

PENGARUH KEVAKUMAN TERHADAP EFEKTIVITAS KONDENSOR PLTU BARRU UNIT 1

Apollo, Musrady Mulyadi¹⁾, Achmad Yoga Issaniyah, Fefrianto Muh. Surahman²⁾

Abstract: *The condenser is one of the important equipment in a power plant in the process, especially at the power plant system whose function is to condense the exhaust steam turbine extraction into water droplets (condensate water) which is then circulated back to boiler reprocessed into steam. Vacuum condenser is one of the parameters that influence the effectiveness and efficiency of the condenser in particular plants in general. This final report aims to determine the effectiveness of the condenser based on actual data, the optimal gain vacuum value, and comparison between the specifications and the actual effectiveness of the condenser. The method used is collecting data on the load condition of 50%, 75%, and 100% and then perform data analysis. Results will be presented in tables and graphs then making a conclusion. Based on the data and analysis that has been done, it is known condenser effectiveness decreases with an increase in vacuum pressure. Optimum vacuum level is on a scale (80) Kpa - (85) Kpa. From the analysis of the data also can be seen that the effectiveness of the actual data is higher than the effectiveness of the data specification.*

Keywords: *Efektiveness, Condensor, Vacuum.*

I. PENDAHULUAN

Kondensor merupakan salah satu peralatan penting dalam sebuah proses di power plant khususnya pada sistem PLTU. Fungsi utama kondensor adalah suatu alat yang digunakan untuk mengkondensasikan uap hasil pembuangan ekstraksi turbin menjadi titik-titik air (air kondensat) dan uap yang terkondensasi menjadi air ditampung pada Hotwell. Selanjutnya air tersebut disirkulasikan kembali ke boiler untuk diproses kembali menjadi uap. Dalam proses perubahan uap menjadi air terdapat berbagai macam parameter yang harus dijaga, diantaranya: tingkat kevakuman dalam kondensor, temperatur dan tekanan air pendingin, serta temperatur uap yang akan dikondensasi. Parameter tersebut sangat berpengaruh terhadap efektivitas kondensor pada khususnya dan efisiensi pembangkit pada umumnya.

Oleh karena pentingnya peranan kondensor dalam menjaga efisiensi pembangkit listrik tenaga uap, khususnya di PLTU Barru, maka dianggap perlu melakukan studi mengenai pengaruh kevakuman terhadap efektivitas kondensor.

¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

²⁾ Alumni Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

A. Kondensor

Kondensor merupakan alat yang digunakan untuk mengubah uap tekanan rendah yang telah digunakan pada turbin menjadi air. Perubahan fasa ini berlangsung karena pada kondensor terdapat fluida pendingin yang dialirkan di dalam pipa dan permukaannya bersentuhan langsung dengan uap, sehingga terjadi proses kondensasi dan akan ditampung pada hotwell. Dalam proses kondensasi terjadi perpindahan panas secara konduksi, konveksi dan radiasi.

B. Overall Heat Transfer coefisien

Perpindahan panas menyeluruh yang terjadi sebanding dengan kebalikan tahanan thermalnya. Dala permasalahan yang lebih kompleks tahanan thermal dapat melibatkan tahanan konveksi aliran di luarmaupun di dalam silinder dapat dilihat pada rumus dibawah ini (Holman, 1986:482) :

$$U_o = \frac{1}{\frac{r_o}{r_i h_i} + \frac{[r_o \ln(\frac{r_o}{r_i})]}{k} + \frac{1}{h_o}} \dots\dots\dots(1)$$

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{[r_i \ln(\frac{r_o}{r_i})]}{k} + \frac{r_i}{r_o h_o}} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

U = overall heat transfer coefficient (W/m²°C)

h_o = koefisien konveksi di luar tube (W/m²°C)

h_i = koefisien konveksi di dalam tube (W/m²°C)

r_o = jari-jari luar tube (m)

r_i = jari-jari dalam tube (m)

k = konduktivitas thermal (W/m°C)

