

ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR AIR LAUT TERHADAP EFEKTIVITAS PERPINDAHAN PANAS CONDENSER

Yusuf Septiawan Angandrowa Bate'e¹, Jusafwar¹, Adi Syuriadi¹
¹ Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta
Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus Baru UI, Depok, 16425, Indonesia
Tel: (62-21) 7863530, Fax: (62-21) 7863530
Email: septiawanyusuf96@gmail.com

Abstrak

Perubahan iklim global sebagai implikasi dari pemanasan global menyebabkan banyak perubahan fisika yang terjadi dipermukaan laut, salah satunya yaitu temperatur air laut yang terus meningkat. Condenser merupakan bagian utama dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) yang berfungsi untuk mengkondensasikan uap atau merubah fasa uap setelah proses ekspansi turbin uap menjadi fasa cair dengan mentransfer panas dari uap ke dalam media air pendingin yaitu air laut. Secara teoritis temperatur air laut yang mengalir pada sistem sirkulasi air pendingin memiliki pengaruh yang signifikan terhadap proses perpindahan panas di dalam condenser. Meningkatnya temperatur air laut akan berdampak pada penurunan efektivitas perpindahan panas yang terjadi di condenser sehingga, dibutuhkan laju aliran air pendingin yang sesuai untuk mengembalikan nilai efektivitas perpindahan panas di dalam condenser. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisa perhitungan efektivitas yang terjadi antara perpindahan panas berdasarkan target desain yang diinginkan pabrikan dengan aktual perpindahan panas maksimum yang mungkin dicapai condenser. Metode yang digunakan adalah dengan melakukan berbagai macam kalkulasi yaitu kalkulasi terhadap koefisien konveksi fluida pendingin dengan menggunakan metode korelasi pindah panas Dittus-Boelter (konveksi paksa), kalkulasi terhadap koefisien konveksi fluida panas dengan metode Log Mean Temperature Difference (LMTD), dan kalkulasi terhadap efektivitas heat exchanger dengan metode effectiveness – Number of Thermal Unit. Hasil perhitungan dan perbandingan nilai efektivitas perpindahan panas aktual dengan target desain awal condenser di PLTGU Grati blok 1 menunjukkan adanya penurunan nilai efektivitas perpindahan panas dari 78,15 [%] menjadi 70,76 [%] yang terjadi akibat meningkatnya temperatur air laut. Oleh karena itu, untuk menjaga nilai efektivitas perpindahan panas agar tidak mengalami penurunan maka dilakukan pengaturan besar bukaan valve outlet condenser yang sesuai untuk mempercepat laju aliran air pendingin.pada masing-masing LMTD dengan presentase bukaan outlet valve antara 46 [%] hingga 55 [%] sehingga pelepasan panas dalam pipa pendingin condenser terjadi lebih cepat

Kata Kunci: Condenser, efektivitas perpindahan panas, temperatur air laut, LMTD

Abstract

Global climate change as an implication of global warming causes many physical changes that occur on the surface of the sea, one of which is the temperature of the rising sea water. The condenser is a major part of a Combine Cycle Power Plant (CCPP) system that serves to condense vapor or change the vapor phase after the expansion of the steam turbine into a liquid phase by transferring heat from the vapor into the cooling water medium, ie seawater. Theoretically, the temperature of seawater flowing in the cooling water circulation system has a significant effect on the heat transfer process in the condenser. Increased sea water temperatures will have an impact on decreasing the effectiveness of heat transfer occurring in the condenser so that a suitable coolant flow rate is required to restore the value of heat transfer effectiveness in the condenser. Therefore, it is necessary to analyze the effectiveness calculations that occur between the heat transfer based on the desired design targets of the manufacturer with the actual maximum heat transfer that the condenser may reach. The method used is to perform various calculations, ie calculation of coolant fluid convection coefficient by using Dittus-Boelter heat transfer correlation (forced convection), calculation of heat fluid convection coefficient by Log Mean Temperature Difference (LMTD) method, and calculation on effectiveness heat exchanger with effectiveness method - Number of Thermal Unit. The result of calculation and comparison of actual heat transfer effectivity value with the target of baseline condenser design in PLTGU Grati block 1 showed a decrease of heat transfer effectivity value from 78,15 [%] to 70,76 [%] which happened due to rising sea water temperature. Therefore, to maintain the value of heat transfer effectiveness so as not to decrease, a large open valve outlet condenser opening arrangement was performed to accelerate the flow rate of cooling water in each LMTD with the percentage of outlet valve openings between 46 [%] to 55 [%] so that the heat release in the refrigerant pipe occurs faster

