

## STUDI ANALISIS TIPE HEAT EXCHANGER TERHADAP KINERJA PEMBANGKIT LISTRIK

Erwin<sup>1\*</sup>, Yefri Chan<sup>1</sup>, Husen Asbanu<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dosen Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Darma Persada

\*Koresponden: [erwin.dosen@gmail.com](mailto:erwin.dosen@gmail.com)

### ABSTRAK

Fenomena perpindahan panas digunakan pada pembangkit listrik yang melibatkan antara dua fluida atau lebih pada proses perpindahan panasnya dengan menggunakan heat exchanger atau alat penukar panas untuk melakukan tujuan tertentu. Umumnya heat transfer dilakukan secara konduksi, konveksi, dan radiasi. Perpindahan kalor merupakan suatu proses mentransfer panas, mengubah panas, memanfaatkan panas, dan menghasilkan panas. Laju perpindahan panas bergantung antara suhu dua kondisi yang berarti jika semakin besar lajunya maka semakin besar pula nilai suhunya. Mekanisme heat transfer digunakan dalam peralatan mesin dimana panas ditransfer bertahap dengan rangkaian seri ataupun secara paralel. Dalam heat exchanger perpindahan panas secara konduksi tidak ada molekul yang berpindah dalam rasio besar karena heat transfer terjadi interaksi antar molekul secara langsung. Sedangkan dalam konveksi perpindahannya terjadi dari suhu tinggi menuju suhu rendah dikarenakan gerakan partikel dari bahan yang mengalir. Perpindahan panas konveksi juga merupakan kombinasi dari gerakan konduksi, penyimpanan, dan pencampuran. Dalam heat exchanger panas yang dilepaskan dari fluida dingin sejenis dengan yang diterima dari fluida panas dan sebaliknya sehingga terjadi kesetimbangan energi. Karya tulis ini mengkaji beberapa topik tentang jenis heat exchanger dan keterkaitannya terhadap kinerja dari pembangkit listrik diantaranya heat exchanger tipe direct contact (spray condenser) PLTP PT. X memiliki efisiensi aktual sebesar 82,35% yang lebih rendah dari efisiensi desain karena adanya exhaust press, pada pembangkit listrik PLTA memiliki alat penukar panas (kondensor) berupa shell and tube, pada pembangkit listrik PLTU memiliki jenis heat exchanger berupa shell and tube tipe sistem Organic Rankine Cycle (ORC), pada pembangkit listrik PLTU memiliki heat exchanger berjenis shell and tube, dan pembangkit listrik di PT. X memiliki jenis penukar panas berupa shell and tube tipe U-Tube..

**Kata kunci:** Heat Exchanger, Kinerja, Pembangkit Listrik

### ABSTRACT

**[Study of Heat Exchanger Type Analysis on Power Plant Performance]** The phenomenon of heat transfer is used in power plants involving two or more fluids in the heat transfer process using a heat exchanger or heat exchanger to perform certain purposes. Generally, heat transfer is carried out by conduction, convection, and radiation. Heat transfer is a process of transferring heat, converting heat, utilizing heat, and generating heat. The rate of heat transfer depends on the temperature of the two conditions, which means that the greater the speed, the greater the temperature value. Heat transfer mechanisms are used in machine tools where heat is transferred in stages

*either in series or in parallel arrangement. Inside a conductive heat exchanger, no molecules move in a large ratio because the heat transfer takes place by direct intermolecular interactions. Whereas in convection the transfer occurs from high temperature to low temperature due to particle movement of the flowing material. Convection heat transfer is also a combination of conduction, storage and mixing motion. In a heat exchanger, the heat released by the cold fluid must be equal to that received by the hot fluid and vice versa so that energy balance occurs. This paper examines several topics regarding the types of heat exchangers and their relationship to the performance of power plants, including the direct contact type heat exchanger (spray condenser) PLTP PT. X has an actual efficiency of 82.35% which is lower than the design efficiency due to the exhaust press, the hydropower plant has a shell and tube heat exchanger (condenser), the PLTU power plant has a shell and tube type heat exchanger system. Organic Rankine Cycle (ORC), the PLTU power plant has a shell and tube type of heat exchanger, and PT. X power plant has a U-Tube type of shell and tube heat exchanger.*

