

Analisis Efektivitas Kondensor di PLTU PT. Semen Tonasa BTG Unit I 2×25 MW

Jamal Chandra Bhuana¹, Irfan Muh. Aqsha Maulana²
^{1,2} Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang
 chandrabhuana@poliupg.ac.id

Abstrak- Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh *fouling* terhadap efektifitas kondensor pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Semen Tonasa. Metode penelitian yang digunakan adalah pengambilan data di ruang kendali pusat PLTU PT. Semen Tonasa. Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah : suhu uap masuk kondensor (Thin), suhu air kondensat (Thout), tekanan uap masuk kondensor (Ps), tekanan air pendingin (Pcw), suhu masuk (Tcin) dan suhu keluar air pendingin (Tcout), laju aliran uap (m_{uap}) dan laju aliran air pendingin (m_{air}). Data dianalisis untuk mendapatkan nilai efektivitas, jumlah transfer satuan (NTU), rasio kapasitas (C), perbedaan suhu rata-rata log (LMTD) kondensor. Hasil analisis menunjukkan bahwa penurunan kinerja kondensor dipengaruhi oleh *fouling*. Pada pengamatan dalam proses *overhaul* yang dilakukan setiap 2 tahun sekali, terjadi penurunan nilai NTU sebesar 31,69% dan nilai efektif sebesar 22,29% pada periode April 2016 hingga Maret 2018.

Kata kunci: *Fouling, kondensor, efektivitas, jumlah transfer unit, rasio kapasitas, log suhu rata-rata berbeda.*

I. PENDAHULUAN

PT. Semen Tonasa salah satu industri yang memiliki PLTU sendiri untuk menunjang kegiatan operasionalnya. PLTU PT. Semen Tonasa mulai beroperasi pada tahun 1997 dan masih beroperasi hingga saat ini. Menurut Karaeng dan Iswandi [1], daya pada PLTU PT. Semen Tonasa dari 25 MW pada saat komisioning, telah menurun menjadi 20 MW pada tahun 2012. Penurunan efisiensi sistem pembangkit disebabkan oleh permasalahan yang sering terjadi pada komponen pembangkit tersebut, di mana efisiensi *boiler* unit 1 mengalami penurunan sebesar 6,04%, sementara sebelumnya pada tahun 1997 efisiensi *boiler* unit 1 adalah sebesar 91%, dan pada tahun 2012 adalah sebesar 84,96% [1].

Kondensor yang merupakan peralatan penunjang PLTU di PT. Semen Tonasa, di dalam pengoperasiannya menggunakan air laut sebagai air pendingin utama. Hal ini menyebabkan terjadinya *fouling* yang mengotori *tube-tube* kondensor di PLTU PT. Semen Tonasa. Pugh dkk. [2] mengatakan bahwa, *fouling* terbagi atas *fouling* kristalisasi yang disebabkan pengendapan kalsium karbonat, kalsium sulfat dan garam lain, *fouling* korosi yang disebabkan oksidasi logam, *fouling* biologis disebabkan pertumbuhan mikro organisme menjadi makro organisme (kerang, teritip, dll), dan *fouling* tertentu akibat air laut yang mengandung berbagai jenis endapan, lumpur, garam, dan berbagai partikel yang berada pada *heat exchanger*.

Lebele-Alawa dan Ohia [3] berpendapat bahwa penyebab utama penurunan kinerja alat perpindahan panas adalah efek *fouling*, sehingga mempengaruhi efektivitas perpindahan panas yang mempengaruhi penurunan tekanan dan kinerja sistem secara keseluruhan. Berdasarkan pernyataan tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *fouling* terhadap efektivitas kondensor pada PLTU PT. Semen Tonasa BTG Unit I 2X25 MW.

