

Analisa dan Desain *Compact Condensor* di Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) Tanjung Priok

I Wayan Sutina^{1)*}, I Gusti Bagus Wijaya Kusuma²⁾, I Gusti Ngurah Priambadi³⁾

¹⁾Program Studi Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Gedung Pascasarjana, Universitas Udayana Sudirman, Bali 80113

Email: sutinoe@gmail.com

^{2,3)}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Bukit Jimbaran, Bali 80362

Email: wijaya.kusuma88@yahoo.com, priambadi.ngurah@yahoo.com

doi: <https://doi.org/10.24843/METTEK.2020.v06.i01.p05>

Abstrak

Kondensor merupakan salah satu komponen penukar panas yang berfungsi untuk membuang panas dari fluida uap air (*steam*) pada sebuah sistem pembangkit listrik tenaga gas dan uap (PLTGU). Namun komponen kondensor ini memiliki dimensi yang cukup besar sehingga memerlukan lahan yang luas. Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan dimensi kondensor yang lebih ringkas (*compact*) yang memerlukan lahan yang sedikit dalam penerapannya dilapangan. Desain *Compact* kondensor diawali dengan pengambilan data dilapangan, menghitung efisiensi kondensor awal (0,44), dan proses simulasi pada aplikasi CFD desain kondensor *exisiting* untuk mengetahui gambaran dari proses perpindahan panas yang terjadi. Proses perhitungan untuk desain *compact* kondensor dilakukan untuk mendapatkan ukuran dimensi dan kinerja *compact* kondensor. Dari hasil perhitungan desain yang dilakukan didapatkan dimensi *compact* kondensor dengan panjang : 2 ft = 0,6096 m, lebar : 1 ft = 0,3048 m, dan tinggi 8 ft = 2,4384 m, dengan Volume *Compact* kondensor = 16 ft³ = 4,8768 m³, Efisiensi Sirip : 0.924027, Efisiensi Sirip Overall: 0.936563, Efisiensi kondensor : 0.60, Pressure Drop Sisi uap : 0,5184 Bar, Pressure Drop Sisi air : 1,4734 Bar, Daya Sisi uap : 70.43555 Watt, Daya Sisi air : 25.03529 Watt. Nilai efisiensi yang dihasilkan dari desain *compact* kondensor lebih tinggi dibandingkan dengan kondensor awal dengan dimensi yang lebih kecil.

Kata kunci: Kondensor, *Computational Fluid Dynamic* (CFD), *Compact*, PLTGU, Efisiensi.

Abstract

The condenser is one of the heat exchanger components that functions to remove heat from the water vapor fluid (steam) in a gas and steam power plant (PLTGU) system. However, this condenser component has dimensions large enough to require a large area. This research was conducted to obtain a condenser dimension that is more compact (compact) which requires less land in its application in the field. Compact condenser design begins with data collection in the field, calculating the efficiency of the initial condenser (0.44), and the simulation process in the application of the existing condenser CFD design to find out the details of the heat transfer process that occurs. The calculation process for compact condenser design is carried out to get the dimensions and compact condenser size. From the results of design calculations performed, the dimensions of the compact condenser with length: 2 ft = 0.6096 m, width: 1 ft = 0.3048 m, and height 8 ft = 2.4384 m, with condenser Compact Volume = 16 ft³ = 4,8768 m³, Fin Efficiency: 0.924027, Overall Fin Efficiency: 0.936563, Condenser efficiency: 0.60, Pressure Drop Vapor side: 0.5184 Bar, Pressure Drop

Water side: 1.4734 Bar, Steam Side Power: 70.43555 Watt, Water Side Power : 25,03529 Watt. The efficiency value resulting from the compact condenser design is higher than the initial condenser with smaller dimensions.