Keywords: Condenser, effectiveness of heat transfer, sea water temperature, LMTD

I. PENDAHULUAN

I.I Latar belakang

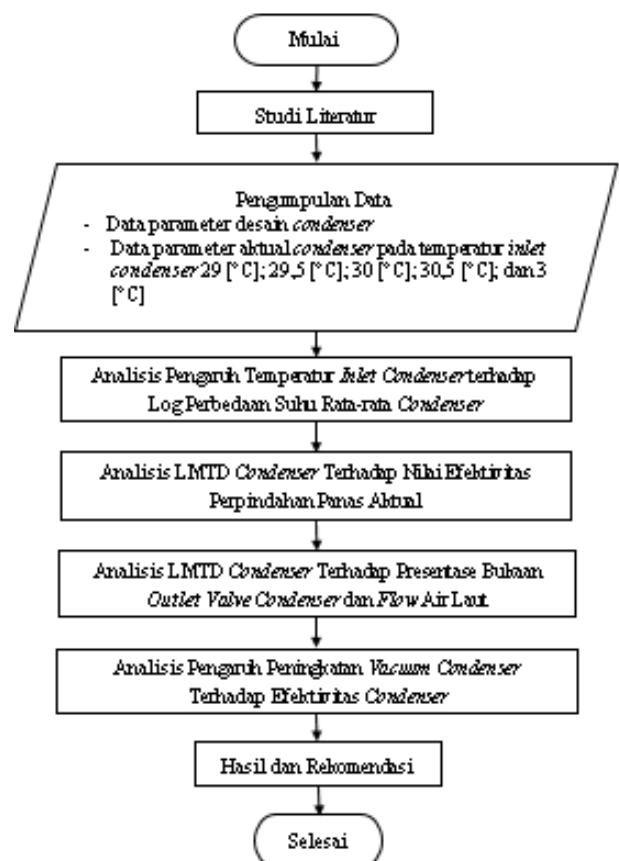
Condenser adalah salah satu mesin penukar kalor (*heat exchanger*) yang berfungsi untuk mengkondensasikan fluida kerja [1]. Pada PLTGU Perak Grati, fungsi *condenser* adalah untuk mengkondensasikan uap keluaran turbin tekanan rendah dengan menggunakan air laut sebagai fluida pendinginnya yang kemudian air hasil kondensasi tersebut (air kondensat) dipompakan kembali ke HRSG. Sebagaimana alat penukar kalor lainnya model *condenser* yang digunakan di PLTGU Perak Grati yaitu model selongsong dan tabung (*shell and tube*). Dimana fluida pendingin berupa air laut mengalir pada tabung-tabung, sedangkan fluida kerja sistem yaitu uap keluaran turbin tekanan rendah mengalir di luar tabung [2]. *Condenser* merupakan salah satu komponen pada sistem PLTGU, yang dimana apabila mengalami masalah maka akan mengakibatkan menurunnya efisiensi pembangkit. Hal tersebut tidak diinginkan karena akan berpengaruh pada beban *steam turbine*. Salah satu masalah yang terjadi di *condenser* adalah meningkatnya temperatur air laut yang berdampak pada laju aliran air laut yang semakin cepat untuk menjaga nilai efektivitas perpindahan panas *condenser* agar tetap optimal [2]. Dalam hal ini kecepatan laju aliran air laut diatur oleh besarnya bukaan *outlet valve condenser* [3]. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengaturan besar bukaan *valve outlet condenser* yang sesuai untuk mempercepat laju aliran air pendingin agar pelepasan panas dalam pipa pendingin terjadi lebih cepat.

I.II Tujuan

1. Menganalisa pengaruh temperatur inlet *condenser* terhadap log perbedaan suhu rata-rata *condenser* (*LMTD*).
2. Menganalisa nilai efektivitas perpindahan panas aktual *condenser* pada masing-masing *LMTD*.
3. Menganalisa presentase bukaan *outlet valve condenser* dan laju aliran air laut aktual pada masing-masing *LMTD*.
4. Memberikan solusi berupa metode pola operasi yang efektif dan efisien untuk menjaga nilai efektivitas *condenser* agar tetap optimal pada masing-masing *LMTD*.

II. METODE PENELITIAN

Analisis yang dilakukan untuk mengetahui efektivitas perpindahan panas *condenser*, dilakukan dengan metode kuantitatif. Data yang digunakan untuk analisis ini berupa data operasi *combine cycle* 3-3-1 dimana pembangkit beroperasi dengan 3 Turbin Gas, 3 HRSG, dan 1 Turbin Uap pada beban 75% dan berbahan bakar gas tanggal 1 Agustus – 30 September 2017 dengan mengambil beberapa parameter yang sesuai dengan target temperatur sebagai variable tetapnya. Temperatur yang akan dijadikan sebagai variable tetap yaitu temperatur di 29°C; 29,5°C; 30°C; 30,5°C; dan 31°C, dan beberapa parameter yang dipakai untuk menentukan nilai efektivitas aktual *condenser* antara lain *flow CWP*, *temperatur inlet steam LP turbin*, *temperatur outlet condenser*, dan *vakum kondensor*. Penelitian ini dilakukan dengan asumsi inlet valve *condenser* dibuka sebesar 100% (*full open*), *vent valve condenser* dibuka (*full open*) agar tidak ada udara yang terjebak di dalam *condenser*. dan tidak terjadi *condenser back pressure*.