II. STUDI PUSTAKA

A. Pembangkit Listrik Tenaga Uap

PLTU adalah suatu pembangkit tenaga listrik yang menggunakan energi bahan bakar seperti minyak residu, batu bara, cangkang kelapa sawit, gas alam atau sampah untuk memanaskan uap secara berulang-ulang. Sebuah pembangkit listrik jika dilihat dari bahan baku untuk memproduksinya, maka pembangkit listrik tenaga uap bisa dikatakan pembangkit yang berbahan baku air. Uap di sini hanya sebagai tenaga pemutar turbin, sementara untuk menghasilkan uap dalam jumlah tertentu diperlukan air.

Menariknya, di dalam PLTU terdapat proses yang terus-menerus berlangsung dan berulang-ulang. Proses antara air menjadi uap kemudian uap kembali menjadi air dan seterusnya. Proses inilah yang disebut sebagai siklus *Rankine*. Siklus *Rankine* sederhana terdiri dari empat komponen utama yaitu pompa, *boiler*, turbin, dan kondensor.

B. Kondensor

Menurut Lini dan Rudianto [4], kondensor merupakan salah satu komponen utama PLTU yang terdiri dari beberapa pipa-pipa kecil berisi *cooling water*, sedangkan Anggun dkk. [5] mengatakan bahwa kondensor adalah alat penukar panas yang menerima panas dari turbin uap tekanan rendah yang nantinya akan diubah menjadi air setelah melalui proses perpindahan panas. Jadi dapat dikatakan bahwa kondensor merupakan salah satu komponen utama PLTU yang terdiri dari beberapa pipa-pipa kecil yang berfungsi sebagai alat penukar panas yang menerima panas dari turbin dan mengubahnya menjadi air melalui proses perpindahan panas. Maka fungsi kondensor adalah sebagai *heat exchanger* atau alat penukar kalor (APK). Kerja kondensor sendiri adalah mengkondensasikan uap yang keluar dari turbin menjadi air.

C. Cara Kerja Kondensator

Uap panas yang masuk ke kondensator dengan temperatur yang tinggi dan bertekanan yang merupakan hasil proses dari turbin. Kemudian uap panas masuk ke dalam suction pipe dan kemudian mengalir dalam tube. Dalam tube, uap panas didinginkan dengan media pendingin air yang dialirkan melewati sisi luar tube, kemudian keluar melalui discharge pipe dengan temperatur yang sudah turun dan berubah fasanya menjadi cair kemudian ditampung di hotwell. Air di hotwell tidak boleh penuh atau kurang dan harus dijaga level tinggi dan rendahnya. Untuk itu hotwell dilengkapi dengan pompa kondensat yang mengalirkan air kondensat di hotwell ke tangki deaerator.

Selain uap, di kondensator juga terdapat gas-gas yang tidak bisa dikondensasikan, gas-gas tersebut harus dibuang. Maka di kondensator juga terdapat alat yang berfungsi membuang gas-gas yang tidak terkondensasi tersebut ke luar kondensator. Tugas tersebut dijalankan oleh vacuum system.

D. Sistem Air Pendingin

Air pendingin utama merupakan media pendingin untuk menyerap panas laten uap bekas dari turbin yang mengalir ke dalam kondensator. Untuk mengkondensasikan uap menjadi air diperlukan air pendingin. Pada penelitian ini, air yang digunakan sebagai media pendingin utama adalah air laut. Tanpa pasokan air pendingin, turbin tidak dapat dioperasikan. Sedangkan aliran air pendingin utama yang kurang dapat menyebabkan vakum kondensator menjadi rendah dan dapat mengakibatkan unit trip. Kerja kondensator sangat dipengaruhi oleh kondisi air pendingin baik temperatur maupun kebersihannya [6].

