dan pengontrol air kondensat
- b. pembuang udara atau gas yang tidak terkondensasi
- c. penambah energi ke turbin karena vakum

(Materi Kursus Operasi PLTU 3-4)

3. METODE PELAKSANAAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Pelaksanaan penelitian dan pengamatan ini berlokasi di PT. PLN (Persero) Unit Pembangkitan (UPK) Belawan Jl. Pulau Sicanang No. 1 Belawan - Sumatera Utara.

Waktu penelitian ini di mulai dari persetujuan judul skripsi dari ketua program studi Teknik Mesin Universitas Darma Agung Medan, pengambilan data, pengolahan data, analisa data, hingga penyusunan skripsi dinyatakan selesai oleh komisi pembimbing.

Dari hasil penelitian dan pengamatan ini kemudian dilakukan pengumpulan data berupa data *logsheet harian* berdasarkan operasional unit di *control room* PLTU unit 3-4 milik PT. PLN (Persero) Unit Pembangkitan Belawan. Data tersebut berupa temperatur keluar dan masuk dari media pendingin Condensorserta tekanan vakuum Kondensor.

3.2 Alat dan Bahan

Alat alat-alat yang digunakan dalam pengambilan data terdiri diri :

- a. Main *Cooling Water Pump (MCWP)*
- b. Kondensor
- c. Monitor compute
- d. *Pressure Gauge*
- e. *Thermo Gauge*
- f. *Digital Infrared Thermometer*

3.3 Bahan yang menjadi objek pada penelitian ini terdiri dari :

- a. Air laut
- b. *Steam* (Uap)
- c. Air demin (Air baku)
- d. *Log Sheet* (Parameter data per Jam)

3.4 Proses Penelitian

Proses yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. *Observasi*
- b. Studi Literatur
- c. Pengumpulan Data
- d. Pengolahan data
- e. Analisis data

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk menghitung laju perpindahan panas pada kondensor dan efektivitasnya maka diperlukan data-data kondensor secara spesifikasi maupun secara aktual dalam pengoperasiannya. Untuk data spesifikasi, didapat dari buku *Manual book of Steam Turbine ABB* dan

log sheet harian yang ada di data arsip pengoperasian PLTU PT. PLN (Persero) UPK Belawan.

Tabel 4.1 Data Spesifikasi desain kondensor PLTU 4 PLN UPK Belawan

N o	SPESISIFIK ASI	KETERANG AN
	Kondensor	
1.	Tipe kondensor	Horizontal Surface Type
2.	Jumlah Kondensor	2 set / unit
3.	Tekanan Vakum	0,0867 Bar
4.	Steam Inlet Temperature (T_{hi})	48 °C
5.	Steam Outlet Temperature (T_{ho})	48 °C
6.	Steam Flow (\dot{m}_h)	46.727 Kg/s
	Tube	
7.	Diameter Luar	24 mm
8.	Diameter Dalam	22.6 mm
9.	Jumlah Tube	2520 Tubes x 2
10.	Tube Material	Titanium
11.	Panjang Tube	9900 mm
	Cooling Water	
12.	Media Pendingin	Air Laut
13.	Jumlah laluan air pendingin	2 Passes
14.	Velocity in tube (V)	2,36 m/s
15.	Temperatur air laut masuk (T_{ci})	30°C
16.	Temperatur air laut keluar (T_{co})	40 °C
17.	Flow air pendingin	2.3778 m ³ /s

(PT. PLN (Persero) UPK Belawan)

4.1 Perhitungan Nilai Koefisien Konveksi dalam Tube (h_i)

Perhitungan nilai koefisien konveksi didalam *tube* (h_i) dimulai dengan penghitungan nilai bilangan *reynold number* (ReD) dan *nusselt number* (NuD) pada aliran didalam *tube*.

