

Analisis Pengaruh Temperatur dan Laju Alir Air Pendingin Terhadap Kinerja Kondensor Di PLTU Cirebon Unit 1

Bima Ramadiansyah Putera¹, Alvera Apridialianti Melkias¹, Maridjo¹

¹Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Indonesia

E-mail : bima.ramadiansyah.tken18@polban.ac.id, alveramelkias@polban.ac.id, mmaridjo1@gmail.com.

Abstrak

Kondensor adalah alat yang berfungsi mendinginkan atau mengkondensasikan uap keluaran turbin menjadi air. Air pendingin yang masuk ke dalam kondensor memiliki nilai temperatur dan laju alir yang bervariasi, hal ini sangat berpengaruh terhadap kinerja kondensor. Kinerja kondensor dapat dilihat dari 2 faktor yaitu Cleanliness Factor dan Condensing Duty. Perhitungan kinerja kondensor menggunakan data aktual pada beban pembangkitan penuh yaitu 660 MW dan hanya diambil beberapa bulan saja, yaitu pada saat beban penuh di tahun 2019. Apabila ditinjau dari pengaruh temperatur air pendingin yang masuk ke dalam kondensor, nilai Cleanliness Factor tertinggi pada bulan Agustus 2019 yaitu 86,16% dan nilai dari Condensing Duty yaitu 721630 Kcal/hr. Sedangkan apabila ditinjau dari pengaruh laju alir air pendingin yang masuk ke dalam kondensor, nilai Cleanliness Factor tertinggi pada bulan Mei 2019 yaitu 83,54% dan nilai dari Condensing Duty yaitu 701673 Kcal/hr. Semakin rendah temperatur air pendingin yang masuk ke kondensor maka panas yang terkandung di dalam uap akan semakin banyak diserap oleh air pendingin. Dan Semakin tinggi nilai laju alir air pendingin yang masuk ke dalam kondensor maka panas yang terbawa oleh air pendingin pun akan semakin banyak, sehingga kinerja kondensor akan baik.

Kata Kunci: Kondensor, Cleanliness Factor, Condensing Duty

1. PENDAHULUAN

Energi merupakan kebutuhan pokok bagi seluruh manusia, khususnya energi listrik. Kebutuhan energi listrik terus meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah populasi manusia di Indonesia. PLTU atau Pembangkit Listrik Tenaga Uap merupakan pembangkit listrik yang paling mendominasi penggunaannya di Indonesia karena berbagai kelebihan yaitu dapat dioperasikan dengan berbagai jenis bahan bakar dan daya yang dihasilkan relatif besar..

Fungsi kondensor adalah untuk merubah fasa uap keluaran turbin menjadi air dengan menggunakan media campuran air laut dengan air hasil dari *cooling tower* sebagai fluida pendinginnya sehingga dapat dipompakan kembali ke boiler. Kondensor yang digunakan pada PLTU yaitu jenis *surface condenser* atau dikenal dengan *shell and tube*.

Perhitungan kinerja dari kondensor dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain temperatur dari air pendingin yang masuk ke dalam pipa kondensor dan laju alir air pendinginnya. Nilai temperatur dan *flow* yang masuk ke dalam kondensor mempunyai nilai yang berbeda-beda. Oleh karena itu diperlukan penelitian mengenai pengaruh temperatur dan laju alir air pendingin terhadap kinerja kondensor.

Tujuan penelitian ini adalah menganalisa pengaruh temperatur dan laju alir air pendingin terhadap kinerja kondensor. Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu menganalisa pengaruh temperatur dan laju alir air pendingin terhadap kinerja kondensor yang meliputi *Cleanliness Factor* dan *Condensing Duty*. Batasan masalah pada penelitian ini

yaitu analisa yang dilakukan menggunakan data operasi pada tahun 2019 di PLTU Cirebon Unit 1 dan hanya diambil beberapa bulan karena pada bulan tersebut beban pembangkit yang beroperasi merupakan beban penuh.