Keywords: *Condenser, Computational Fluid Dynamic (CFD), Compact, PLTGU, Efficiency.*

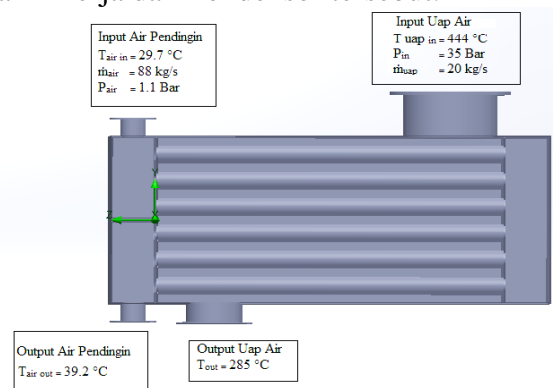
1. PENDAHULUAN

Salah satu pembangkit PLTGU yang ada di Indonesia terdapat di Unit Pembangkitan dan Jasa Pembangkitan Tanjung Priok (UPJP) yang terletak di Ancol, Jakarta Utara, dimana di UPJP Tanjung Priok terdapat 14 unit pembangkit yaitu 8 unit Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) dan 6 unit Pusat Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dengan total kapasitas terpasang adalah 1.196,08 MW. UPJP Priok mengoperasikan 6 unit Pusat Listrik Tenaga Diesel (PLTD) di Senayan berkapasitas 16,08 MW yang menjamin pasokan untuk kebutuhan sidang- sidang MPR. Selain UPJP Priok mengelola pembangkit yang dimiliki Indonesia Power, Perusahaan juga mengelola jasa O&M milik PLN yaitu PLTGU Priok Blok 3 dengan kapasitas terpasang 740 MW. Salah satu permasalahan yang terjadi di PLTGU Tanjung Priok adalah lahan yang tersedia terbatas, sehingga dalam melakukan pengembangan terbentur lahan yang sempit.

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan ketersediaan lahan tersebut adalah dengan membuat komponen yang digunakan memiliki dimensi yang lebih ringkas (*Compact*) namun dengan kinerja yang sama dengan komponen saat ini. Kondensor merupakan salah satu alat penukar kalor yang berfungsi untuk membuang panas uap setelah melewati turbin sehingga berubah menjadi cair yang nantinya dapat di sirkulasi kembali ke boiler untuk dipanaskan kembali menjadi uap. Selain itu kondensor juga dapat menaikkan efisiensi turbin, karena dengan mengusahakan vacuum didalam kondensor uap bekas dari turbin akan segera dapat keluar dan tidak memberikan reaksi tekanan terhadap putaran turbin. Namun kondensor yang di gunakan pada PLTGU Tanjung Priok memiliki dimensi yang sangat besar dan tentu saja hal tersebut akan berpengaruh terhadap lahan yang digunakan, maka dari itu penulis ingin merancang kembali kondensor yang ada di PLTGU Tanjung Priok tersebut menjadi lebih ringkas agar bisa menghasilkan kinerja yang sama dengan kondensor saat ini tetapi memiliki dimensi yang lebih yang lebih ringkas (*compact condensor*).

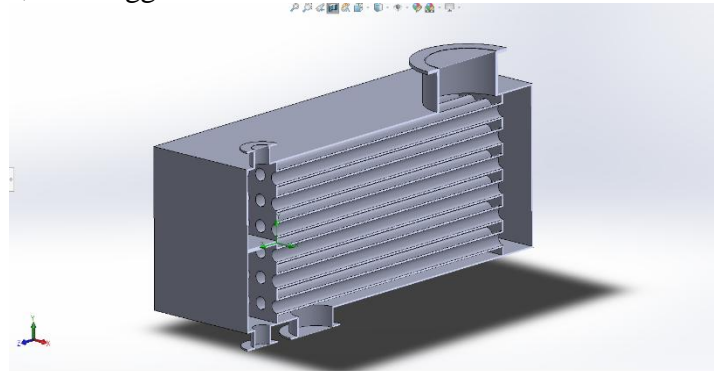
2. METODE

Pada penelitian ini, untuk dapat mengetahui dan melakukan analisa kinerja pada komponen kondensor diperlukan data-data pendukung seperti kapasitas uap yang masuk kondensor, temperatur uap masuk kondensor, dan temperatur akhir kondensor. Berdasarkan data-data tersebut nantinya akan dilakukan perhitungan dengan rumus perpindahan panas untuk mengetahui efisiensi dan kinerja dari kondensor tersebut.