Dari data pengoperasian PLTU 4 pada tanggal 28.10.1989 (lihat lampiran 1), diperoleh data *sea water inlet temperature* (T_{ci}) = 28°C, *sea water outlet temperature* (T_{co}) = 39°C, *exhaust steam turbin temperatur* (T_{Hi}) = 45,4 °C dan *temperatur inlet kondensor* (T_{Ho}) = 42 °C sehingga diperoleh nilai temperatur rata-rata (T_{mean}).

$$T_{mean} = \frac{T_{ci} + T_{co}}{2} = \frac{28^\circ\text{C} + 39^\circ\text{C}}{2} = 33,5^\circ\text{C}$$

a. Dari Tabel A-9 Sifat-sifat Air (Zat Cair Jenuh) J.P Holman-buku Perpindahan Kalor halaman 593, dengan dasar temperatur (T) = 35°C dan dengan metode interpolasi akan diperoleh data sebagai berikut :

1. *Specific heat* (cp,f) = 4,174 KJ/Kg °C
2. *Density* (ρ) = 994,4625 Kg/m³
3. *Absolute Viscosity* (μf) = 7,458 x 10⁻⁴ Kg/m.s
4. *Thermal conductivity* (kf) = 0,6246 W/m.°C
5. *Prandtl number* (Prf) = 4,984

b. Perhitungan laju aliran massa air laut ($\dot{m}c$)

$$\dot{m}c = \rho f \times Q$$

$$\dot{m}c = 994,4625 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 2,3778 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 2.364,6329 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

Dari data spesifikasi diketahui jumlah total *tube* = 5040, maka laju aliran massa air laut ($\dot{m}c$) pada ,masing-masing tube adalah

$$\frac{\dot{m}c}{N} = \frac{23.646.329,325}{5040} = 0,469173 \text{ Kg/s}$$

Untuk menentukan jenis aliran, maka dihitung Nilai Reynold number (Re) dengan rumus :

$$Re_D = \frac{\rho \times V \times d}{\mu}$$

$$= \frac{994,4625 \times 2,36 \times 0,0226}{7,456 \times 10^{-4}}$$

$$= 71.138,213$$

Dengan $Re = 71.138,213$ maka aliran termasuk ke aliran turbulen, sehingga digunakan korelasi Nud :

$$Nud = 0,023 \times Re_D^{\frac{4}{5}} \times Pr^n$$

dengan $n = 0,4$ untuk pemanasan ($T_s > T_m$)
Sehingga :

$$Nud = 0,023 \times Re_D^{\frac{4}{5}} \times Pr^n$$

$$= 0,023 \times (71.138,213)^{\frac{4}{5}} \times (4,984)^{0,4}$$

$$= 332,997$$

Maka dapat diketahui nilai koefisien konveksi dalam tube (h_i) sebagai berikut :

$$h_i = \frac{Nud \times k_f}{D_i} = \frac{332,997 \times 0,6246 \frac{W}{mK}}{0,0226 m}$$

$$= 9.203,117 \frac{W}{m^2K}$$

Jadi koefisien konveksi dalam tube

$$h_i = 9.203,117 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

4.2 Perhitungan Nilai Koefisien Konveksi di Luar Tube (h_0)

Untuk mendapatkan nilai koefisien konveksi di luar tube, terlebih dahulu kita harus mengetahui nilai *Jacob number* (Ja) dan beberapa persamaan lain, yaitu :

a. Perhitungan saturation temperature (T_{sat})

Data yang digunakan untuk perhitungan ini adalah data spesifikasi kondensor pada unit 4, didapatkan condensor vacuum adalah 78,1 mBar atau sama dengan 0,0781 Bar. Dengan dasar tekanan vakum kondensor dan penggunaan tabel A-6. *Thermophysical*

propertis of saturated dari buku *Introduction To Heat Transfer By Incropera* dan dengan metode interpolasi, maka diperoleh data sebagai berikut :

1. *Saturation Temperature* (T_{sat}) = 314,1575 K = 41,007 $^\circ$ C
2. *Specific Volume* (V_g) = 18,681 m³/Kg
Dari data aktual log sheet 28.10.1989 dengan beban 65 MW, diperoleh temperatur *steam inlet kondensor* (T_{hi}) 45,4 $^\circ$ C = 318,55 $^\circ$ K.