C. NTU (Number Of Transfer Unit)

Pengecekan terhadap kinerja kondensor yang telah diketahui jenis, ukuran dan tipenya dapat dilakukan dengan metode efektivitas-NTU. Efektivitas (ϵ) adalah suatu ukuran yang menyatakan seberapa jauh target (kuantitas, kualitas dan waktu) telah tercapai. Dimana makin besar presentase target yang dicapai, makin tinggi efektifitasnya. Hal ini merupakan bilangan tanpa dimensi dan berada pada $0 < \epsilon < 1$. Sehingga dinyatakan dalam persamaan :

$$\epsilon = f \left[NTU \frac{C_{min}}{C_{max}} \right] \dots \dots \dots (3)$$

Dengan C_{min} diperoleh dari nilai terkecil antara Heat capacity rate fluida dingin dan fluida panas. Dengan (Holman, 1986:504):

$$C_c = \dot{m}_c \times Cp_c \dots \dots \dots (4)$$

$$C_h = \dot{m}_h \times Cp_h \dots \dots \dots (5)$$

Sehingga persamaan dari NTU adalah :

$$NTU = \frac{UA}{C_{min}} \dots \dots \dots (6)$$

Sedangkan rasio kapasitas panasnya (C_r) = $\frac{C_{min}}{C_{max}}$ (7)

A. Efektivitas

Untuk kondensor tipe selongsong-dan-tabung dengan 2 lintas selongsong maka efektivitas dapat dirumuskan dengan (Holman, 1986:507):

$$\epsilon = \left\{ 1 + C_r + (1 + Cr^2)^{\frac{1}{2}} \times \frac{1 - \exp \left[-(NTU)1(1+Cr^2)^{\frac{1}{2}} \right]}{1 - \exp \left[-(NTU)1(1+Cr^2)^{\frac{1}{2}} \right]} \right\}^{-1} \dots \dots \dots (8)$$

Dimana:

- ϵ = Efektivitas
- C_r = Heat Capacity Rasio
- NTU = Number of Transfer Unit

II. METODE PENELITIAN

Pengambilan data :

- a. Pengambilan data langsung di CCR (*Central Control Room*)
- b. Pengambilan data didalam *Turbine Maintenance Book*

Data diambil pada kondisi beban 100% (50MW), 75% (37MW), dan 50% (25MW) dan akan dianalisa hubungannya dengan tingkat kevakuman kondensor.

Pada saat selesai pengambilan data, maka dilakukan pengolahan data berdasarkan rumus dari sumber referensi, diantaranya koefisien konveksi dalam dan luar tube, *Overall Heat Transfer Koefisien*, *Number of Transfer Unit*, dan Efektivitas

Kondensor dengan menggunakan software Microsoft Excel 2007 untuk pengolahan data. Dimana hasil analisa data yang diperoleh akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Berdasarkan tabel dan grafik tersebut akan diambil kesimpulan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Pengamatan

Data name plate kondensor PLTU Barru Unit 1 tipe N-3500

Tabel 1. Data Spesifikasi Kondensor Unit 1

<i>Design spesification</i>	
Tipekondensor	<i>Shell and Tube, Two passes, horizontal tube</i>
Tube material	Titanium
Sea Water Inlet Temperatur (T_{ci})	30 °C
Steam Flow (\dot{m}_h)	156590 kg/h
Total Number of Tube (n)	5488
Tube diameter inside (D_i)	0,028 m
Tube diameter outside (D_o)	0.03 m
effective Length (L)	7345 mm
Cooling water flow rate (Q_c)	3,5 m ³ /s
Velocity in tube (V)	2,3 m/s
Steam Inlet Temperature (T_{hi})	80 °C
Vacum Condenser	8,7kPa

B. Perhitungan Nilai Koefisien Konveksi di Dalam Tube (h_i)

Untuk mencari nilai koefisien konveksi di dalam *tube*, harus diketahui terlebih dahulu harga *Reynold number* (Re_D) dan *Nusselt number* (Nu_D) pada aliran di dalam *tube*.