**Keywords:** Heat Exchanger, Performa, Power Plant

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri yang pesat juga akan membutuhkan pasokan listrik yang cukup besar dan kebutuhan ini sudah menjadi kebutuhan pokok (primer). Kebutuhan ini disuplai oleh pembangkit listrik yang berada di seluruh Indonesia. Beberapa contoh pembangkit listrik adalah PLTU dan PLTP yang menggunakan kalor sebagai sumber penghasil listriknya. Pada pembangkit listrik, perpindahan panas merupakan hal yang esensial. Perpindahan kalor merupakan proses menghasilkan kalor, menggunakan kalor, mengkonversi kalor dan memindahkan kalor karena perbedaan temperatur. Laju perpindahan kalor ini dipengaruhi oleh selisih temperatur antara kedua kondisi (lebih panas & lebih dingin). Semakin besar selisihnya, maka semakin besar laju perpindahan kalornya. Fluida panas umumnya digunakan pada pembangkit listrik untuk menggerakkan turbin yang kemudian akan menghasilkan listrik melalui generator. Untuk menaikkan dan menurunkan suhu fluida, pada pembangkit listrik terdapat alat yang bernama *heat exchanger*.

Perpindahan kalor terjadi bertahap dan biasa disalurkan dengan cara seri ataupun paralel. Perpindahan kalor bisa terjadi dengan cara konduksi, konveksi ataupun radiasi. Dalam *heat exchanger*, perpindahan kalor terjadi dengan cara konduksi dan konveksi. Keseimbangan energi pada *heat exchanger* harus terjadi, yaitu pada saat jumlah kalor yang dikeluarkan dari fluida bersuhu tinggi sama dengan jumlah kalor yang masuk ke fluida bersuhu rendah. *Heat exchanger* pada pembangkit listrik digunakan untuk meningkatkan dan mengurangi suhu fluida serta mengubah fase dari fluida. Beberapa contoh peralatan *heat exchanger* di pembangkit listrik antara lain seperti ketel uap (*boiler*), kondensor, *heater* dan lain-lain.

Terdapat beberapa jenis *heat exchanger* yang digunakan dalam bidang pembangkitan listrik. Masing-masing jenis *heat exchanger* ini memiliki prinsip hingga bentuk yang bervariasi. Oleh karena itu, studi ini disusun untuk mengetahui tipe-tipe serta efektifitas kinerja *heat exchanger* dalam proses pembangkitan listrik dengan harapan dapat memberikan wawasan serta pengetahuan terkait jenis *heat exchanger* beserta kinerjanya dalam bidang pembangkitan listrik. Melalui kinerja yang baik tentunya memberikan keuntungan bagi industri, hal ini diperkuat oleh penelitian Erwin (2017), Industri yang ingin meraih kemenangan dalam persaingan akan fokus penuh pada

kualitas yang didukung oleh kinerja. Fokus pada kualitas dan kinerja tersebut mampu memberikan dampak positif biaya operasional dan pendapatan.

## 2. METODE

Karya tulis ini mengkaji beberapa topik tentang jenis *heat exchanger* dan keterkaitannya terhadap kinerja dari pembangkit listrik. Adapun sumber yang digunakan pada kajian ini berasal dari sumber-sumber relevan dari hasil penelitian terdahulu dalam jurnal bertaraf nasional dengan rentang waktu 7 tahun terakhir.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Analisis Performa *Main Cooling Water Pump* Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) PT. X (Purbianto, dkk, 2021)