Gambar 2.1 Data Input Kondensor *Existing*

Tahap awal penelitian ini adalah melakukan perhitungan awal pada kondensor *existing* untuk mengetahui kinerja dan efisiensi kondensor awal, selanjutnya adalah membuat model simulasi pada aplikasi CFD dengan menggunakan ukuran yang sama dengan kondensor yang terpasang saat ini untuk mengetahui gambaran perpindahan panas yang terjadi di dalam kondensor. Berikut merupakan gambaran kondensor PLTGU tanjung priok dengan dimensi panjang 20 m, lebar 10 m, dan tinggi 6 m.



Gambar 2.2 Gambar Kondensor *Existing*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Kerja

- a. Fluida panas (uap Air)
 - Temperatur masuk uap air (T_{in}) = 444 °C = 717.15 K
 - Tekanan masuk (P_{in}) = 35 Bar = 3500000 Pa
 - Laju aliran massa uap masuk (\dot{m}_{uap}) = 20 kg/s
 - Temperatur keluar uap air (T_{out}) = 285 °C = 558.15 K
- b. Fluida pendingin (air)
 - Temperatur air masuk ($T_{air in}$) = 29.7 °C = 302.85 K
 - Tekanan air masuk (P_{air}) = 1.1 Bar = 110000 Pa
 - Temperatur air keluar ($T_{air out}$) = 39.2 °C = 312.35 K
 - Laju aliran massa air masuk (\dot{m}_{air}) = 88 kg/s

3.1 Perhitungan Kondensor *Existing*

Berikut merupakan perhitungan yang dilakukan untuk mengetahui kinerja pada kondensor awal atau kondensor *Existing*.

3.1.1 Sifat-Sifat Uap Air (*Steam*)

Diketahui dari data *existing* bahwa temperatur uap air (*steam*) masuk sebesar ($T_{steam in}$) = 444°C dan temperatur uap air keluar sebesar ($T_{steam out}$) = 285°C, sehingga diperoleh nilai temperatur rata-rata sebagai berikut :

$$\Delta T_{steam} = \frac{T_{in} + T_{out}}{2} = \left(\frac{510 \text{ °C} + 380 \text{ °C}}{2} \right) = 364,5 \text{ °C} = 637.5 \text{ K}$$

Sifat-sifat uap air pada temperatur 637.5 K didapat dari tabel *Thermophysical properties of saturated water*, dari 6th edition *Fundamentals of Heat and Mass Transfer by Frank P. Incropera – David P. Dewwit* di dapat data *properties* sebagai berikut :

$$\mu_{steam} = 0.0003100000 \text{ N.s/m}^2$$

$$\rho_{steam} = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

$$k_{steam} = 0.148 \text{ W/m.K}$$

$$Pr_{steam} = 7.8$$

$$Cp_{steam} = 21.2 \text{ Kj/kg.K}$$

3.1.2 Sifat-Sifat Air

Diketahui dari data *existing* bahwa temperatur air masuk sebesar ($T_{\text{air in}} = 29,7 \text{ }^\circ\text{C}$) dan temperatur uap air keluar sebesar ($T_{\text{air out}} = 39,2 \text{ }^\circ\text{C}$), sehingga di peroleh nilai temperatur rata-rata sebagai berikut :

$$\Delta T_{\text{steam}} = \frac{T_{\text{in}} + T_{\text{out}}}{2} = \left(\frac{29,7^\circ\text{C} + 39,2^\circ\text{C}}{2} \right) = 34,45 \text{ }^\circ\text{C} = 307,45 \text{ K}$$

Sifat-sifat air pada temperatur 307.45 K didapat dari tabel *Thermophysical properties of saturated water, dari 6th edition Fundamentals of Heat and Mass Transfer by Frank P. Incropera – David P. Dewwit* di dapat data *properties* sebagai berikut :

$$\mu_{\text{air}} = 0.0007327400 \text{ N.s/m}^2$$

$$\rho_{\text{air}} = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

$$k_{\text{air}} = 0.62392 \text{ W/m.K}$$

$$\text{Pr}_{\text{air}} = 4.9158$$

$$C_{p \text{ air}} = 4.178 \text{ Kj/kg.K}$$

3.1.3 Menghitung Laju Kapasitas

$$\begin{aligned} C_{\text{steam}} &= w_{\text{steam}} \cdot C_{p \text{ steam}} = \text{laju kapasitas fluida panas (steam)} \\ &= 20 \text{ Kg/s} \cdot 21,2 \text{ Kj/kg.K} \\ &= 424 \text{ Kw/K} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{\text{air}} &= w_{\text{air}} \cdot C_{p \text{ air}} = \text{laju kapasitas fluida pendingin (air)} \\ &= 88 \text{ Kg/s} \cdot 4.178 \text{ Kj/kg.K} \\ &= 367.664 \text{ Kw/K} \end{aligned}$$