Dari data pertama diketahui $T_{ci} = 30$ °C sehingga dari tabel A-9 Sifat-Sifat Air (Zat Cair Jenuh) didapa *tproperties* sebagai berikut:

$$\mu_c = 8,03 \times 10^{-4} \text{ kg/ms}$$

$$\rho_c = 995,26 \text{ kg/m}^3$$

$$k_c = 0,619 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$Pr_c = 5,412$$

$$Cp_c = 4,176 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

C. Perhitungan Mass flow rate sea water

$$\dot{m}_c = \rho \times V \times A$$

$$= \rho_c \times Q = 995,26 \text{ kg/m}^3 \times 3,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$= 3483,41 \text{ kg/s}$$

$$\text{Re} = \frac{v \cdot d \cdot \rho_c}{\mu_c}$$

$$\text{Re} = \frac{2,3 \times 0,028 \times 995,26}{0,000803}$$

$$= 79819,1083$$

Dengan $\text{Re} = 79819,1083$ maka termasuk aliran turbulen, sehingga digunakan korelasi Nud :

$$\text{Nu}_D = 0,023 \times \text{Re}^{\frac{4}{5}} \times \text{Pr}^n$$

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

$$\text{Nu}_D = 0,023 \times \text{Re}^{\frac{4}{5}} \times \text{Pr}^n$$

$$\text{Nud} = 0,023 \times 79819,1083^{\frac{4}{5}} \times 5,412^{0,4}$$

$$\text{Nud} = 377,6$$

Maka:

$$h_i = \frac{\text{Nud} \times k}{D}$$

$$= \frac{377,36 \times 0,619 \text{ W/m}^\circ\text{C}}{0,028 \text{ m}}$$

$$= 8347,91 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$$

Jadi koefisien konveksi di dalam tube $h_i = 8347,91 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$

D. Perhitungan Nilai Koefisien Konveksi di Luar Tube (h_o)

Perhitungan temperatur saturasi

Dari data diketahui vakum kondensor adalah 8,7 KPa merupakan tekanan absolut maka:

$$P_{\text{abs}} = 8,7 \text{ KPa}$$

$$= 0,087 \text{ bar}$$

Dari tabel A.3 *Properties of Saturated Water* didapat

$$T_{\text{sat}} = 43,015 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$V_g = 16,9 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\text{makap}_v = \frac{1}{V_g} = 0,05917 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Dengan $T_{h,i} = 80^\circ\text{C}$ maka dari tabel A.2 *Properties of Saturated Water* dan table A.9

Sifat-sifat Air didapat $h_{fg} = 2308,8 \text{ KJ/kg}$ dan $C_{p_h} = 4,1934 \text{ KJ/kg}^\circ\text{C}$

E. Perhitungan temperatur *surface* dan temperatur film

Pada perhitungan temperatur *surface*, digunakan asumsi bahwa temperatur *surface* mendekati temperatur saturasi. Maka diambil angka:

$$T_s = 43^\circ\text{C}$$

Dengan mengetahui temperatur *surface*, maka akan didapatkan temperatur film, dengan persamaan:

$$T_f = \frac{T_{sat} + T_s}{2}$$

$$T_f = \frac{43,015^\circ\text{C} + 43^\circ\text{C}}{2}$$

$$T_f = 43,0075^\circ\text{C}$$

Dari table uap A-9 Sifat-sifat Air didapatkan:

$$\mu_f = 6,198 \times 10^{-4} \text{ kg/m.s}$$

$$\rho_f = 990,739 \text{ kg/m}^3$$

$$k_f = 0,6366 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$C_{p_f} = 4,174 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