2. METODE

2.1 Diagram Alur Perancangan



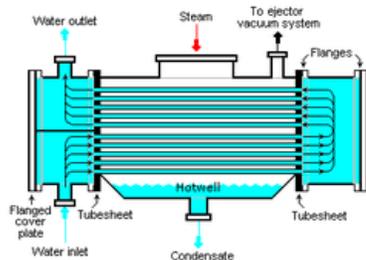
Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Gambar 1 menunjukkan grafik diagram alur dari metodologi penelitian yang penulis buat. Alat yang diteliti yaitu kondensator dengan jenis *shell and tube* yang berada di PLTU Cirebon Unit 1.

Diagram alir ini dimulai dengan mencari serta mempelajari materi – materi yang berkaitan dengan kondensator. Kemudian dilanjutkan dengan mengumpulkan data – data yang dibutuhkan untuk menghitung kinerja kondensator. Ketika semua data sudah terkumpul, parameter kinerja kondensator yaitu *Cleanliness Factor* dan *Condensing Duty* dapat dihitung. Setelah selesai dihitung, dilanjutkan dengan membandingkan parameter kinerja kondensator data operasi dengan data *design*. Setelah dibandingkan, selanjutnya data yang sudah diolah akan dibuat kedalam bentuk grafik sehingga nantinya akan dianalisis sesuai dengan bentuk grafik. Dimana analisa data yang dianalisis dalam bentuk grafik merupakan hubungan antara temperatur terhadap *Cleanliness Factor*, temperatur terhadap *Condensing Duty*, laju alir terhadap *Cleanliness Factor*, dan laju alir terhadap *Condensing Duty*. Dari analisa tersebut dapat diketahui seberapa besar pengaruh dari temperatur dan laju alir air pendingin terhadap kinerja kondensator yang meliputi *Cleanliness Factor* dan *Condensing Duty*.

2.2 Kondensator

Kondensator adalah mesin penukar panas yang berfungsi untuk merubah uap keluaran turbin menjadi air. Konstruksi yang ada di kondensator terdiri dari pipa-pipa yang disusun sedemikian rupa dan dialiri air dari basin fungsinya sebagai air pendingin. Karena uap keluaran turbin bersinggungan secara tidak langsung dengan air pendingin maka akan terjadi proses kondensasi, hasil dari kondensasi tersebut dinamakan kondensat. Air pendingin dipompa dari basin dimana peran basin disini untuk menampung air laut dan air hasil pendinginan dari *cooling tower* dan selanjutnya digunakan sebagai air pendingin yang mengalir di dalam pipa kondensator.



Gambar 2. Kondensator

Tekanan dari kondensator harus tetap vakum, agar uap keluaran turbin langsung bergerak dengan mudah menuju kondensator. Apabila tekanan nya tinggi maka uap akan menumpuk pada turbin sehingga daya yang dihasilkan oleh pembangkit akan menurun.

Tabel 1 Spesifikasi Kondensator di PLTU Cirebon Unit 1

Condenser Specifications	
Type	Surface condensing, divided water box type, transversely mounted to turbine center line, two (2) pass
Effective Surface	37178 m ²
Operating Pressure	63 mmHg A
Circulating Water Flow Rate	93370 m ³ /hr
Hotwell Capacity	207,5 m ³
Oxygen Content	7 ppb
Tube Cleanness Factor	90 %
Water Velocity in Tubes	2,3 m/s (average)
Tube No., OD, Thickness	63952 pcs/Unit, 7/8", 25 BWG (22BWG)
Tube Material	ASTM B338 Gr.2
Tube length	8326 mm (Effective), 8396 (Overall)

2.3 Perhitungan Kinerja Kondensator

Kinerja kondensator dapat dilihat dengan 2 cara, yaitu *Condensing Duty* dan *Cleanliness Factor*.