Kondensor yang digunakan di PT Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) alat alat penukar panas yaitu *Spray Condenser* tipe *Direct Contact* Unit 3. Fluida pendingin adalah air, dan fluida kerja sistem (fluida pendingin) adalah gas buang turbin uap bertekanan rendah. Kenaikan temperatur air dingin pada sistem ini akan mempengaruhi proses pengembunan pada kondensor yang akan mengakibatkan naiknya nilai tekanan pada kondensor yang akan mempengaruhi kevakuman kondensor, sehingga kinerja peralatan dari generator itu sendiri lebih rendah dari optimal. Permasalahan yang terdapat dalam penelitian ini antara lain kenaikan suhu air dingin pada sistem ini akan mempengaruhi proses kondensasi di kondensor, kemudian nilai tekanan di kondensor akan meningkat, yang akan mempengaruhi vakum kondensor, sehingga kinerja peralatan generator itu sendiri tidak optimal. Tujuan penelitian ini adalah untuk memperoleh kondisi kinerja kondensor pada temperatur dan tekanan kondensor untuk meningkatkan produktivitas kinerja turbin uap. Fungsi kondensor adalah untuk mengembunkan uap yang digunakan untuk menggerakkan turbin. Kondensor yang dipakai adalah kondensor *direct contact*, dimana air dari menara pendingin atau media kondensasi disemprotkan langsung melalui nozel kemudian kontak langsung dengan uap yang digunakan untuk memutar turbin. Uap akan dikondensasikan dan dikeluarkan oleh kondensor bersama-sama dengan media kondensasi. Uap atau gas yang tidak dapat mengembun kemudian dihisap oleh *ejector* dan disebut dengan *non condensable gass* (NCG). NCG ini biasanya mengandung 85-90% wt CO<sub>2</sub>, 3% wt H<sub>2</sub>S, dengan sisanya adalah N<sub>2</sub> dan gas lainnya.

Berdasarkan perhitungan data dan hasil analisis untuk spray condenser unit 3 PLTP PT. X, dapat disimpulkan bahwa: 1) Laju konsumsi panas turbin uap yang dirancang adalah 20.696.965 kJ/kWh, sedangkan laju konsumsi panas aktual adalah 20.046.144 KJ/kWh, atau deviasi 3,1%. Toleransi untuk *heat rate* sendiri berdasarkan ASME PTC 6, yaitu 2%. Jadi tingkat panas yang sebenarnya telah melebihi toleransi yang diberikan. Semakin tinggi nilai *heat rate* maka semakin rendah nilai efisiensi turbin karena semakin rendahnya tekanan buang dan temperatur keluar turbin. 2) Efisiensi kondensor ketika kondisi operasi aktual kurang dari data desain. Nilai efisiensi kondensor yang dirancang sebesar 89,65%, sedangkan kondisi aktual sebesar 82,35%. Kondensor dirancang lebih efisien karena kompresor berventilasi, dan kondisi ruang vakum lebih baik daripada data sebenarnya. 3) Keseimbangan energi di kondensor saat kondisi sebenarnya lebih kecil dari desain. Nilai neraca energi kondensor yang dirancang adalah 0,02721, nilai aktual 0,02505, dan selisih 0,00216. Performa sistem bekerja dengan baik pada pukul 14.00, namun pada pukul 00.00 memiliki nilai terendah. Suhu lingkungan mempengaruhi kinerja peralatan karena kebocoran isolasi di dalam dan di luar sistem. 4) Melakukan perawatan/perawatan lebih lanjut pada insulasi di dalam dan di luar sistem

agar suhu lingkungan tidak mempengaruhi kinerja peralatan untuk memaksimalkan kinerjanya dan menjaga keadaan vakum ruangan di dalam kondensor.