Gambar II-1 Diagram Alir Penelitian

II.1 Perhitungan Perbedaan Temperatur Rata-rata dengan Metode Log Mean Temperature Difference (LMTD)

Pendekatan *Log Mean Temperature Difference (LMTD)* untuk analisis *heat exchanger* berguna ketika suhu *inlet* dan *outlet* telah diketahui atau mudah untuk ditentukan. Dengan menggunakan metode pendekatan LMTD aliran panas, luas permukaan, dan koefisien transfer panas secara keseluruhan dapat ditentukan dengan mudah [4]. Penentuan nilai LMTD dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [4]:

$$LMTD = \frac{(Th_l - Tc_o) - (Th_l - Tc_i)}{LN \frac{(Th_l - Tc_o)}{(Th_l - Tc_i)}} \quad \text{[Persamaan. 1]}$$

Dimana: t_{hi} = temperatur *inlet LP turbine exhaust* [°C],
 t_{ci} = temperatur *inlet condenser* [°C],
 t_{co} = temperatur *outlet condenser* [°C]

Panas yang dilepas oleh fluida panas kemudian diterima oleh fluida dingin dengan menembus luasan sebesar A dengan koefisien U dan beda suhu rata-rata ΔT_{LMTD} dinyatakan dalam bentuk persamaan [4]:

$$\dot{Q} = U A \Delta T_{LMTD} \quad \text{[Persamaan. 2]}$$

Dimana: U = overall heat transfer coefficient [W/m² °C]
A = surface area per meter tube [m²],
 ΔT_{LMTD} = beda temperature saat LMTD [°C]

II.4 Perhitungan Efektivitas dengan metode *Effectiveness – Number of Transfer Unit (ε – NTU)*

II.4.1 Perhitungan Laju Perpindahan Panas

Laju perpindahan panas yang sebenarnya (aktual) dapat dihitung dari energi yang dilepaskan oleh fluida panas atau energi yang diterima oleh fluida dingin. Laju perpindahan panas yang terjadi di *condenser* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [4]:

$$\dot{Q} = \dot{C}_{min} (T_{hi} - T_{ci}) [1 - \exp(UA/C_{min})] \quad \text{[Persamaan. 3]}$$

Dimana: \dot{C}_{min} = $\dot{m}_c c_c$ untuk *condenser* (fluida hasil kondensasi yang mengami kehilangan panas) [W/°C],
 t_{hi} = temperatur *inlet LP turbine exhaust* [°C],
 t_{ci} = temperatur *inlet condenser* [°C]

II.4.2 Perhitungan nilai NTU (*Number of Transfer Unit*)

Dalam kaitannya dengan efektivitas perpindahan panas dari *condenser* maka dapat dihubungkan dengan metode ε-NTU, dimana NTU (*Number of Transfer Unit*) dinyatakan dengan persamaan [4]:

$$NTU = \frac{U A}{C_{min}} \quad \text{[Persamaan. 4]}$$

Dimana: \dot{C}_{min} = $\dot{m}_c c_c$ untuk *condenser* (fluida hasil kondensasi yang mengami kehilangan panas) [W/°C],
U = overall heat transfer coefficient [W/m² °C]
A = surface area per meter tube [m²],

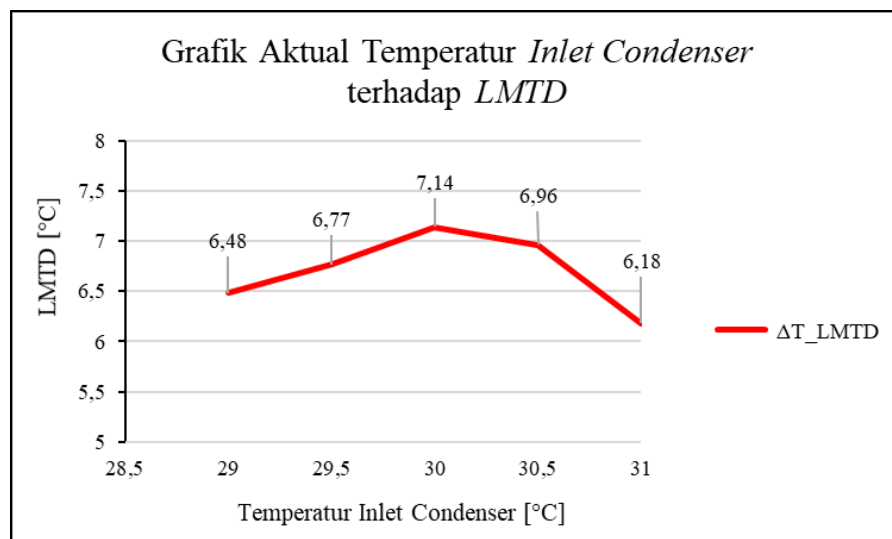
Dalam kasus yang menyangkut proses mendidih atau kondensasi, persamaan efektivitas diatas tidak dapat digunakan karena suhu fluida tetap pada dasarnya konstan atau fluida bertindak seolah-olah memiliki panas spesifik yang tidak terbatas. Sehingga C_{min}/C_{max} adalah 0 (nol) dan semua hubungan terhadap efektivitas *heat exchanger* mendekati satu persamaan sederhana yaitu [4]:

$$\text{Effectiveness} = \varepsilon = 1 - e^{-NTU} \quad [\text{Persamaan. 5}]$$