E. Fouling pada Kondensator PLTU PT. Semen Tonasa

Salah satu fouling yang berpengaruh adalah fouling biologis (pipa tertutupi kerang). Banyaknya kerang yang menutupi tube (pipa-pipa kondensator) berasal dari sumber pengambilan bahan baku air pendingin kondensator yang diambil langsung dari laut. Kerang-kerang tersebut masuk berupa telur-telur kerang melalui pipa SWI. Karena perkembangbiakannya yang sangat cepat, maka ketika memasuki kondensator, kerang-kerang tersebut menutupi pipa-pipa kondensator yang menyebabkan penurunan kerja kondensator. Hal ini diatasi dengan pemberian bahan kimia. Pemberian bahan kimia bertujuan untuk membunuh bibit-bibit kerang laut yang melewati penyaringan pada saat pemompaan air laut menuju ke kondensator, karena apabila kerang tersebut dibiarkan untuk tumbuh, maka dapat menutupi pipa-pipa kondensator. Namun tetap saja bibit kerang yang masih kecil dapat berkembang biak. Selain itu, fouling yang berpengaruh lainnya yaitu, endapan lumpur.

Fouling sangat mungkin terjadi pada kondensator. Fouling yang mengotori pipa-pipa kondensator ini berasal dari sumber pengambilan bahan baku air pendingin. Tempat pengambilan air pendingin berasal dari laut dan kemungkinan besar air tersebut mengandung fouling kotoran yang ikut masuk dan mengendap pada pipa-pipa kondensator. Hal ini dapat menyebabkan menurunnya laju perpindahan panas pada kondensator, sehingga kualitas air pendingin yang baik sangat

diperlukan agar mengurangi penyebab fouling pada kondensator.

F. Rumus Perhitungan

Untuk menentukan efektivitas kondensator digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\epsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1-C)]}{1 - C \cdot \exp[-NTU(1-C)]} \tag{1}$$

Nilai NTU adalah ukuran dari luas permukaan APK, sehingga semakin besar NTU semakin besar pula ukuran APK.

$$NTU = \frac{U \cdot A}{C_{min}} \tag{2}$$

Di mana:

A = Luas perpindahan kalor (m²)

U = Koefisien perpindahan panas menyeluruh (W/m²°C)

Cmin = Kapasitas panas minimum

Selain NTU besaran yang tak berdimensi maka pada APK terdapat nilai C yang besarnya tak berdimensi. C dapat ditentukan dengan membandingkan kapasitas panas maksimum dan kapasitas panas minimum.

$$C = \frac{\dot{m}_s \cdot C_{ps}}{\dot{m}_{cw} \cdot C_{pcw}} \tag{3}$$

Di mana:

Cps = Cp (Heat Capacity at Constant Pressure) Steam (kJ/(kg °C))

Cpcw = Cp (Heat Capacity at Constant Pressure) / Cooling Water (kJ/(kg °C))

Besarnya koefisien pindah panas menyeluruh dapat diperoleh dari perhitungan Q dan perhitungan LMTD.

$$Q = U \cdot A \cdot LMTD \tag{4}$$

Debit dapat dihitung dengan:

$$Q = \dot{m}_s \cdot C_{ps} (Th_{in} - Th_{out})$$

Dengan kondensator yang mempunyai arah aliran yang berlawanan (counter flow) maka LMTD dapat dihitung dengan rumus:

$$LMTD = \frac{(Th_{in} - Tc_{out}) - (Th_{out} - Tc_{in})}{\ln((Th_{in} - Tc_{out}) / (Th_{out} - Tc_{in}))} \tag{5}$$

III. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian dilaksanakan di PLTU PT. Semen Tonasa sektor Pembangkitan Biringkassi BTG Unit I 25 MW. Waktu penelitian dilakukan pada bulan Maret sampai April 2018.

B. Parameter yang digunakan dalam Penelitian

Data yang diambil pada kondensor Unit I PLTU PT. Semen Tonasa yaitu:

1. temperatur masuk air pendingin.
2. temperatur keluar air pendingin.
3. temperatur uap dari LP Turbin 1.
4. temperatur air kondensat.
5. tekanan vakum kondensor.
6. laju aliran massa uap.
7. laju aliran air pendingin.