1. *Condensing Duty*

Beban pendinginan (*Condensing Duty*) adalah jumlah panas yang diserap oleh air pendingin.

$$Q = \dot{m} \times C_p \times (T_o - T_i) \tag{1}$$

Dimana :

Q : *Condensing Duty* (Kcal/hr)

\dot{m} : Laju alir air pendingin (m³/hr)

C_p : *Spesific heat* air pendingin (Kj/kg.°C)

T_o : Temperatur air pendingin yang keluar (°C)

T_i : Temperatur air pendingin yang masuk (°C)

- Menghitung Laju Aliran Massa Air Pendingin

Menurut Robert J. Tramel,2000. Ketika nilai dari laju alir air tidak ditemukan, maka digunakan persamaan kesetimbangan siklus energi turbin yaitu:

$$Duty = (W_{MS}(h_{MS}-h_{FW}) + W_{HRH}(h_{HRH}-h_{CRH})) - 860 (P_{gen} + P_{gen\ losses} + Heat\ loss\ rad) \tag{2}$$

Setelah mendapatkan nilai dari *Turbine Heat Duty* substitusikan kedalam rumus dibawah ini yaitu:

$$CCWF = \frac{Turbine\ Heat\ Duty}{C_p \times (CCWTO - CCWTI) \times D} \tag{3}$$

2. Cleanliness Factor

Cleanliness Factor dihitung untuk menentukan tingkat kebersihan tabung. Cleanliness Factor ini merupakan perbandingan antara kinerja termal operasi kondensor dengan termal yang dirancang. Tingkat kebersihan kondensor dapat dihitung melalui persamaan dibawah ini:

$$CF = \frac{U_{aktual}}{U_{teoritis}} \times 100\% \quad (4)$$

Koefisien heat transfer aktual dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$U_{aktual} = \frac{CCWF \times C_p \times (T_o - T_i) \times D}{A_{Condensing} \times LMTD} \quad (5)$$

Dimana,

- U_{aktual} : Heat transfer coefficient aktual (Kcal/hr.m².°C)
- CCWF : Circulating Cooling Water Flow (m³/hr)
- C_p : Specific heat of water (Kcal/kg.°C)
- CCWTO : Circulating Cooling Water Temp. Out (°C)
- CCWTI : Circulating Cooling Water Temp. In (°C)
- $A_{Condensing}$: Condensing surface area (m²)
- D : Density of water (Kg/m³)

LMTD (Log Mean Temperature Different) dapat diketahui menggunakan rumus sebagai berikut:

$$LMTD = \frac{T_{out} - T_{in}}{\ln \frac{T_{sat} - T_{in}}{T_{sat} - T_{out}}} \quad (6)$$

koefisien heat transfer teoritis dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$U_{teoritis} = CTD \text{ Factor} \times CWITC \text{ Factor} \times MTT \text{ Factor} \times \sqrt{CW \text{ Velocity}} \quad (7)$$

Dimana,

- $U_{teoritis}$: Heat transfer coefficient teoritis (Kcal/hr.m².°C)
- CTD factor : Condenser tube diameter factor (2326)
- CWITC factor : Cooling water inlet temperature correction (1,07)
- MTT factor : Material thickness factor titanium (0,94)
- CW Velocity : Kecepatan air pendingin yang masuk (m/s)

Nilai dari kecepatan air pendingin yang masuk dapat diketahui dari persamaan berikut:

$$CWV = \frac{4 \times CCWF \times \text{jumlah pipa inlet}}{3600 \times \pi \times d^2 \times (\text{Total tubes} - \text{Plugged tubes})} \quad (8)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Perhitungan Kinerja Kondensor

Tabel 2. Hasil Perhitungan Kinerja Kondensor Pengaruh Temperatur Air

Bulan	Beban Pembangkit [MW]	Rata - Rata Temperatur [°C]	Cleanliness Factor [%]	Condensing Duty [Kcal/hr]
Februari	694,92	31,53	85,24	713966
Mei	694,04	31,83	84,92	711216
Juni	694,31	29,64	85,24	713947
Juli	694,95	29,44	85,72	717955
Agustus	694,80	29,12	86,16	721630

Data yang digunakan adalah data aktual kinerja kondensor pengaruh dari temperatur air pendingin yang masuk ke dalam kondensor di PLTU Cirebon Unit 1 pada kondisi beban penuh. Nilai temperatur air pendingin yang paling rendah masuk ke dalam kondensor ada pada bulan Agustus