F. Perhitungan koefisien konveksi di luar tube

$$h_o = 0,725 \left(\frac{g \times \rho_f \times (\rho_f - \rho_v) \times k_f^3 \times h_{fg}}{d_o \times \mu_f \times (\tau_{sat} - T_s)} \right)^{1/4}$$

$$h_o = 0,725 \left(\frac{9,8 \text{ m/s}^2 \times 990,739 \text{ kg/m}^3 \times (990,739 - 0,0591716) \text{ kg/m}^3}{0,03 \text{ m} \times 5488 \times 6,198 \times 10^{-4} \text{ kg/m.s} \times (0,6366)^3 \times 2308,8 \text{ kJ/kg}} \right)^{1/4}$$

$$h_o = 1008,41 \text{ W/m}^2\text{C}$$

G. Perhitungan Overall Heat Transfer Coefficient

Dengan perhitungan koefisien konveksi di dalam tube dan shell maka dapat dihitung U (koefisien perpindahan panas keseluruhan) Dimana untuk nilai k diambil dari table A-14 *Thermophysical Properties of Selected Metallic Solids* dengan bahan titanium untuk temperature 316 K yaitu $22,122 \text{ W/m}^2\text{C}$, sehingga :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{r_i}{k} \ln \left(\frac{r_o}{r_i} \right) + \left(\frac{r_i}{r_o} \right) \frac{1}{h_o}}$$

$$U = \frac{1}{0,00012 + 0,0000436624 + 0,000926}$$

$$U = 918,201 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

H. Perhitungan Heat Capacity

$$C_c = \dot{m}_c \times C_{p_c}$$

$$C_c = 3483,41 \text{ kg/s} \times 4,176 \text{ kJ/kg°C}$$

$$C_c = 14546,72 \text{ kJ/s°C}$$

$$C_h = \dot{m}_h \times C_{p_h}$$

$$C_h = 156590 \text{ kg/jam} \times \frac{1 \text{ jam}}{3600 \text{ s}} \times 4,1934 \text{ kJ/kg°C}$$

$$C_h = 182,4013 \text{ kJ/s°C} = 182401,3 \text{ J/s°C}$$

Maka dari hasil perhitungan $C_{\min} = 182,4013 \text{ kJ/s°C}$ dan $C_{\max} =$

$$14463,6 \text{ kJ/s°C}$$

$$C_r = \frac{C_{\min}}{C_{\max}}$$

$$= \frac{182,4013 \text{ kJ/s°C}}{14463,6 \text{ kJ/s°C}}$$

$$C_r = \frac{182,4013 \text{ kJ/s°C}}{14463,6 \text{ kJ/s°C}}$$

$$C_r = 0,012539$$

I. Perhitungan NTU dan Effectiveness

$$NTU = \frac{UA}{C_{\min}}$$

$$NTU = \frac{918,201 \text{ W/m}^2\text{°C} \times \pi \times 0,03\text{m} \times 5488 \times 7,345\text{m}}{182401,3 \text{ J/s}^{\circ}\text{C}}$$

$$NTU = 17,619$$

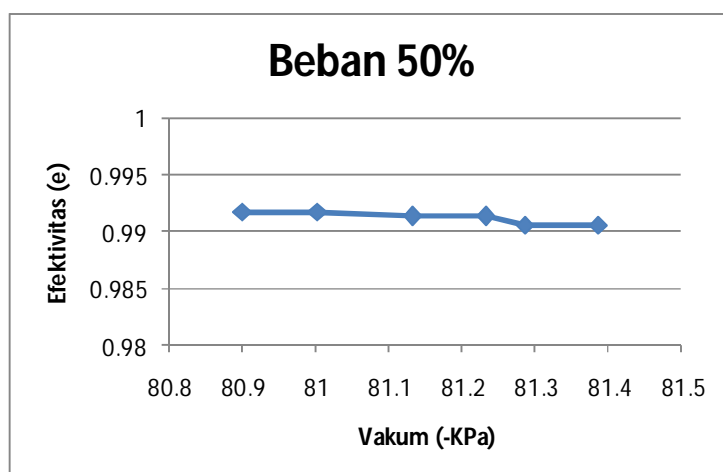
Dengan tipe kondensator *shell and tube two passes* (2 tube passes) digunakan persamaan sebagai berikut