### 3.2. Analisis Kinerja Kondensor Pada Sistem Pendingin *Water Chiller* Kapasitas 300 TR (Akbari, dkk, 2021)

Penelitian ini dilakukan untuk menghitung efektifitas kondensor yang digunakan pada sistem pendingin di PLTA Ir. H. Djuanda. Jenis kondensor yang digunakan adalah tipe *shell & tube* yang merupakan alat penukar kalor secara tidak langsung dimana air yang berperan sebagai pendingin mengalir di dalam pipa. Sementara itu, di bagian luar pipa mengalir uap panas sehingga memungkinkan untuk terjadinya perpindahan panas fluida dari temperatur tinggi menuju temperatur rendah. Pada 16 September 2019 dilakukan pengambilan data performa dari kondensor pada waktu tertentu dan disertai oleh data faktual beban, *pressure* di kondensor, temperatur *inlet-outlet* uap *refrigerant*, serta temperatur *inlet-outlet cooling water*. Kemudian pada perhitungan efektifitas kondensor ini dilaksanakan dengan 2 metode. Metode pertama menggunakan metode LMTD (*Log Mean Temperature Different*), yaitu membandingkan kecepatan perpindahan kalor faktual dengan kecepatan perpindahan kalor maksimal dimana diperoleh nilai efektifitas paling tinggi sebesar 80% dengan tekanan 0.632 MPa. Sedangkan cara kedua dilakukan dengan menghitung NTU (*number of transfer units*) dimana diperoleh rata-rata efektifitas kondensor aktual adalah 72% dengan laju perpindahan panas yang diperoleh adalah 474,681 kW pada pukul 09.30 & 11.00 dan 593,351 kW pada pukul 13.10. Nilai-nilai efektifitas tersebut menunjukkan bahwa kinerja kondensor yang digunakan masih cukup baik karena laju perpindahan panasnya cukup untuk membuat fasa gas menjadi jenuh dan kemudian berubah fasa menjadi fasa cair.

*Heat exchanger* (kondensor) tipe *shell & tube* pada sistem *cooling* di PLTA Ir. H. Djuanda memiliki efektifitas maksimum 80% yang mana masih terdapat banyak ruang untuk dilakukan peningkatan melalui identifikasi variabel-variabel yang mempengaruhi kecepatan perpindahan kalor. Perpindahan kalor pada kondensor dipengaruhi oleh tekanan pada kondensor serta selisih suhu rata-rata *inlet steam* dan *outlet steam* dari *refrigerant & cooling water*. Semakin tinggi tekanan dan selisih suhu rata-rata inlet & outlet di kondensor, maka kecepatan perpindahan panasnya juga akan meningkat karena ini berarti semakin banyak pula uap panas yang diubah menjadi kondensat oleh kondensor. Selain 2 faktor tersebut, faktor kebersihan pipa dan *pressure drop* di dalam kondensor juga krusial dalam proses perpindahan panas. Adanya kotoran (*plugging*) pada pipa dapat menghambat aliran perpindahan panas karena dapat mengurangi jumlah kalor yang akan berpindah dan akan menyebabkan *pressure drop* yang semakin besar. Sehingga, untuk meningkatkan efektifitas kinerja kondensor di PLTA Ir. H. Djuanda dapat dilakukan melalui inspeksi dan pembersihan pipa kondensor secara rutin yang mana dapat memaksimalkan laju perpindahan kalor dengan mengurangi jumlah kotoran pada pipa.

### 3.3. Analisis Dari Kinerja Alat Penukar Kalor Bertipe *Shell and Tube* Arah Aliran *Cross Flow* Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga *Organic Rankine Cycle* Kapasitas 500 KW (Jamaludin, dkk, 2021)

Kebutuhan listrik dari waktu ke waktu kian meningkat. Sumber energi yang potensial adalah energi panas bumi. Di Indonesia, energi panas bumi mampu dimanfaatkan pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). PLTU banyak mengaplikasikan *shell and tube heat exchanger* dengan sistem *organic rankine cycle* (ORC). Penukar panas *shell and tube* merupakan penukar panas kontak tidak langsung

yang paling umum digunakan di industri (Arnaw, R. F., & Dwiyanoro, B. A., 2014). Syah (2013) melakukan penelitian kinerja *shell and tube heat exchanger* yang menggunakan parameter seperti konsumsi minyak tanah, temperatur yang keluar, koefisien perpindahan panas menyeluruh, laju perpindahan panas, NTU, dan efektifitas untuk mengontrol temperatur keluaran. Kemudian Akbar et al (2015) melakukan penelitian yang berhubungan dengan desain kondensator penukar panas *shell-and-tube* untuk sistem ORC dengan tujuan untuk menetapkan jenis fluida yang optimal.