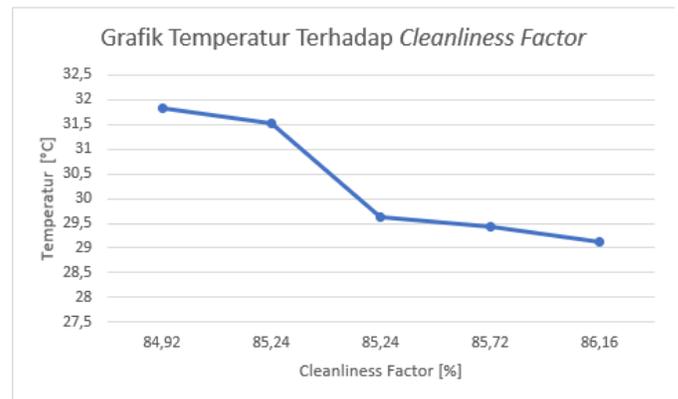
Tabel 3. Hasil Perhitungan Kinerja Kondensor Pengaruh Laju Alir Air

Bulan	Beban Pembangkit [MW]	Rata-Rata Flow [m ³ /hr]	Cleanliness Factor [%]	Condensing Duty [Kcal/hr]
Februari	694,92	56136,85	82,16	678589
Mei	694,04	58046,52	83,54	701673
Juni	694,31	57794,34	83,36	698625
Juli	694,95	57950,37	83,47	700511
Agustus	694,80	57825,68	83,38	699004

yaitu 29,12 °C. Dan nilai temperatur air pendingin yang paling tinggi ada pada bulan Mei yaitu 31,83 °C.

Nilai laju alir air pendingin paling besar yang masuk ke dalam kondensor ada pada bulan Mei yaitu 58046,52 m³/hr. Dan nilai laju alir air pendingin yang paling kecil ada pada bulan Februari yaitu 56136,85 m³/hr.

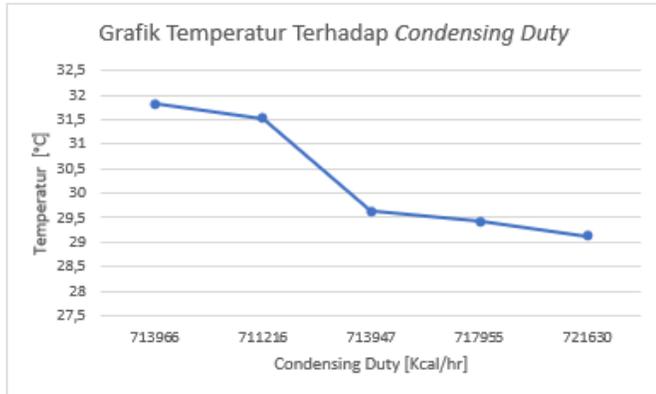
3.2 Analisis Kinerja Kondensor Pengaruh Temperatur



Gambar 3. Grafik Temperatur Terhadap Cleanliness Factor

Cooling water temperature yang masuk melalui tube yang ada di dalam kondensor mempunyai nilai yang beragam, seperti yang ditunjukkan pada grafik diatas. Setelah data diolah dan dihitung, dapat dilihat dari data diatas bahwa semakin

dingin atau semakin rendah angka dari temperatur *cooling water* yang masuk ke dalam kondensator maka nilai dari *Cleanliness Factor* atau tingkat kebersihan tabung akan semakin tinggi. Nilai temperatur terendah pada bulan Agustus 2019 yaitu 29,12°C dan nilai dari *Cleanliness Factor* nya 86,16 %. Dan untuk nilai temperatur tertinggi masuk ke kondensator pada bulan Mei 2019 yaitu 31,83°C dan nilai dari *Cleanliness Factor* nya sebesar 84,92 %. Dapat dilihat nilai temperatur air pendingin yang masuk ke kondensator dengan nilai *Cleanliness Factor* berbanding lurus.