Dari data di atas maka dengan menggunakan tabel A.6 *Thermophysical propertis of saturated* dari buku *Introduction To Heat Transfer By Incropera* dan dengan metode interpolasi maka diperoleh data sebagai berikut :

1. *Heat Of Vaporation* (h_{fg}) = 2.404,021 KJ/Kg
2. *Specific Heat* (Cp_g) = 1,887 kJ/kg.K

b. Perhitungan surface temperature (T_s) dan film temperature (T_f)

Nilai surface temperature (T_s) diperoleh dengan menggunakan asumsi bahwa surface temperature (T_s) mendekati saturation temperature (T_{sat}), maka diambil angka untuk surface temperature (T_s) = 41 $^\circ$ C = 314,15 K, maka akan didapatkan film temperature (T_f), dengan persamaan sebagai berikut

$$T_f = \frac{T_{sat} + T_s}{2} = \frac{(41,08 + 41)^\circ\text{C}}{2}$$

$$= 41,04^\circ\text{C}$$

$$= 314,19\text{K}$$

$$T_f = \text{Film Temperatur } (^\circ\text{C atau } ^\circ\text{K})$$

$$T_{sat} = \text{Saturation temperatur } (^\circ\text{C})$$

$$T_s = \text{Surface Temperatur } (^\circ\text{C})$$

Dari tabel A.6 *Thermophysical propertis of saturated* dari buku *Introduction To Heat Transfer By Incropera*, dengan dasar temperatur (T)

= 41,04 dan dengan metode interpolasi akan diperoleh data sebagai berikut

1. *Specific Volume* (V_f) = $1,00866 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$
2. *Specific Heat* ($C_{p,f}$) = $4,174 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$
3. *Density* (ρ_f) = $991,6 \text{ kg/m}^3$
4. *Absolute Viscosity* (μ_f) = $6,43 \text{ kg/m.s}$
5. *Thermal conductivity* (k_f) = $0,634 \text{ W/m}$.
6. *Prandtl number* (Pr_f) = $4,24$

c. Perhitungan *Jacob Number*, (Ja) dan *kalor laten penguapan* (h_{fg})

Perhitungan *Jacob Number* (Ja) :

$$Ja = \frac{C_{p,f} \times (T_{sat} - T_s)}{Hf_g}$$

$$= \frac{4,174 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \times [41,08^\circ\text{C} - 41^\circ\text{C}]}{2.404,021 \text{ kJ/kg}}$$

$$= 0,0001389$$

Dimana :

- Ja = *Jacob Number*
 $C_{p,f}$ = *Specific Heat*
 T_{sat} = *Temperatur saturasi*
 T_s = *Surface Temperatur*
 hf_g = *Heat of vaporization*

Kalor laten penguapan h'_{fg}

$$h'_{fg} = hf_g \times (1 + 0,68 \times Ja)$$

$$= 2.404,021 \text{ kJ/kg} \times (1 + 0,68 \times 0,0001389)$$

$$= 2.404,021 \text{ kJ/kg}$$

$$= 2.404,021 \text{ J/kg}$$

4.3 Perhitungan Overall Heat transfer coefficient

Dengan perhitungan koefisien konveksi di dalam tube dan shell maka dapat dihitung nilai U (Koefisien Perpindahan panas keseluruhan), dimana untuk nilai K diambil dari tabel A.1 *Thermophysical Properties of Matter*, buku *Introduction To Heat Transfer By Incropera*-halaman A-5 (lampiran 9) dengan dasar film temperatur pada tube adalah $314,15375\text{K}$, maka

diperoleh nilai $K = 21,687 \text{ W/mk}$. Sehingga dapat diselesaikan perhitungan :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + R''_{fo} + \frac{r_o}{K} \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right) + \left(\frac{r_o}{r_i}\right) R''_{fi} + \left(\frac{r_o}{r_i}\right) \frac{1}{h_i}}$$

Dimana :