Dimana: NTU = *Number of Transfer Unit*
 ε = Efektivitas Perpindahan Panas
 e = bilangan natural (2,718)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

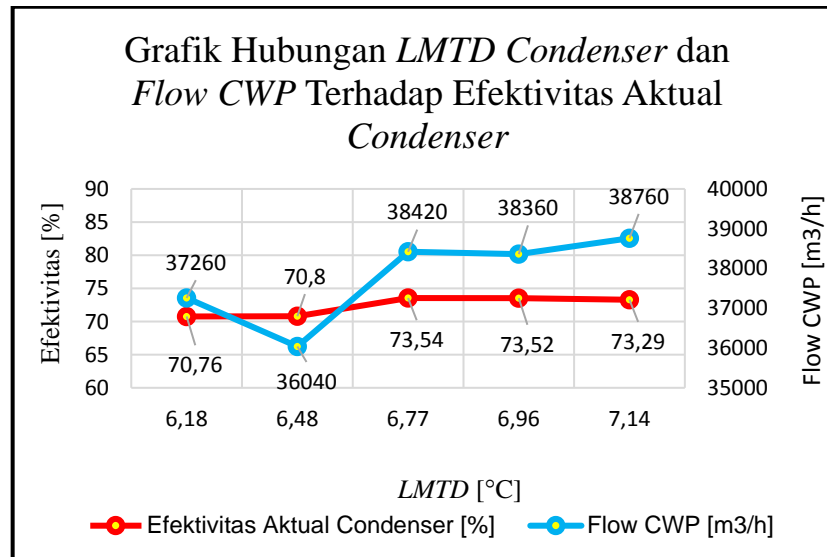
III.1 Grafik Hasil Perhitungan *Log Mean Temperature Difference (LMTD) Condenser*



Gambar III-1 Grafik aktual *temperatur inlet condenser* terhadap ΔT_{LMTD}

Berdasarkan grafik pada gambar III-1 dapat diketahui bahwa hubungan antara temperatur *inlet condenser* dengan *LMTD* adalah tidak linear. Hal ini disebabkan karena temperatur uap yang masuk ke *condenser (Inlet LP Turbine Exhaust)* tidak selalu sama pada masing-masing *temperatur inlet condenser*. Pada gambar III-1 terlihat bahwa ΔT_{LMTD} mengalami peningkatan dari temperatur 29 [°C] hingga temperatur 30 [°C] dan kembali menurun di temperatur 30,5 [°C] hingga temperatur 31 [°C]. Sehingga dapat disimpulkan bahwa proses pertukaran panas yang optimal berada di temperatur 30 [°C].

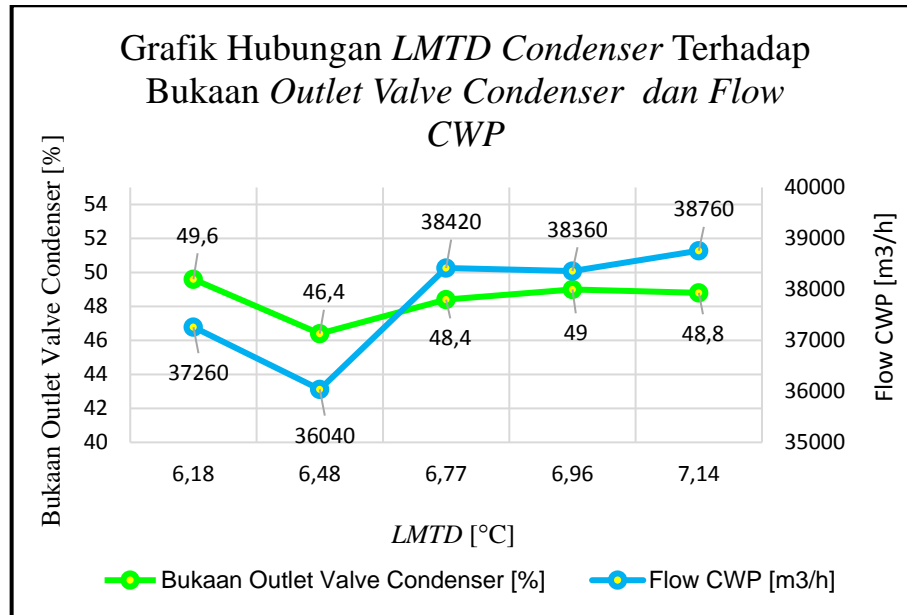
III.2 Grafik Hasil Perhitungan Efektivitas Perpindahan Panas Aktual *Condenser*