Karena $C_{\text{air}} \lll C_{\text{steam}}$, Maka

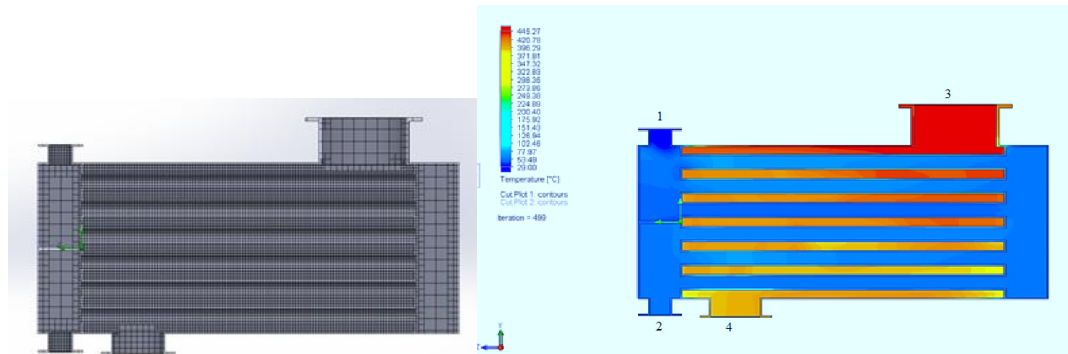
$$C_{\text{air}} = C_{\text{Min}}, \text{ dan } C_{\text{steam}} = C_{\text{Max}}$$

$$\begin{aligned} C_r &= C_{\text{min}} / C_{\text{Max}} \\ &= 424 / 367.664 \\ &= 0.867132075 \end{aligned}$$

3.1.4 Efisiensi Kondensor *Existing*

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{C_{\text{steam}} (T_{\text{steam in}} - T_{\text{steam out}})}{C_{\text{min}} (T_{\text{steam in}} - T_{\text{air in}})} = \frac{C_{\text{air}} (T_{\text{air out}} - T_{\text{air in}})}{C_{\text{min}} (T_{\text{steam in}} - T_{\text{air in}})} \\ &= \frac{424 (444 - 285)}{367.664 (444 - 29,7)} \\ &= 0.441838724 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil simulasi dengan berbagai komposisi *mesh/grid*, tampak hasilnya adalah mendekati sama. Oleh sebab itu, simulasi dinyatakan bebas dari jumlah *grid/mesh* atau *grid independence test*. Untuk mengurangi beban saat running program di computer, maka *mesh* yang dipakai paling sedikit adalah dengan tingkat medium karena akan menghasilkan sama dengan *mesh* tingkat optimum.



Gambar 3.1 Hasil *Meshing* dan Simulasi Kondensor *Existing*

3.2 Perhitungan Desain *Compact* Kondensor

Karakteristik Tabung yang digunakan :

- | | |
|-------------------------------------|---|
| - Diameter luar | = 0,375 in = 9,53 mm |
| - Tebal sirip | = 1 mm |
| - Pitch sirip | = 4 per cm |
| - Luasan sirip per total luasan | = $A_f / A = 0.48$ |
| - Diameter hidaulik | = $D_h = 0,029 \text{ ft} = 8,84 \text{ mm}$ |
| - Free flow area / frontal area | = $\sigma/a = 0.333$ |
| - Heat transfer area / total volume | = $44,8 \text{ ft}^2/\text{ft}^3 = 13,655 \text{ m}^2/\text{m}^3$ |
| - Frontal area pada satu tabung | = 81.79 mm^2 |
| - Free flow pada satu tabung | = $\pi \cdot d_i^2 / 4$ ($d_i^2 = 8,13 \text{ mm}$) |
| | = $3,14 \cdot 8,13 / 4$ |
| | = $27,2355 \text{ mm}^2$ |