- U = Perpindahan panas menyeluruh
 h_o = Koefisien konveksi di luar tube
 R''_{fo} = *Fouling factor* untuk steam
 r_o = Jari-jari luar tube
 K = *Konduktivitas thermal* (untuk material Titanium)
 r_i = Jari-jari dalam tube
 R''_{fi} = *Fouling factor* untuk steam
 h_i = Koefisien konveksi di dalam tube

nb : nilai faktor pengotoran diambil dari tabel 11.1 *Representatif Fouling Factor*, buku *Introduction To Heat Transfer By Incropera*-halaman 636

$$U = \frac{1}{\frac{1}{1.339,9} + 0,0001 + \frac{0,012}{21,7} \cdot \ln\left(\frac{0,012}{0,0113}\right) + \left(\frac{0,012}{0,0113}\right) \cdot 0,0001 + \left(\frac{0,012}{0,0113}\right) \left(\frac{1}{9.203,117}\right)}$$

$$U = 908,1451 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

4.4 Perhitungan dengan metode Log Mean Temperature Different (LMTD)

Berdasarkan data spesifikasi dan data pengoperasian 28 oktober 1989 (Lampiran 2) dengan *full load*, diperoleh :

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

$$= \frac{(T_{hi} - T_{co}) - (T_{ho} - T_{ci})}{\ln \frac{(T_{hi} - T_{co})}{(T_{ho} - T_{ci})}}$$

$$= \frac{(45,4 - 39)^{\circ}\text{C} - (42 - 28)^{\circ}\text{C}}{\ln \frac{(45,5 - 39)^{\circ}\text{C}}{(42 - 28)^{\circ}\text{C}}}$$

$$= \frac{6,4 - 14}{\ln \frac{6,4}{14}} = \frac{-7,6}{-0,782} = 9,7^{\circ}\text{C}$$

Dimana :

ΔT_{lm} = Perbedaan temperatur rata-rata antara fluida panas dengan fluida dingin

T_{hi} = Temperatur fluida panas *inlet*

T_{Ci} = Temperatur fluida dingin *inlet*

T_{ho} = Temperatur fluida panas *outlet*

T_{Co} = Temperatur fluida dingin *outlet*

Sesuai dengan konstruksi kondensator pada PLTU unit 4 UPK Belawan, maka aliran yang terjadi pada tube adalah aliran silang atau *cross flow*. Dengan demikian perlu dilakukan perumusan dengan menambahkan faktor koreksi (F). sehingga

$$\Delta T_{lm} = \Delta T_{lm,CF} \times F$$

Dimana :

ΔT_{lm} = Perbedaan temperatur rata-rata antara fluida panas dengan fluida dingin

$\Delta T_{lm,CF}$ = Log mean temperature untuk arah berlawanan

4.5 Perhitungan Laju Perpindahan Panas.

Perhitungan Laju Perpindahan panas dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q = U \times A \times \Delta T_{lm}$$

$$Q = U \times (\pi \times Do \times N \times L) \Delta T_{lm}$$

$$= 908,1451 \frac{W}{m^{\circ}\text{C}} \times 3.762,0697 \times 9,215^{\circ}\text{C}$$

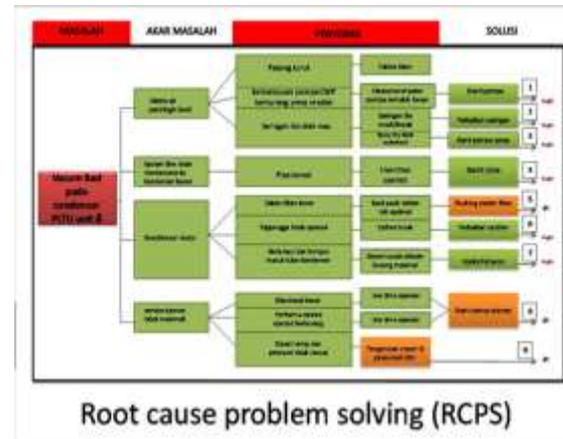
$$= 31.483.095,085 W$$

$$= 31,48 MW$$

4.6 Pembahasan

Dalam menentukan faktor-faktor apasaja yang mungkin menjadi penyebab

penurunan kinerja kondensator ini dapat ditentukan dengan menggunakan metode RCPS (Root Causes Problem Solving) sebagai berikut :



Gambar Diagram RCPS (PT. PLN (Persero))

Terdapat 4 akar masalahnya, yaitu :

1. Debit air pendingin kecil, disebabkan oleh pasang surut air laut
2. kebocoran line drain kondensator, disebabkan oleh *korosi*
3. kondensator kotor, disebabkan oleh rusaknya saringan *intake* dan kondisi air laut di sekitar *intake chanel* sudah sangat kotor akibat dari pengotoran lingkungan dan tingginya endapan lumpur di sisi hisap pompa CWP
4. vakum kondensator tidak maksimal. Masalah tersebut kemungkinan disebabkan adanya kebocoran *gland seal condensor* sehingga memungkinkan udara luar masuk ke dalam kondensator sehingga membuat tekanan kondensator menjadi naik.