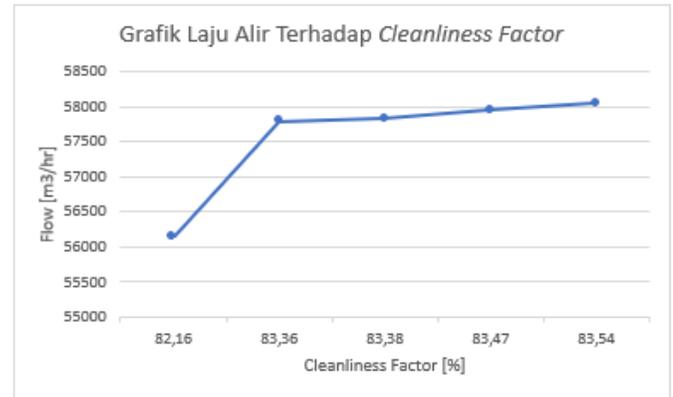


Gambar 4. Grafik Temperatur Terhadap *Condensing Duty*

Panas uap yang diserap oleh air pendingin adalah pengertian dari *Condensing Duty*. Berdasarkan grafik diatas, semakin rendah temperatur air pendingin yang masuk maka panas yang diserap oleh air pendingin pun akan semakin banyak. Contohnya pada bulan Agustus 2019 yang dimana pada bulan ini mempunyai nilai temperatur paling rendah yaitu sebesar 29,12°C, Nilai dari *Condensing Duty* nya sebesar 721630 Kcal/hr. Dan ketika nilai temperatur air pendingin yang masuk ke dalam kondensator tinggi maka nilai panas yang diserap pun akan semakin sedikit. Misalnya pada bulan Mei 2019, nilai temperatur air pendingin yang masuk sebesar 32,18°C dan nilai *Condensing Duty* nya sebesar 711216 Kcal/hr.

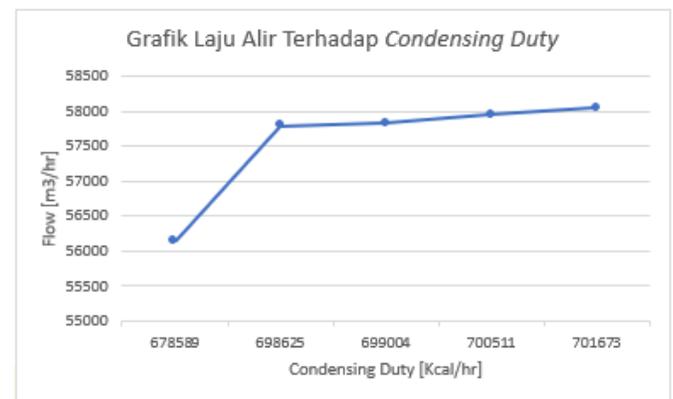
Dari kedua grafik diatas dapat disimpulkan bahwa semakin rendah temperatur air pendingin yang masuk ke dalam kondensator maka tingkat kebersihan tabung kondensator (*Cleanliness Factor*) akan semakin bagus dan bersih. Begitu juga dengan *Condensing Duty*. Ketika nilai temperatur air pendingin yang masuk ke dalam kondensator rendah, maka panas yang ada di dalam uap akan semakin banyak terserap oleh air pendingin. Artinya semakin rendah nilai dari *cooling water temperature* yang masuk ke dalam kondensator dan tetap dijaga stabil nilai temperaturnya maka kinerja kondensator itu akan baik.

3.3 Analisis Kinerja Kondensator Pengaruh Laju Alir



Gambar 5. Grafik Laju Alir Terhadap *Cleanliness Factor*

Laju alir air pendingin yang mengalir pada *tube* letaknya di dalam kondensator memiliki nilai yang bervariasi. Dan dari nilai yang bervariasi tersebut, pastinya mempengaruhi kinerja kondensator. Berdasarkan grafik diatas, ketika semakin cepat laju alir air pendingin maka nilai dari *Cleanliness Factor* juga akan semakin tinggi yang menandakan tingkat kebersihan tabung dari kondensator ini bersih dan bagus. Contohnya pada bulan Mei 2019, Nilai dari laju alir air pendingin yang masuk ke dalam kondensator ini sebesar 58046,52 m³/hr dan didapatkan nilai dari *Cleanliness Factor* nya 83,54%. Berbeda dengan bulan Februari 2019, pada bulan ini nilai laju alir air pendingin yang masuk ke dalam kondensator paling lambat dari bulan yang lainnya, nilai dari laju alir air pendingin yang masuk sebesar 56136,85 m³/hr dan nilai *Cleanliness Factor* yang didapatkan sebesar 82,16%.