Parameter yang dihitung berdasarkan data yaitu:

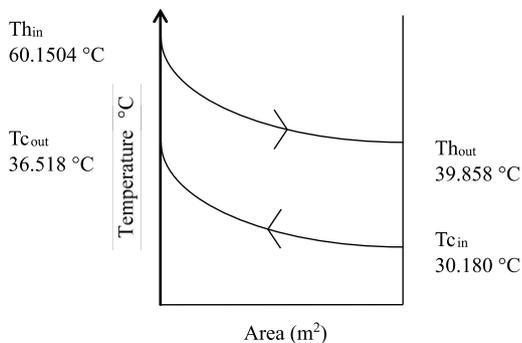
1. *Log mean temperature difference.*
2. *Capacity ratio.*
3. *Number of transfer unit.*
4. *Efektivitas kondensor.*

C. Prosedur Penelitian

1. Melakukan pengambilan data di *central control room (CCR)*:
 - Data terlama yang tersimpan
 - Data sebelum *overhaul* dan sesudah *overhaul* pada kondensor.
 - Data terbaru tahun 2018 dari kondensor.
2. Melakukan pengolahan data untuk melihat pengaruh *fouling* pada efektivitas kondensor.
3. Menganalisa hasil data dan membuat grafik untuk melihat pengaruh *fouling* terhadap efektivitas kondensor.
4. Menyimpulkan efektivitas kondensor.
5. Melakukan perbaikan dan penyusunan laporan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengukuran dapat dibuat diagram seperti pada [Gambar 1](#). Pada gambar tersebut tampak terjadi perubahan fasa dari fasa uap dengan nilai temperatur uap yang masuk sebesar 60.1504°C menjadi fasa cair dengan nilai temperatur air yang keluar sebesar 39.858°C. Sementara, tekanan vakum 0.201 bar dengan bantuan air pendingin yang masuk bertemperatur 30.180°C berubah menjadi bertekanan 1.145 bar. Setelah terjadi proses kondensasi, maka temperatur air yang keluar dari kondensor adalah sebesar 36.518°C.

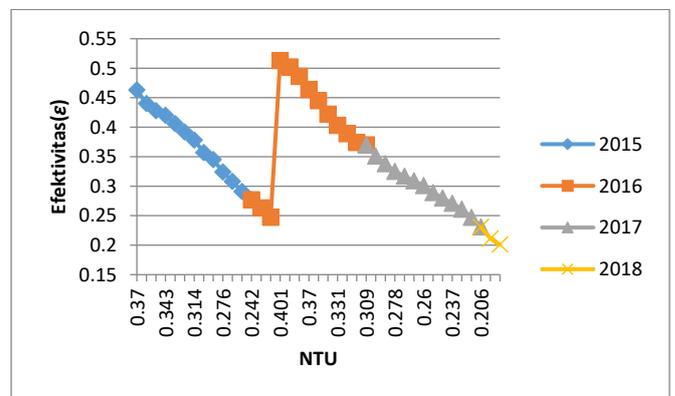


Gambar 1. Diagram perpindahan panas dengan aliran berlawanan (*counter flow*)

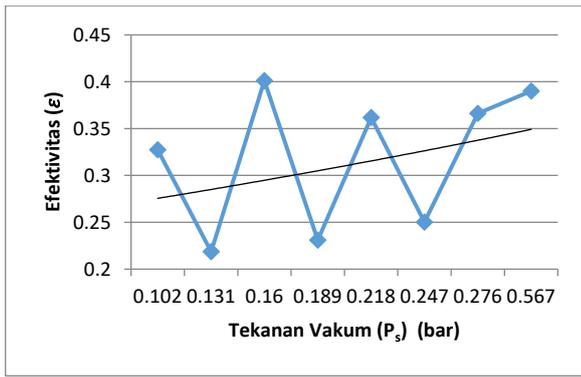
Berdasarkan tabel uap A-2 (*Ideal-gas specific heats of various common gases*) [7] diperoleh nilai C_p sebesar 1.8723 kJ/kg°C dan nilai laju aliran massa uap sebesar 0.004704 kg/s. Kemudian dikalikan dengan selisih temperatur uap sehingga diperoleh laju perpindahan kalor (Q) sebesar 0.178726 kW. Kemudian untuk memperoleh nilai rasio kapasitas (C), dari Tabel A-3 (*Properties of common liquid, solid, and foods*) [7] diperoleh nilai $C_{p,cw}$ sebesar 4.18 kJ/kg°C dan nilai laju aliran massa air pendingin 1546.815 kg/s. Dengan membandingkan kapasitas panas minimum dengan kapasitas panas maksimum maka diperoleh nilai sebesar 0.00000136.