Gambar III-2 Grafik hubungan *LMTD condenser* dan *flow CWP* terhadap efektivitas aktual *condenser*

Dari grafik pada gambar III.2 dapat diketahui bahwa efektivitas tertinggi yang dapat dicapai *condenser* yaitu 73,54 [%] pada *LMTD* 6,77 [°C] dengan *flow CWP* 38420 [m³/h]. Sedangkan untuk efektivitas terendah yaitu 70,76 [%] pada *LMTD* 6,18 [°C] dengan *flow CWP* 37260 [m³/h]. Berdasarkan grafik pada gambar III.2 dapat diketahui bahwa *LMTD* 6,77 [°C] dengan *LMTD* 6,96 [°C] memiliki beda efektivitas yang tidak terlalu jauh hal ini disebabkan karena *flow CWP* dapat menyesuaikan *LMTD* yang dihasilkan, sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan *LMTD* yang berbeda dapat menghasilkan efektivitas yang sama jika *flow CWP* diatur sesuai dengan titik pola operasinya.

Dari grafik pada gambar III.2 dapat dilihat pada *LMTD* 6,48 [°C] yang memiliki *flow CWP* lebih rendah dibandingkan *LMTD* 6,18 [°C] namun memiliki nilai efektivitas yang tidak jauh berbeda. Hal ini dapat disebabkan karena pengaruh temperatur *inlet condenser* seperti yang ditunjukkan pada gambar III.1 dimana semakin rendah temperatur *inlet condenser* maka *flow CWP* yang dihasilkan semakin menurun.



Gambar III-3 Grafik hubungan LMTD condenser dan flow CWP terhadap bukaannya outlet valve aktual condenser

Dari grafik pada gambar III.3 dapat diketahui bahwa presentase bukaannya outlet valve condenser tertinggi terukur sebesar 49,6 [%] pada LMTD 6,18 [°C] dengan flow CWP 37260 [m³/h]. Sedangkan untuk presentase bukaannya outlet valve condenser terendah terukur sebesar 46,4 [%] pada LMTD 6,48 [°C] dengan flow CWP 36040 [m³/h].

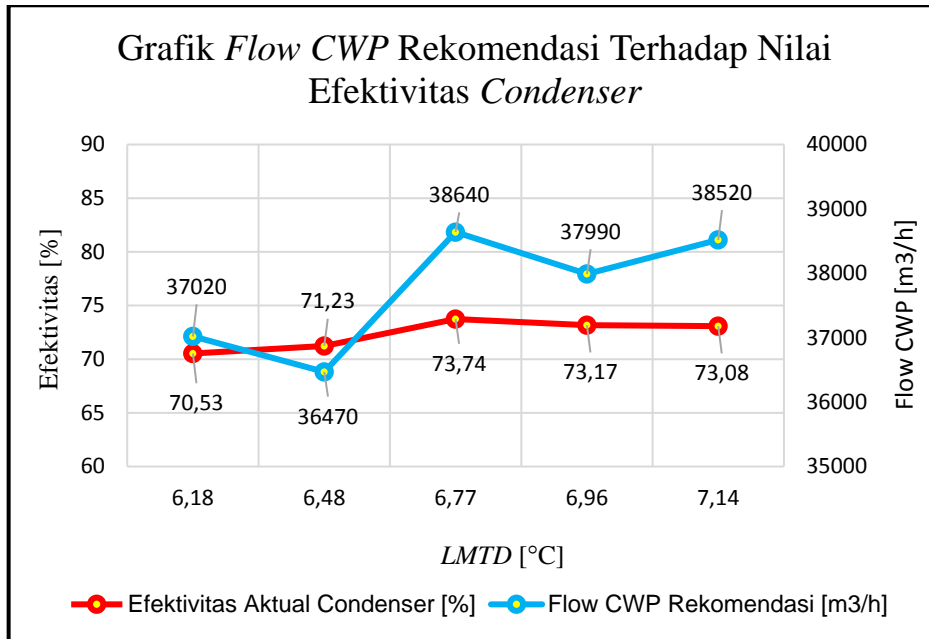
Ketidaksihinggaan flow CWP yang dihasilkan terlihat pada LMTD 6,77 [°C]; 6,96 [°C]; dan 7,14 [°C] dimana bukaannya outlet valve condenser lebih rendah dari 49,6 [%] namun dapat menghasilkan flow CWP yang lebih besar dari 37260 [m³/h]. Hal ini disebabkan karena beberapa faktor beberapa diantaranya adalah level air laut yang tidak konstan dan pressure discharge CWP yang tidak selalu sama.

III.3 Hasil Perhitungan Efektivitas Perpindahan Panas Condenser Rekomendasi

Tabel III-1 merupakan hasil perhitungan efektivitas perpindahan panas condenser dengan menggunakan maksimum flow CWP 46070 [m³/h] dan menyesuaikan dengan standar optimal vacuum condenser pada PLTGU Grati yaitu sebesar 697 [mmHg] yang diukur pada LMTD masing-masing.