3.2.1 Perhitungan Bilangan *Reynolds*

Sisi uap air (*steam*)

$$\begin{aligned} \text{Re1} &= \rho \cdot v \cdot D_h / \mu_1 \\ &= 0,656 \cdot 2 \cdot 0,375 / 0,0000310 \\ &= 15.870,9 \end{aligned}$$

Sisi Air

$$\begin{aligned} \text{Re2} &= \rho \cdot v \cdot D_h / \mu_2 \\ &= 1 \cdot 2 \cdot 0,320 / 0,000732 \\ &= 874,32 \end{aligned}$$

3.2.2 Mencari Unit Film Konduktansi

Sisi Uap Air (*Steam*)

$$\begin{aligned} h_a &= 0.088 \cdot 52747.25 \cdot 0.053 \\ &= 2.46 \end{aligned}$$

Sisi Air

$$\begin{aligned} h_w &= 14.88 \cdot 0.6392 / 0.1 \\ &= 92.82 \end{aligned}$$

3.2.3 Mencari Efisiensi Sirip

Karena uap air (*steam*) melewati sirip, maka efisiensi sirip dihitung berdasarkan koefisien perpindahan panas pada uap steam :

$$m = \frac{\sqrt{4 \cdot h_a}}{k \cdot \sigma}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{\sqrt{4} \cdot 2.46}{14.8 \cdot 0.022} \\
m L &= 0.92 \\
\eta_f &= \tanh m L / m L \\
&= 0.924027 \\
\text{Efisiensi seluruh sirip} \\
\eta_o &= 1 - A_f/A_o (1 - \eta_f) \\
&= 1 - 0.835 (1 - 0.92) \\
&= 0.936563
\end{aligned}$$

Nilai efisiensi sirip ini sudah termasuk tinggi, sehingga sudah bisa di terima. Perlu di catat disini, bahwa L bukanlah panjang sirip melainkan panjang efektif dari aliran.

3.2.4 Number Of Heat Transfer Unit (Ntu)

$$\begin{aligned}
Ntu &= \frac{A_a \cdot U_a}{C_{min}} \\
&= 0.0534530113
\end{aligned}$$

3.2.5 Efisiensi Compact Kondensor

$$\begin{aligned}
\eta &= 1 - \exp [1 / Cr Ntu 0.22 (- \exp (Ntu 0.78 \cdot - Cr) - 1)] \\
\text{Maka } \eta &= 0.60
\end{aligned}$$

3.2.6 Pressure Drop

$$\text{Pressure Drop Sisi Uap : } 7.52 \text{ Psia} = 51.848,57 \text{ Pa}$$

$$\text{Pressure Drop Sisi Air : } 21.37 \text{ Psia} = 147.341 \text{ Pa}$$

3.2.7 Tenaga Untuk Menggerakkan Fluida

Daya Sisi Uap

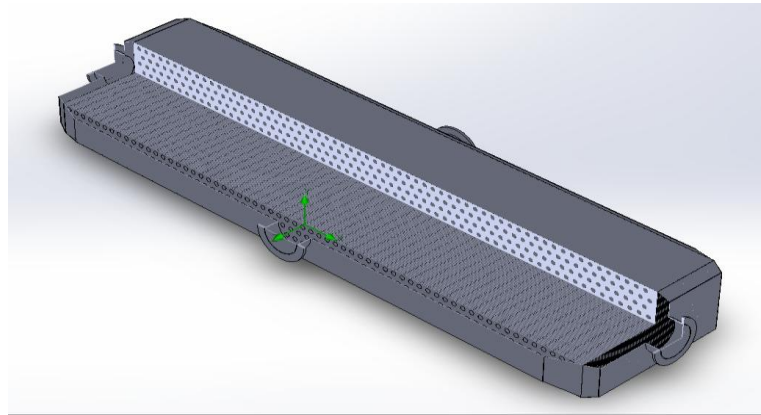
$$\begin{aligned}
P &= \Delta P_1 \cdot v \cdot \text{luas frontal sisi Uap} \\
&= 70.43555 \text{ Watt}
\end{aligned}$$