Nilai logaritma rata-rata perbedaan temperatur (LMTD) diperoleh dari perbandingan antara selisih temperatur uap dan air pendingin dengan \ln selisih temperatur uap dan air pendingin sebesar 42.70217°C. Kemampuan memindahkan panas (NTU) diperoleh dengan membandingkan laju perpindahan kalor dengan hasil kali kapasitas panas minimum dan LMTD, maka diperoleh nilai NTU sebesar 0.475208. Nilai efektivitas dipengaruhi oleh nilai NTU dan nilai rasio kapasitas (C), sehingga diperoleh nilai efektivitas sebesar 0.378244.

Nilai efektifitas NTU untuk tahun 2015 hingga 2018 diperoleh seperti pada [Gambar 2](#). Tampak bahwa nilai efektivitas tertinggi yaitu 0.402182 adalah pada nilai NTU 0.514469. Sedangkan nilai efektivitas terendah yaitu 0.179259 adalah pada nilai NTU 0.197548. Berdasarkan grafik tersebut, pada tahun 2015 hingga 2016 terjadi penurunan nilai NTU dari 0.475208 hingga 0.238164, yang juga mempengaruhi nilai efektivitas dari 0.378244 menjadi 0.211926. Ini disebabkan oleh efek *fouling* yang terjadi pada kondensor. Pada tahun 2016 bulan April nilai NTU naik menjadi 0.514469 dengan efektivitas kondensor sebesar 0.402182. Ini terjadi karena adanya *overhaul* pada kondensor. Setelah beroperasi sekian lama, kondensor kembali mengalami penurunan dalam proses mentransfer panas sebesar 31.69% menjadi 0.197548. Begitu pula nilai efektivitas kondensor juga turun sebesar 22.29% menjadi 0.179259 pada tahun 2018. Nilai NTU sebelum dilakukan *overhaul* pada tahun 2016 yaitu 0.238164, sedangkan nilai NTU pada tahun 2018 sebelum dilakukan *overhaul* sebesar 0.197548. Dari kedua nilai NTU tersebut terjadi penurunan 4.06% dikarenakan usia kerja kondensor yang cukup tua.



Gambar 2. Grafik hubungan antara NTU terhadap efektivitas



Gambar 3. Grafik hubungan antara tekanan vakum terhadap efektivitas

Untuk hubungan antara tekanan vakum dengan efektivitas, grafiknya ditunjukkan pada Gambar 3. Pada grafik dinyatakan bahwa tekanan vakum berpengaruh, namun tidak secara signifikan terhadap perubahan nilai efektivitas kondensor. Pada grafik terlihat adanya fluktuasi. Pada tekanan vakum 0.102 bar ternyata nilai efektivitas kondensor sebesar 0.327329, sedangkan pada tekanan vakum 0.131 bar nilai efektivitas kondensornya turun menjadi 0.218573. Nilai efektivitas kembali naik hingga 0.401133 dengan tekanan vakum yaitu 0.160 bar. Selanjutnya pada tekanan vakum 0.189 efektivitas kondensor kembali mengalami penurunan dengan nilai 0.230984. Berdasarkan trendline, memiliki kecenderungan naik.