Dari penelitian tentang penukaran panas shell and tube, belum ada yang mempelajari cross flow shell and tube heat exchanger. Menggunakan metode perhitungan LMTD dan NTU merupakan salah satu pilihan untuk menganalisis kinerja pertukaran panas. LMTD adalah metode yang terkenal dan sederhana yang memungkinkan penilaian yang sangat akurat dari kinerja termal penukar panas (Cui et al., 2014). Pada penelitian ini dilakukan analisis performansi cross-flow heat exchanger, sehingga dapat diketahui koefisien perpindahan panas secara keseluruhan dan perbedaan temperatur. Nilai rata-rata menggunakan metode LMTD, dan nilai efektifitas NTU untuk penukar panas shell and tube. Peralatan yang digunakan adalah pembangkit listrik GFZ Jerman di PLTP Lahendong, Sulawesi Utara, dengan kapasitas 500 kW.

Hasil perhitungan dan analisis data yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut: 1. Dibandingkan dengan 366,3 kW/m<sup>2</sup>.0C yang dihitung dari data rata-rata, koefisien perpindahan panas keseluruhan minimum adalah 44,21 kW/m<sup>2</sup>.0C, dimana dalam hal ini, kinerja penukar panas menuju kondisi ideal, dikarenakan semakin mengecil nilai koefisien perpindahan panas secara keseluruhan, maka semakin baik kinerja penukar panas. Dalam hal ini, rata-rata selisih aturan adalah 8.800C, memiliki persamaan nilai dengan perhitungan data awal, dengan faktor koreksi yang serupa sebesar 0,74. Faktor koreksi yang lebih besar atau mendekati satu menghasilkan perbedaan yang lebih besar dalam suhu rata-rata log (LMTD). 2. Semakin kecil selisih  $q_{\text{aktual}}$  dan  $q_{\text{max}}$  maka semakin besar nilai validitas yang dihasilkan, berdasarkan rata-rata data NTU dan hasil hitung validitas 2,8 dan 0,64. Untuk mencapai perpindahan panas maksimum dengan mengurangi koefisien perpindahan panas dengan mengubah jenis aliran dari *cross-flow* menjadi *counter-flow*.

#### **3.4 Analisis Sistem Pendingin Bearing Turbin Francis Horizontal Unit 1 dengan Daya 6,7 MW dan Putaran 750 RPM Di PLTA Pakkat PT. Energi Sakti Sentosa (Sembiring, dkk., 2022)**

*Bearing* berfungsi menjaga posisi turbin shaft tetap berada dalam satu poros (*center*) pada komponen di PLTA. Di PT. Energi Sakti Sentosa dalam pemeliharaan *bearing* turbinnya menggunakan sistem pendinginan pada *bearing* turbin, adalah pelumasan terhadap *bearing* melalui penggunaan oli. Sistem pendinginan oli pelumas dipakai pada sistem pendingin jenis *heat exchanger* bertipe *shell & tube*. Diperlukan perhitungan nilai perpindahan panas serta efisiensinya supaya dapat mengetahui hubungan antara suhu fluida panas dan fluida dingin terhadap efisiensi *cooling system bearing* turbin. Nilai perpindahan panas serta efektifitas *cooling system bearing* turbin pada PLTA Pakkat dihitung menggunakan metode perpindahan panas secara konveksi.