Daya Sisi Air

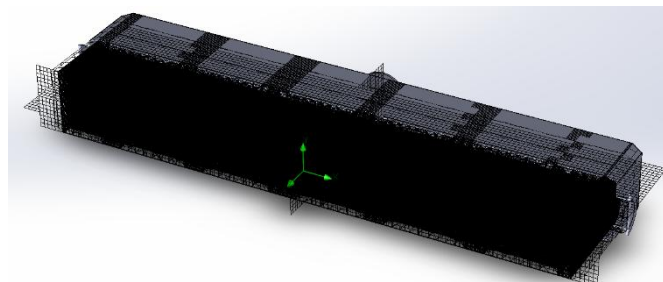
$$\begin{aligned}
P &= \Delta P_2 \cdot v \cdot \text{luas frontal sisi air} \\
&= 25.03529 \text{ Watt}
\end{aligned}$$

3.2.8 Rancangan compact kondensor memiliki ukuran sebagai berikut :

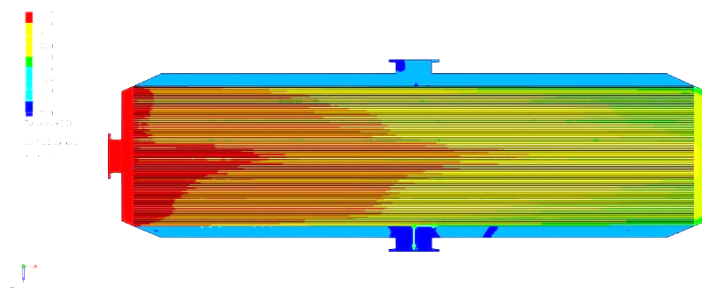
Panjang	= 0,6096 m
Lebar	= 0,3048 m
Tinggi	= 2,4384 m
Volume Compact Condensor	= 16 ft ³ = 4,8768 m ³
Luasan frontal sisi uap air (<i>steam</i>)	= 16 ft = 4,8768 m
Luasan frontal sisi air = 8 ft	= 2,4384 m
Efisiensi Sirip	= 0.924027
Efisiensi Sirip Overall	= 0.936563
Efisiensi Compact Boiler	= 0.60



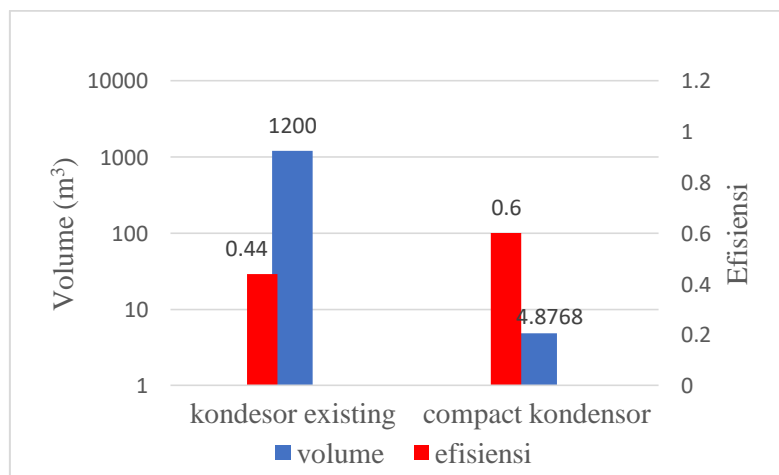
Gambar 3.2 Desain *Compact* Kondensor



Gambar 3.3 Hasil *Meshing* *Compact* Kondensor



Gambar 3.4 Hasil Simulasi *Compact* Kondensor



Gambar 3.5 Perbandingan Volume dan Efisiensi Kondensor Existing Dengan *Compact* Kondensor

4. SIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, ukuran dimensi *compact* kondensator yang didapat adalah panjang 0,6096 m, lebar 0,3048 m dan tinggi 2,4384 m dengan volume *Compact* kondensator 4,8768 m³. Ukuran ini jauh lebih kecil dibandingkan dengan ukuran kondensator awal yaitu panjang 20 m, lebar 10 m, dan tinggi 6 m dengan volume 1200 m³