Gambar 5. Grafik Laju Alir Terhadap *Condensing Duty*

Berdasarkan grafik diatas, ketika nilai laju alir air pendingin nya tinggi maka penyerapan panas yang ada di dalam uap oleh air pendingin akan lebih maksimal. Contohnya pada bulan Mei 2019, nilai dari laju alir air pendingin yang masuk ke dalam kondensator ini sebesar 58046,52 m³/hr dan nilai dari *Condensing Duty* nya sebesar 701673 Kcal/hr. Namun berbeda dengan bulan Januari 2019 yang nilai laju alir

air pendingin nya lebih lambat. Pada bulan Februari 2019 nilai laju alir air pendingin yang masuk ke dalam kondensor ini sebesar 56136,85 m³/hr dan nilai *Condensing Duty* nya sebesar 678589 Kcal/hr.

Dapat disimpulkan bahwa nilai laju alir air pendingin sangat mempengaruhi kinerja kondensor yaitu *Cleanliness Factor* dan *Condensing Duty*. Ketika nilai laju alir air pendinginnya ini cepat maka kinerja kondensor pun akan baik. Sebaliknya, apabila nilai laju alir air pendinginnya ini lambat maka kinerja kondensor akan tidak maksimal. Sehingga diharapkan laju alir air pendingin dijaga stabil pada nilai yang maksimal.

Tabel 4.. Perbandingan Data Design dengan Data Aktual Kinerja Kondensor

Parameter	Data Design	Pengaruh Temperatur	Pengaruh Laju Alir
<i>Cleanliness Factor</i> (%)	90	85,45	83,18
<i>Condensing Duty</i> (Kcal/hr)	714346	715742	695680

Berdasarkan data *design* pengaruh temperatur, nilai *Cleanliness Factor* yang ada di PLTU Cirebon Unit 1 yaitu sebesar 90%. Apabila di rata-rata kan nilai *Cleanliness Factor* pengaruh dari temperatur air pendingin pada bulan Februari, Mei, Juni, Juli, dan Agustus 2019 yaitu sebesar 85,45 %. Kinerja kondensor yang dihitung berdasarkan data aktual lebih kecil dari data *design* yaitu 90%. Dan untuk nilai *Condensing Duty* apabila dirata-rata kan pada bulan Februari, Mei, Juni, Juli, dan Agustus 2019 yaitu sebesar 715742 Kcal/hr, dan untuk nilai data *design* nya 714346 Kcal/hr.

Tabel 5.. Perbandingan Data Design dengan Data Aktual Temperatur & Flow

Parameter	Data Design	Rata - Rata Data <u>Aktual</u>
Temp. In (°C)	31,6	30,31
Temp. Out (°C)	39,6	43,48
CCWF (m3/hr)	93370	57550

Nilai rata-rata data aktual lebih besar karena nilai temperatur air pendinginnya lebih rendah dari data *design*. Faktor menurunnya nilai *Cleanliness Factor* ini dikarenakan air laut yang berpotensi membawa kotoran sehingga kotoran tersebut akan menyebabkan kerak di setiap tabung kondensor. Ketika tabung pada kondensor terdapat kerak, maka nilai dari *Cleanliness Factor* dan *Condensing Duty* nya pun tentu akan menurun karena air pendingin tidak akan maksimal dalam menyerap panas yang ada di dalam uap dikarenakan adanya kerak. Dan juga kondensor ini sudah 9 tahun bekerja, sehingga performanya berbeda dengan saat pertama kali beroperasi.