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan maka hasil perhitungan dapat diringkaskan ke dalam tabel sebagai berikut :

Tabel Kinerja kondensator PLTU 4 dari data pengoperasian per sepuluh tahun

No	Deskripsi	Satuan	Tahun Operasi			
			1989	1999	2009	2019
1	Out Put Daya Generator	MW	65	60	45	32
2	Flow steam inlet Turbin	T/H	239.3	224	205	128
3	Tekanan vakum kondensor	Mbar	78.1	90	184	98
4	Laju aliran massa air laut (\dot{m}_c)	Kg/s	2.364,6329	2.363,8185	2.356,28	2.362,582
5	Laju aliran massa uap (\dot{m}_h)	Kg/s	45,1617	45,266028	104,063854	49,437892
6	Laju Perpindahan Panas (Q)	MW	31,48	22,6	49,23	59,29
7	LMTD	°C	9,215	9,268	18,3	11,27
8	Efektivitas kondensor (ϵ)		0,9956	0,9956	0,99	0,9906

Dari tabel terlihat perbedaan temperatur rata-rata antara fluida panas dengan fluida dingin yang dinyatakan dengan LMTD mengalami kenaikan seiring dengan naiknya tekanan vakum pada kondensor. Dari data pengoperasian aktual, nilai vakum paling tinggi yaitu pada pengoperasian di tahun 2009. Tercatat pada data logsheet vakum kondensor sebesar 184 mbar, namun saat terjadi gangguan tercatat vakum sebesar 268 mbar (dibuktikan dengan data gangguan pada service request berikut :

Service Request No.SBUSR5082, Gangguan Vacuum Bad	
Summary	: UNIT 4 VACUUM CONDENSOR BAD
Gejala	: VACUUM CONDENSOR 268 mbar
Dampak	: BEBAN DERATING
Resiko	: UNIT 4 RUNBACK
Deviasi	: SEKARANG = 268 mbar



Gambar Laporan Gangguan / *Service Request* (SR) di Aplikasi Maximo (PT.PLN (Persero))

Terjadinya gangguan *vacuum bad* pada kondensor akibat dari *debris filter* dan *condenser tube* kotor yang berdampak terhadap penurunan kinerja (efektifitas) kondensor dan kerusakan pompa CWP, antara lain :

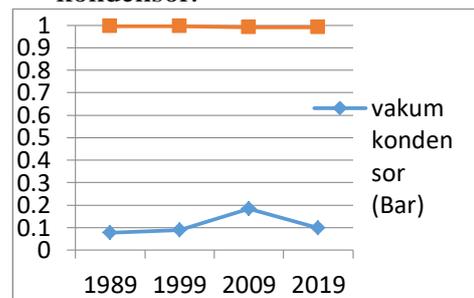
1. *Flow* atau laju aliran air pendingin ke kondensor berkurang yang mengakibatkan *vacuum bad* pada kondensor sehingga menimbulkan *derating* beban pembangkit atau risiko yang besar membuat *trip*.
2. Terhambatnya aliran air pendingin pada tube kondensor yang diakibatkan oleh adanya pengerakan kotoran pada tube sisi dalam juga dapat menyebabkan vibrasi pompa serta naiknya arus motor CWP yang berisiko besar menyebabkan kerusakan CWP

Adapun langkah yang diambil untuk mengatasi terjadinya gangguan pada kondensor ini adalah :

1. Menurunkan beban generator, sehingga jumlah uap yang masuk ke turbin berkurang yang akan mengurangi panas pada kondensor sehingga tekanan vakuum perlahan akan turun
2. Setelah ada penurunan tekan kondensor, maka dilakukan pembersihan tube kondensor dengan menggunakan *tube ball cleaning* (bola-bola gabus dilewatkan melalui tube sehingga kotoran akan terbawa oleh bola dan bola tersebut

kemuadian akan di kumpulkan lagi pada sisi *outlet tube*. Selain itu dapat juga dilakukan *back wash* pada *debrish filter* (mengubah aliran air pendingin yang melewati saringan air pendingin sehingga kotoran lepas dari saringan, dan selanjutnya dibuang melalui saluran buangan *back wash*).