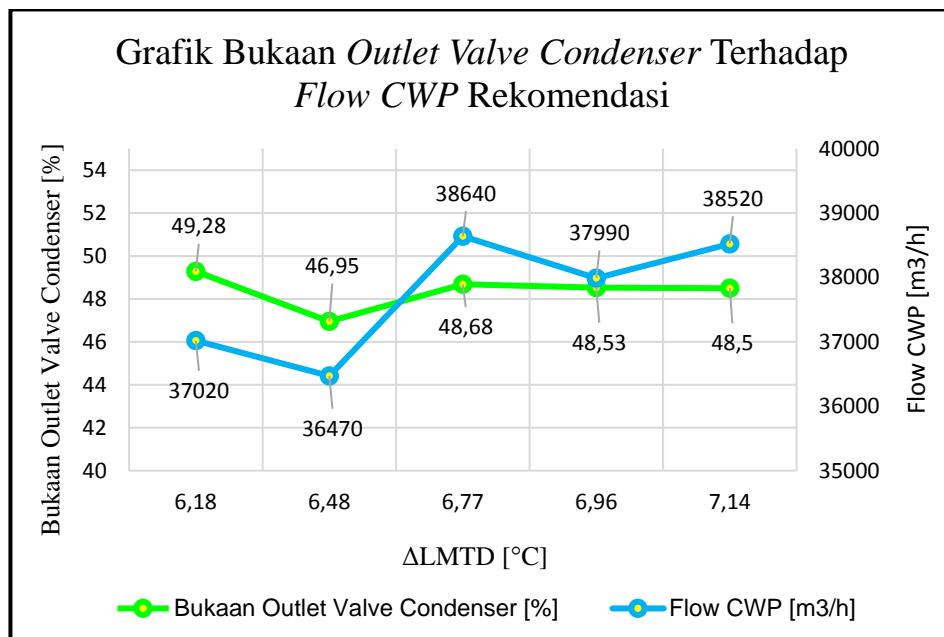
Tabel III-1 Data hasil perhitungan efektivitas condenser yang direkomendasikan pada vacuum condenser 697 [mmHg]

Δ LMTD	Bukaannya Outlet Valve Condenser [%]	Flow CWP [m³/h]	Vacuum Condenser (mmHg)	Efektivitas [%]
6,48	46,95	36470	697	71,23
6,77	48,68	38640	697	73,74
7,14	48,5	38520	697	73,08
6,96	48,53	37990	697	73,17
6,18	49,28	37020	697	70,53



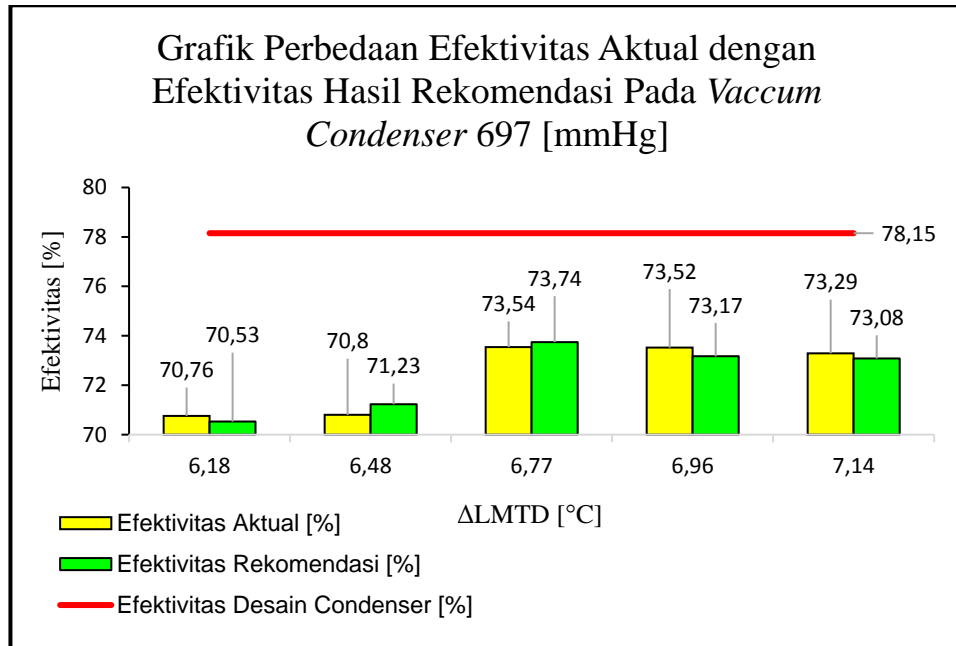
Gambar III-4 Grafik hubungan *LMTD* condenser dan *flow CWP* terhadap efektivitas condenser pada vacuum condenser 697 [mmHg]

Dari grafik pada gambar III.4 dapat diketahui bahwa efektivitas tertinggi yang dapat dicapai condenser yaitu 73,74 [%] pada *LMTD* 6,77 [°C] dengan *flow CWP* 38640 [m³/h]. Sedangkan untuk efektivitas terendah yaitu 70,53 [%] pada *LMTD* 6,18 [°C] dengan *flow CWP* 37020 [m³/h].