Dari perhitungan efisiensi sistem pendingin bantalan turbin shell and tube pada penelitian ini didapatkan efisiensi sistem pendingin bantalan turbin sebesar 75,75%. Nilai efisiensi yang diperoleh adalah 83,33% dari efisiensi penukar panas tipe shell and tube. Besar kecilnya efektifitas suatu sistem pendingin dipengaruhi oleh selisih dari suhu fluida

panas dan fluida dingin. Semakin kecil perbandingan suhu antara fluida panas dan fluida dingin yang menuju ke *cooling system*, mengakibatkan efektivitas *cooling system* akan meningkat begitupula sebaliknya. Tingkat kavitasi sangat kecil sehingga tidak menyebabkan penurunan efisiensi turbin secara drastis. Ini dalam hal efisiensi turbin masih dalam kisaran normal. Adapun untuk mengurangi kavitasi besar yang akan menyebabkan berkurangnya efisiensi di masa depan turbin tajam dan perlu memiliki mode operasi yang tepat dalam batasan teoretis tertentu, yaitu untuk menjalankan turbin aman untuk menaikkan tailstock (membuka pintu tailstock) dengan aliran air yang diatur ke dalam turbin. Dengan membandingkan dengan referensi yang ada, efisiensi sistem pendingin dipengaruhi oleh perbedaan suhu antara fluida panas dan fluida dingin, semakin kecil perbandingan suhu antara fluida panas dan fluida dingin yang masuk ke sistem pendingin, semakin besar efektivitasnya. dari sistem pendingin, dan sebaliknya. Besarnya perbedaan temperatur pada fluida juga mempengaruhi nilai perpindahan panas yang terjadi (Limbong Pajar, 2020). Hal ini diperkuat oleh penelitian Erwin, dkk., 2021, yang menerangkan bahwa dampak dari efisiensi konsumsi energi memberikan pada peningkatan kinerja dari pengelolaan lingkungan untuk keberlangsungan perusahaan.

### 3.5. Pengaruh Jumlah Plug pada High Pressure Heater (HPH) Sebagai Awal Air Umpan Boiler PLTU PT. X (Sundari, dkk., 2022)

Pada pusat pembangkit listrik seperti PLTU proses produksi energi listrik memiliki komponen utama seperti generator, turbin, kondensor, pompa, dan boiler untuk menghasilkan siklus rankine agar mendapatkan tenaga listrik. Adapun komponen pendukung salah satunya ialah *high pressure heater* (HPH), merupakan suatu alat pemanas yang dapat mengisi secara berkelanjutan air bertekanan tinggi yang menggunakan cairan pemanas hasil ekstraksi turbin berupa uap panas sebelum masuk pada *economizer* di *boiler*. *High pressure heater* mampu mengurangi waktu pemanasan pada boiler sehingga dapat menghemat *cost* dengan penggunaan bahan bakar yang dapat diminimalisir dan panas yang dihasilkan dapat dipakai dengan maksimal.

Kompartemen dalam *high pressure heater* terdiri dari sejumlah *tube bundle* pada bagian dalam dan *shell* pada bagian luar, dimana terdapat perbedaan suhu fluida antara *tube* dan *shell*. Air pengisi pada HPH berada dalam *tube* sedangkan air suhu rendah terdapat dalam *shell*, hal ini mengakibatkan perpindahan panas terjadi antara aliran fluida. Pada akhirnya, efisiensi pada *boiler* dapat tercapai dengan meningkatnya efisiensi HPH dimana hal tersebut dapat menekan biaya operasional harian PLTU. HPH merupakan bagian dari *heat exchanger* yang memiliki fungsi untuk mengubah temperatur fasa dengan memanfaatkan perpindahan kalor dari temperatur tinggi menuju temperatur rendah. Jenis *heat exchanger* berupa *shell and tube* dengan tipe *U- Tube*.

Pada Penelitian ini didasari dari suatu permasalahan pada HPH yang sering terjadi kebocoran *tube* yang mengakibatkan uap ekstraksi turbin dan air umpan tercampur dan nilai efisiensi HPH menurun. Pada *maintenance* alat sering dilakukan penambahan *plug* pada *tube* bocor sehingga hal yang mendasar dalam penelitian ini ialah menganalisis batas jumlah plug maksimal pada HPH sampai batasan dimana nilai HPH sudah tidak efisien dan perlunya *retubing*. Pada penelitian dilakukan perhitungan nilai beban kalor dilakukan untuk mengetahui laju aliran massa uap masuk dan keluar HPH. Selanjutnya dilakukan perhitungan jumlah plug maksimal dengan rumus LMTD dari parameter 1) Perhitungan koefisien konveksi fluida pendingin ( $h_i$ ) / air umpan yang berperan sebagai penyerap panas dengan nilai  $Nu = 85.453,83$ . 2) Perhitungan koefisien konveksi fluida panas ( $h_o$ ) / uap pada fluida panas dengan nilai  $h_o = 2217,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . 3) Mengetahui batas minimum perpindahan panas dengan nilai sebesar 52,72 MW.