$$\varepsilon = 2 \left\{ 1 + C_r + (1 + C_r^2)^{\frac{1}{2}} \times \frac{1 + \exp \left[-(NTU)_1 (1 + C_r^2)^{\frac{1}{2}} \right]}{1 - \exp \left[-(NTU)_1 (1 + C_r^2)^{\frac{1}{2}} \right]} \right\}^{-1}$$

$$\varepsilon = 0,9875$$

J. Pembahasan

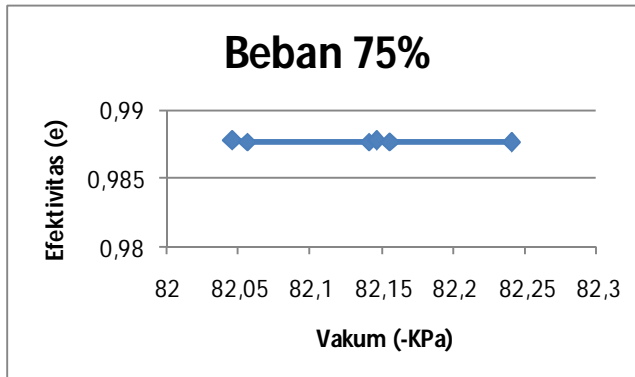
1. Beban 50%



Gambar 1. Grafik Pengaruh kevakuman terhadap efektivitas kondensator pada kondisi beban 50%

Pada gambar 1 dapat dilihat bahwa untuk beban 50% efektivitas kondensator menurun seiring dengan penurunan vakum kondensator. Hal ini terjadi karena meningkatnya massa uap yang akan dikondensasikan sementara laju aliran air pendingin cenderung konstan. Namun perubahan nilai vakum ini masih dalam batas normal karena masih memiliki efektivitas yang tinggi. Efektivitas tertinggi sebesar 99,17% yaitu pada kondisi vakum kondensator 80,9 KPa sedangkan efektivitas terendah dengan nilai 99% yaitu pada kondisi vakum kondensator 81,4 KPa.

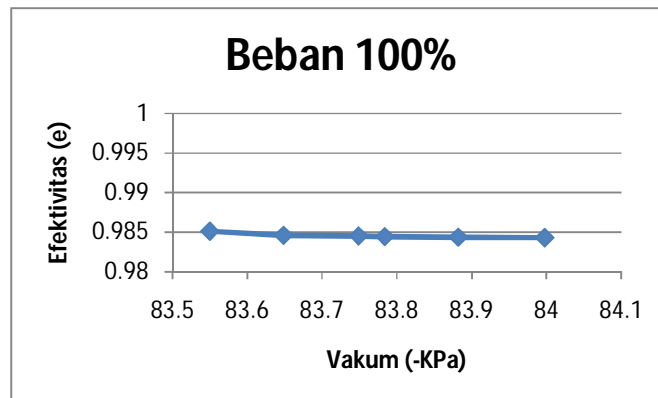
2. Beban 75%



Gambar 2. Grafik Pengaruh kevakuman terhadap efektivitas kondensor pada kondisi beban 75%

Pada gambar 2 dapat dilihat bahwa untuk beban 75% efektivitas kondensor menurun seiring dengan penurunan vakum kondensor. Hal ini terjadi karena meningkatnya massa uap yang akan dikondensasikan sementara laju aliran air pendingin cenderung konstan. Namun perubahan nilai vakum ini masih dalam batas normal karena masih memiliki efektivitas yang tinggi. Efektivitas tertinggi sebesar 98,77% yaitu pada kondisi vakum kondensor 82 KPa sedangkan efektivitas terendah dengan nilai 98,76% yaitu pada kondisi vakum kondensor 82,241 KPa.