V. KESIMPULAN

Dari pembahasan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Efektivitas kondensor pada PLTU PT. Semen Tonasa dipengaruhi oleh adanya efek *fouling*. Hal tersebut dibuktikan bahwa setiap 2 tahun dilakukan *overhaul*. Misalnya dari Maret hingga April 2016 dilakukan *overhaul*, maka nilai NTU menjadi 0.514469 dan efektivitas kondensor sebesar 0.402182.
2. Tahun 2015 hingga 2016 terjadi penurunan nilai NTU dari 0.475208 hingga 0.238164, sehingga nilai efektivitas turun dari 0.378244 hingga 0.211926. Begitu pula April 2016 hingga Maret 2018 nilai NTU kondensor kembali mengalami penurunan sebesar 31.69% menjadi 0.19548. Maka nilai efektivitas kondensor juga turun sebesar 22.29% menjadi 0.179259. Ini adalah akibat adanya *fouling* pada kondensor.

REFERENSI

[1] C. T. Karaeng and Iswandi. *Analisis Kinerja Boiler pada PLTU Unit 1 PT. Semen Tonasa*, Skripsi, Makassar: Jurusan Teknik Mesin Politenik Negeri Ujung Pandang. 2012.

[2] S. Pugh, G. F. Hewitt, and H. Muller-Steinhagen, "Fouling during the use of seawater as coolant-The development of a user guide," in *Proc. of Engineering Conferences International*, Santa Fee, 2003.

[3] B. T. Lebele-Alawa and I. O. Ohia, "Influence of fouling on heat exchanger effectiveness in a polyethylene plant," *Energy and Power*. vol.4 no. 2, 2014.

[4] A. S. Z. Lini and B. Rudianto. "Menentukan nilai efektivitas condenser di PLTU PAITON Unit 5 PT. YTL Jawa Timur," *Jurnal Ilmiah Rotary*, vol.1 no.1, Agustus 2016. [Online]. Available: <https://publikasi.poliye.ac.id>. Accessed: September 6, 2017.

[5] A. Sukarno, Bono, and B. Prasetyo. "Analisis perubahan tekanan vakum kondensor terhadap kinerja kondensor Di PLTU Tanjung Jati B," *Eksergi Jurnal Teknik Energi*, vol. 10 no. 2, Mei 2014. [Online]. Available: <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/eksergi/article/view/247>. Accessed : Januari 8, 2018.

[6] Atoni and K. H. Mahmud, "Pengaruh variasi temperatur air pendingin kondensor terhadap tekanan pada beban tetap," *Jurnal Integrasi Sistem Industri UMI*, vol. 2 no. 1, 2015. [Online]. Available: <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/jisi/article/view/914>. Accessed: Januari 8, 2018.

[7] *Property Tables and Charts (SI Units)*, Western Michigan University. [Online]. Available: http://homepages.wmich.edu/~cho/ME432/Appendix1Updated_metric.pdf.

[8] L. Buchori. *Perpindahan Panas (Heat Transfer)*, Semarang: UNDIP, 2017.

[9] Y. A. Cengel and M.A. Boles. *Thermodynamic: An Engineering Approach, 5th Ed.* Boston: McGraw-Hill College. 2006.

[10] Haryadi and A. Mahmudi. *Perpindahan Panas*. Buku Bahan ajar. Bandung: Politeknik Negeri Bandung, 2012.

[11] J. P. Holman, *Perpindahan Kalor*. Terjemahan E Jasfi. Jakarta: Erlangga. 1989.

[12] D. D. Nugroho. *Evaluasi Steam Cycle Heat Rate dan Efisiensi Termal Turbin Uap Unit 2 Tipe N300-16.7/538/538-8 di PLTU 1 Jawa Tengah Rembang*, Tugas Akhir. Semarang: Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro. 2013.

[13] *PLTU PT. Semen Tonasa*. 2018. Arsip. Pangkep.

[14] *PLTU PT. Semen Tonasa*. 2017. Arsip. Pangkep.