Air laut yang masuk ke pembangkit memiliki kandungan NaCl dan klorin, dimana kandungan ini dapat menyebabkan biota laut seperti algae hidup. Maka dari itu air

laut yang masuk harus di *treatment* terlebih dahulu agar biota laut tidak berkembang biak. Namun setelah di *treatment* masih ada saja algae yang tetap hidup dan nantinya akan menempel di tabung kondensor dan menyebabkan kinerja kondensor menurun karena perpindahan panas yang kurang maksimal.

Berdasarkan data *design* pengaruh dari laju alir, nilai *Cleanliness Factor* yang ada di PLTU Cirebon Unit 1 yaitu sebesar 90%. Apabila di rata-rata kan nilai *Cleanliness Factor* pengaruh dari laju alir pada bulan Februari, Mei, Juni, Juli, dan Agustus 2019 yaitu sebesar 83,18 %. Kinerja kondensor yang dihitung berdasarkan data aktual lebih kecil dari data *design*. Dan untuk nilai *Condensing Duty* apabila dirata-rata kan pada bulan Februari, Mei, Juni, Juli, dan Agustus 2019 yaitu sebesar 695680 Kcal/hr, dan untuk nilai data *design* nya 714346 Kcal/hr. Faktor menurunnya nilai *Cleanliness Factor* ini dikarenakan performa dari pompa yang kurang maksimal sehingga nilai laju alir air pendingin yang tidak stabil dan mempengaruhi kinerja kondensor. Kinerja pompa yang tidak maksimal juga bisa dipengaruhi oleh kavitasi dan *water hammer* yang berpotensi terjadi setiap bulannya.

4. KESIMPULAN

Nilai dari *Cleanliness Factor* dan *Condensing Duty* baik itu dari pengaruh temperatur maupun *flow* dari air pendingin yang masuk ke dalam kondensor nilainya turun dari data *design*. Nilai rata-rata *Cleanliness Factor* pengaruh dari temperatur yaitu 85,45 % dan *Condensing Duty* yaitu 715742 Kcal/hr, dan nilai rata-rata *Cleanliness Factor* pengaruh dari laju alir yaitu 83,18 % dan *Condensing Duty* yaitu 695680 Kcal/hr. Sedangkan berdasarkan data *design* nilai *Cleanliness Factor* yaitu 90% dan *Condensing Duty* yaitu 714346 Kcal/hr. Temperatur dan laju alir air pendingin yang masuk ke dalam kondensor sangatlah berpengaruh terhadap kinerja kondensor. Ketika temperatur air yang masuk ke kondensor semakin rendah dan semakin tinggi nilai laju alir air pendingin yang masuk ke kondensor maka nilai dari *Cleanliness Factor* dan *Condensing Duty* akan semakin bagus juga.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Robert J. Tramel. 2000. *Heat Rate Improvement Guidelines for Indian Power Plants Heat Rate Improvement Guidelines for Indian . Power Plants*. Amerika Serikat. USAID/India Greenhouse Gas Pollution Prevention Project (GEP).
- [2] Kelompok Bidang Pembangkitan Standardisasi. 2015. *Panduan Perbaikan Heat Rate Pembangkit Thermal Dengan Bahan Bakar Batubara*. Jakarta Selatan. PT.PLN.
- [3] Bergman, T. L., Lavine, A. S., Incropera, F. P., and Dewitt D.P. 2011. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer Sixth Edition*. John Wiley & sons, inc

- [4] J. Moran, Michael and Saphiro, Howard. 2011. "Fundamental of Engineering Thermodynamics", 7th edition, New York : John Willey & Sons, Inc.
- [5] Wuryanti, Sri. 1995. Perpindahan Panas. Bandung: Penerbit Pusat Pengembangan Pendidikan Politeknik
- [6] Murti, Sumbogo Cahyadi Budianto, Dwika Yurismo, Hari Hartadi, Toorsilo Darmawan Anam, Ahsonul Sugiono Nugroho, Yulianto S. Surjosatyo, Adi. 2015. PLTU Batubara Superkritikal Yang Efisien. Tangerang Selatan . Balai Besar Teknologi Energi