3. Beban 100%



Gambar 3. Grafik Pengaruh kevakuman terhadap efektivitas kondensor pada kondisi beban 100%

Pada gambar 3 dapat dilihat bahwa untuk beban 100% efektivitas kondensor menurun seiring dengan penurunan vakum kondensor. Hal ini terjadi karena meningkatnya massa uap yang akan dikondensasikan sementara laju aliran air pendingin cenderung konstan. Namun perubahan nilai vakum ini masih dalam batas normal karena masih memiliki efektivitas yang tinggi. Efektivitas tertinggi sebesar 98,5% yaitu pada kondisi vakum kondensor 83,55 KPa sedangkan efektivitas terendah dengan nilai 98,41% yaitu pada kondisi vakum kondensor 83,998 KPa.

Dari hasil pengolahan data juga dapat dilihat bahwa data aktual dilapangan efektivitasnya lebih tinggi yaitu 99,17% dibanding dengan efektivitas dari data spesifikasi dengan nilai 98,76%. Salah satu penyebabnya ialah menurunnya efisiensi pembangkit seiring waktu khususnya pada turbin sehingga energi yang harus diproses di kondensor lebih banyak dari sebelumnya dalam hal ini efektivitas kondensor meningkat.

IV. KESIMPULAN

1. Berdasarkan data hasil perhitungan efektivitas kondensor unit 1 pada PLTU Barru, efektivitas semakin menurun seiring dengan meningkatnya beban dari pembangkit. Namun pada setiap kondisi beban, kondensor pada PLTU Barru unit 1 memiliki efektivitas yang tinggi karena dalam pengoperasiannya, vakum kondensor selalu dijaga dalam skala normal.
2. Tingkat kevakuman kondensor yang optimal berada pada skala (80) Kpa – (85) Kpa dimana pada kondisi ini memiliki efektivitas yang tinggi.
3. Data aktual dilapangan efektivitasnya lebih tinggi dibanding dengan efektivitas dari data spesifikasi yang salah satu penyebabnya ialah menurunnya efisiensi turbin.

V. DAFTAR PUSTAKA

- Apriyanhanda, Onny. Techno Art. *Kondensor(2) – Komponen-komponen yang Berhubungan*, (Online), (artikel-teknologi.com diakses 26 Agustus 2014)
- Buecker, Brad. Februari 2003. *Track Condenser Performance*.(Online), (www.cepmagazine.org diakses 16 Mei 2014).
- El-Wakil, M.M. 1992. *Instalasi Pembangkit Daya*. Jakarta: Erlangga.
- Holman, J.P. 1986. *PERPINDAHAN KALOR, edisi keenam*. Dialihbahasakan oleh E. Jasjfi. Jakarta: Erlangga
- Pitts, Donald R. and Leighton E. Sissom.1987. *PERPINDAHAN KALOR, seri buku Schaum*. Dialih bahasakan oleh E. Jasjfi. Jakarta: Erlangga

- 191 Apollo, Musrady Mulyadi, Achmad Yoga Issaniyah, Fefrianto Muh. Surahman Pengaruh Kevakuman terhadap Efektivitas Kondensor PLTU Barru Unit 1
- Rakhman, Alief. 8 April 2013. All About Power Plant And Electrical Engineering. *Fungsi dan prinsip kerja PLTU*, (Online), (rakhman.net diakses 8 Juni 2014)
- Rakhman, Alief. 27 Juli 2013. All About Power Plant And Electrical Engineering. *Jenis Kondensor*, (Online), (rakhman.net diakses 1 Juli 2014)
- Singh, Shailendra P. dkk. 2014. *Effect of condenser vacuum on performance of a Reheat Regenerative 210 MW Fossil-Fuel based Power Plants*. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, (Online), volume 4, (www.ijetae.com diakses 24 Juni 2014).
- Schmidt, Frank W. dkk. 1993. *Introduction to Thermal Sciences, Second Edition*. Singapur : John Wiley & Sons, Inc.
- Winardi. 11 April 2014. Bisnis.com Regional Timur. *PLN Sulselrabar Target Cadangan Listrik Tahun ini Capai 30%*, (Online), (makassar.bisnis.com diakses 30 Juni 2014).
- Wuryanti, Sri. 1995. *Perpindahan Panas*. Bandung: Penerbit Pusat Pengembangan Pendidikan Politeknik