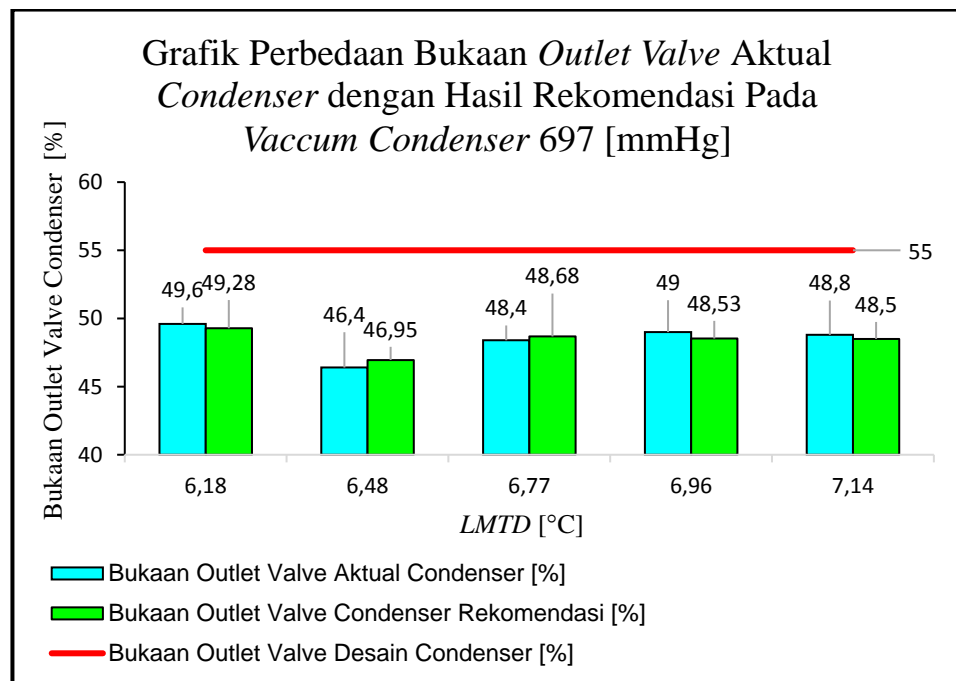
Gambar III-5 Grafik hubungan *LMTD* condenser dan *flow CWP* terhadap bukaan outlet valve condenser pada vacuum condenser 697 [mmHg]

Dari grafik pada gambar III.5 dapat diketahui bahwa presentase bukaan outlet valve condenser tertinggi terukur sebesar 48,68 [%] pada *LMTD* 6,77 [°C] dengan *flow CWP* 38640 [m³/h]. Sedangkan untuk presentase bukaan outlet valve condenser terendah terukur sebesar 46,95 [%] pada *LMTD* 6,48 [°C] dengan *flow CWP* 36470 [m³/h].



Gambar III-6 Grafik perbedaan antara efektivitas aktual dengan efektivitas rekomendasi

Dari grafik pada gambar III-6 efektivitas tertinggi berada pada $LMTD$ 6,77 [°C] dengan nilai efektivitas rekomendasi sebesar 73,74 [%] dimana masih sangat jauh dari efektivitas desain *condenser* yang memiliki nilai efektivitas sebesar 78,15 [%]. Berdasarkan grafik pada gambar III-6 dapat diketahui bahwa efektivitas aktual *condenser* mengalami penurunan efektivitas pada $LMTD$ 6,18 [°C]; $LMTD$ 6,96 [°C]; $LMTD$ 7,14 [°C] dengan selisih berturut-turut sebesar 0,23 [%]; 0,35 [%]; 0,21 [%] dan mengalami kenaikan efektivitas pada $LMTD$ 6,48 [°C]; $LMTD$ 6,77 [°C] dengan selisih berturut-turut sebesar 0,43 [%]; dan 0,2 [%].



Gambar III-7 Grafik perbedaan antara bukaan *outlet valve condenser* aktual dengan efektivitas rekomendasi

Dari grafik pada gambar III-7 bukaan *outlet valve condenser* tertinggi berada pada *LMTD* 5,89 [°C] dengan bukaan *outlet valve* 49,69 [%] dimana tidak melewati batas bukaan *outlet valve* desain *condenser* sebesar 55 [%]. Berdasarkan grafik pada gambar III-7 dapat diketahui bahwa bukaan *outlet valve condenser* aktual mengalami penurunan bukaan *outlet valve condenser* pada *LMTD* 6,18 [°C]; *LMTD* 6,96 [°C]; *LMTD* 7,14 [°C] dengan selisih berturut-turut sebesar 0,32 [%]; 0,47 [%]; 0,3 [%] dan mengalami kenaikan efektivitas pada *LMTD* 5,89 [°C]; *LMTD* 6,48 [°C] dengan selisih berturut-turut sebesar 1,29 [%]; dan 0,55 [%].