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anggun Sukarno, 2014, *Analisis Perubahan Tekanan Vakum Kondensator Terhadap Kinerja Kondensator Di Pltu Tanjung Jati B Unit 1*, Jurusan Teknik Mesin Polines, Semarang, Indonesia.
- [2] Apollo, Musrady Mulyadi, 2014, *Pengaruh Kevakuman Terhadap Efektivitas Kondensator PLTU Barru Unit 1*, Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- [3] Asrorin Safira, Zata Lini, 2016, *Penentuan Nilai Efektivitas Condenser di PLTU Paiton Unit 5 PT. YLT Jawa Timur*, Politeknik Negeri Jember.
- [4] Atoni, 2019, *Pengaruh Variasi Temperatur Air Pendingin Kondensator Terhadap Tekanan Pada Beban Tetap*, Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- [5] Arvirianty, A. 2019 *Menengok Nasib Mega Proyek 35 Ribu MW yang Digagas Jokowi CNBC Indonesia* 14/07/2019
- [6] Bagus Wahyu Hadi Atmaja dan Atok Setiyawan, 2013, *Recovery Derating Dengan Redesign Kondensator Berdasarkan Analisa Termodinamika Dan Perpindahan Panas*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.
- [7] Endang Prihastuty, 2011, *Analisis Kinerja Kondensator pada Instalasi PLTU Kilang Minyak Kaitannya dengan Kebocoran Tube*, Universitas Pancasila, Jakarta.
- [8] F. P. Incopera, D. P. Dewitt, T. L. Bergman, and A. S. Lavine, *Fudamental Of Heat And Mass Transfer 6th Edition*, vol. 53, no. 9. 2013.
- [9] Jefriando, M. 2017 *Jokowi Masih Pasang Target 35.000 MW Meski Realisasi Hanya 22.000 MW*. Detik Finance. Available: <https://finance.detik.com/energi/d-3388723/jokowi-masih-pasang-target-35000-mw-meski-realisasi-hanya-22000-mw> [Accessed: 20-Jul-2019].
- [10] Kays and London, (1964). “*Compact Heat Exchanger*”, McGraw-Hill-Book Company, new york.
- [11] Kumar. A Et al. (2016) “*3D CFD simulations of air cooled condenser-III: Thermal-hydraulic characteristics and design optimization under forced convection conditions*”. International Journal of Heat and Mass Transfer
- [12] Luki Apriliasari dan Djatmiko Ichسانی, 2013, *Desain Compact heat exchanger Tipe Fin and tube Sebagai Alat Pendingin Motor pada Boiler Feed Pump (Studi Kasus pada Sebuah Perusahaan Pembangkit Tenaga Listrik)*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.
- [13] Makhfidhotul, Khoiriyah, 2016, *Re-Design Tube Condenser PLTU Unit 4 Studi Kasus: PT. PJB UP Gresik*, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya.
- [14] Munarsih Sahana, 2015 ‘Presiden Jokowi Luncurkan Program '35 Ribu MW Listrik untuk Indonesia' Available: <https://www.voaindonesia.com/a/presidenokowi-luncurkan-progaram-35-ribu-mw-listrik-untuk-indonesia/2747482.html> diakses tanggal 1 Agustus 2019
- [15] Prayudi, 2017, *Analisis Performa Kondensator Di Pt. Indonesia Power Ujp Pltu Lontar Banten Unit 2*, Jakarta Barat, Indonesia.
- [16] Slamet Hariyadi dan Atok Setiyawan, 2013, *Analisa Termodinamika Pengaruh Penurunan Tekanan Vakum pada Kondensator Terhadap Performa Siklus PLTU Menggunakan Software Gate Cycle*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.

- [17] Sukmanty, Diby, 2009, *Perhitungan Desain Termal kondensor Pada Sistem Pendingin PWR, Bidang Fisika dan Teknologi Reaktor – PTRKN Batan, Yogyakarta.*
- [18] Suprihanto, Agus. 2018 *Pengaruh Pembersihan Kimiawi Dan Mekanik Terhadap Kinerja Intercooler ST24 Pada PLTGU Indonesia Power UPJP Priok.*
- [19] Thulukkanam, Kuppan. 2013. *“Heat Exchanger Design Handbook, Second Edition” Taylor & Francis Group, LLC.*
- [20] Versteeg, H K and Malalasekera, W. 1995 *“An Introduction To Computational Fluid Dynamics”*. The Finite Volume Method.
- [21] Wei. Gaosheng. Et al. (2012) *Scheme Design and Analysis of Variable Condition of Evaporative Condenser for Steam Condensing of Steam Feeding Water Pump for 1000MW Air-cooled Unit International Conference on Future Electrical Power and Energy Systems.*