3. Pabila tekanan sudah normal, maka perlahan –lahan beban dinaikkan sampai batas aman kemampuan kondensor.



Gambar Grafik Pengaruh Tekanan Vakum Kondensor Terhadap Efektifitas

Dari gambar di atas dapat terlihat kondisi vakum yang kurang baik (tekanan semakin tinggi) maka efektifitas kondensor juga ikut menurun. Pada data pengoperasian tahun 2009 nilai vakum terburuk sebesar 184 mBar = 0.184 Bar memiliki nilai efektifitas terendah yaitu 0.9900.

5. SIMPULAN

Dari hasil analisis perhitungan, ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Laju perpindahan panas yang rendah yaitu pada data pengoperasian tahun 1989 diperoleh sebesar 31,48 MW dan memiliki laju aliran *steam* yang kecil pula, yaitu 45,1617 Kg/s, sedangkan pada pengoperasian tahun 2019 diperoleh laju perpindahan panas (Q) sebesar 59,29 MW dengan laju aliran *steam* sebesar 49,437892 Kg/s. Jika dikaitkan dengan kevakuman, tampak bahwa semakin tinggi laju pepindahan panas maka tekanan vakum semakin tinggi juga, artinya semakin baik

kondisi vakum (tekanan rendah) maka proses perpindahan panas akan cepat dan nilai Q akan menjadi kecil.

2. Penyebab utama dari gangguan pada kondensor ini adalah kualitas dan kuantitas air pendingin yang mengalir pada tube – tube kondensor yang berasal dari *chanel Intake*. Terbukti dengan kenaikan temperatur pada kondensor (T_{Ho}) akan sangat berpengaruh pada tekanan vakum kondensor yang akan naik juga. Dengan naiknya tekan vakum pada kondensor maka akan terjadi gaya lawan di dalam kondensor sehingga menjadi penghambat bagi uap yang menuju kondensor yang menjadi penahan putaran *blade turbin*. Apabila putaran turbin terhambat maka *output* daya generator akan berkurang (disebut dengan *derating* beban pembangkit).

Saran

- a. Naiknya temperatur pada kondensor sangat dipengaruhi oleh faktor kebersihan bagian dalam tube, karena kotoran yang menempel dapat menghambat *heat transfer*. Oleh karena itu disarankan agar ritme pembersihan tube lebih di tingkatkan untuk mengurangi resiko pengerakan yang lebih parah pada tube bagian dalam.
- b. Dalam tulisan ini hanya mengupas hal yang membuktikan penurunan kinerja kondensor. Untuk pembahasan lebih lanjut agar di bahas penyebab terjadinya penurunan kinerja tersebut secara detail. Untuk memenuhi kelengkapan data, disarankan agar pihak PT. PLN (Persero) dapat mengganti instrumentasi pengukuran yang sudah rusak dan menambah instrumentasi pengukuran untuk flow air pendingin agar dapat diketahui keandalan pompa air pendingin (MCWP).

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Incropera, Frank P dkk. 2007. *Introduction To Heat Transfer, edisi kelima*. Hoboken : John Wiley & Son (Asia) Pte Ltd
2. Holman, J.P. 1988. *Perpindahan*

Kalor, edisi keenam. Dialih bahasakan oleh E. Jasjfi. Jakarta : Erlangga

3. <https://fdokumen.com/document/perpindahan-kalor-konveksi.html>
4. <http://sriwulandaritermodinamika.blogspot.com/2015/03/alat-penukar-kalor-heat-exchanger.html>
5. Diktat OJT Pengoperasian PLTU dasar PT. PLN (Persero)
6. Materi Kursus Operasi PLTU 3-4, PT. PLN (Persero) Unit Pembangkitan Sumatera Utara. 1988
7. Reynolds William P dan Henry C. Perkins. 1994. *Termodinamika Teknik, edisi kedua* Jakarta : Erlangga