III.5 Hasil Perhitungan Pola Operasi Bukaan *Outlet Valve Condenser* Tiap Perubahan Temperatur

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui pola operasi yang tepat antara bukaan *outlet valve condenser* untuk mencapai nilai efektivitas yang optimal pada masing-masing *LMTD* dalam bentuk tabel sebagai berikut

Tabel III-2 Hasil Rekomendasi Pola Operasi Bukaan *Outlet Valve Condenser*

Pola Operasi Bukaan <i>Outlet Valve Condenser</i>					
<i>LMTD</i> [°C]	6,18	6,48	6,77	6,96	7,14
Temperatur <i>Inlet Condenser</i> [°C]	31	29	29,5	30,5	30
Bukaan <i>Outlet Valve Condenser</i> [%]	49,28	46,95	48,68	48,53	48,5

IV. KESIMPULAN

1. Hubungan antara temperatur *inlet condenser* dengan log perbedaan suhu rata-rata *condenser* (*LMTD*) adalah tidak linear. Hal ini disebabkan karena temperatur uap yang masuk ke *condenser* (*Inlet LP Turbine Exhaust*) tidak selalu sama pada masing-masing temperatur *inlet condenser*. Dari hasil analisa antara temperatur *inlet condenser* terhadap *LMTD* dapat disimpulkan bahwa proses pertukaran panas yang optimal berada di temperatur 30 [°C].
2. Nilai efektivitas aktual *condenser* tertinggi yang dapat dicapai *condenser* yaitu sebesar 73,54 [%] pada *LMTD* 6,77 [°C] dengan *flow CWP* 38420 [m³/h]. Sedangkan untuk efektivitas terendah yaitu 70,76 [%] pada *LMTD* 6,18 [°C] dengan *flow CWP* 37260 [m³/h]. Dari hasil analisa terhadap efektivitas aktual *condenser* dapat disimpulkan bahwa dengan *LMTD* yang berbeda efektivitas yang sama dapat dihasilkan, jika *flow CWP* diatur sesuai dengan titik pola operasinya. Selain itu temperatur *inlet condenser* juga memiliki pengaruh yang besar dimana *flow CWP* akan menurun jika temperatur *inlet condenser* semakin rendah.
3. Presentase aktual bukaan *outlet valve condenser* tertinggi terukur sebesar 49,6 [%] pada *LMTD* 6,18 [°C] dengan *flow CWP* 37260 [m³/h]. Sedangkan untuk presentase bukaan *outlet valve condenser* terendah terukur sebesar 46,4 [%] pada *LMTD* 6,48 [°C] dengan *flow CWP* 36040 [m³/h]. Dari hasil analisa terhadap bukaan *outlet valve condenser* terdapat ketidaksesuaian *flow CWP* yang dihasilkan terlihat pada *LMTD* 6,77 [°C]; 6,96 [°C]; dan 7,14 [°C] dimana bukaan *outlet valve condenser* lebih rendah dari 49,6 [%] namun dapat menghasilkan *flow CWP* yang lebih besar dari 37260 [m³/h]. Hal ini disebabkan karena beberapa faktor beberapa diantaranya adalah level air laut yang tidak konstan dan *pressure discharge CWP* yang tidak selalu sama.
4. Solusi untuk menjaga nilai efektivitas *condenser* agar tetap optimal dengan membuat metode pola operasi yang efektif dan efisien pada masing-masing *LMTD*. Hasil perhitungan dengan nilai *vacuum condenser* sebesar 697 [mmHg] didapatkan presentase bukaan *valve outlet condenser* secara berturut-turut sebesar 49,28 [%]; 46,95 [%]; 48,68 [%]; 48,53 [%]; dan 48,5 [%], pada *LMTD* berturut-turut 6,18 [°C]; 6,48 [°C]; 6,77 [°C]; 6,96 [°C]; dan 7,14 [°C].

DAFTAR PUSTAKA

- [1] PLN Corporate University, Pengenalan Pembangkit, Jakarta: PT PLN, 2016.
- [2] PLN Corporate University, Pengoperasian PLTU, Jakarta: PT.PLN, 2016.
- [3] PLN Corporate University, Pengoperasian PLTGU Edisi II, Jakarta: PT PLN, 2016.
- [4] J. P. Holman, Heat Transfer Tenth Edition, New York: McGraw-Hill, 2010.
- [5] L. Mitshubishi Heavy Industries, Grati Combine Cycle Power Plant 1 x 500 MW + 3 x 1000 MW Design Manual, PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero), 1995.
- [6] H. E. Institute, STANDARDS for STEAM SURFACE CONDENSERS, Cleveland, Ohio: Heat Exchange Institute Incorporated, 2012.