Sehingga dapat diketahui semakin banyak *plug* terpasang maka semakin kecil luas area perpindahan panasnya, maka penambahan 1 *plug* mampu menurunkan perpindahan panas sebesar 0,01 MW. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa jumlah *plug* yang bisa ditambahkan maksimal yakni 60 *plug* tube dengan daya sebesar 9,145 MW berdasar pada jumlah batas *plug* sebanyak 10% dari desain alat dan perpindahan panas minimum untuk menyerap panas sebesar 10,229 MW.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelusuran dari berbagai referensi diperoleh bahwa :

1. *Heat exchanger* tipe *direct contact (spray condenser)* PLTP PT. X memiliki efisiensi aktual sebesar 82,35% yang lebih rendah dari efisiensi desain. Hal ini terjadi karena kondisi ruangan vakum dan *exhaust press* memiliki nilai lebih baik jika dilihat dari data aktualnya. Nilai *heat rate* melebihi toleransi saat aktual dan untuk nilai kesetimbangan energi dalam kondensor lebih kecil dari nilai desain. Perawatan/*maintenance* lebih lanjut terhadap isolasi di dalam maupun luar sistem dapat dilakukan untuk memaksimalkan kinerja dari *heat exchanger* tipe ini.
2. Pada pembangkit listrik PLTA memiliki jenis *heat exchanger* (kondensor) tipe *shell & tube*. Masalah mengenai kinerja kondensor pada sistem pendingin *water chiller*. Perpindahan kalord kondensor dipengaruhi oleh *pressure* kondensor dan selisih suhu rata-rata antara *inlet-outlet steam* dari *refrigerrant & cooling water*. Serta dapat dilakukan pembersihan pipa kondensor secara rutin yang mana dapat memaksimalkan laju perpindahan kalor. Efisiensi kondensor tipe *shell & tube* berkisar antara 72% hingga 83,33%. Untuk mendapatkan perpindahan panas maksimum dari kondensor jenis ini terdapat beberapa faktor yang harus menjadi perhatian, yaitu: 1.) Melakukan pembersihan pipa kondensor secara rutin untuk mengurangi jumlah kotoran pada pipa. 2.) Meningkatkan perbedaan suhu antara fluida dingin dan fluida panas yang masuk ke sistem pendingin.
3. Pada pembangkit listrik PLTU memiliki jenis *heat exchanger* berupa *shell and tube* dengan metode *Organic Rankine Cycle (ORC)*. Kinerja alat penukarkalor tipe *shell and tube* kemungkinan bisamendapatkan perpindahan kalor yang maksimal dengan metode mengurangi koefisien perpindahan kalornya. Yaitu dengan cara merubah jenis aliran dari *cross flow* menjadi *counter flow*.
4. Pada pembangkit listrik PLTA memiliki tipe *shell and tube (heat exchanger)*. Masalah mengenai pendingin *bearing* turbin. Efisiensi sistem pendingin dipengaruhi oleh perbedaan suhu antara fluida panas dan fluida dingin, semakin kecil selisih suhu fluida panas dengan fluida dingin yang masuk ke sistem pendingin, semakin besar efektivitasnya.
5. Pada pembangkit listrik PLTU memiliki jenis *heat exchanger* berupa *shell & tube* tipe U- Tube. Masalah pada *tube* yang sering mengalami kebocoran. Perbaikan dilakukan dengan cara pergantian *plug* pada *tube* dengan mengetahui batas minimum perpindahan panas *heat exchanger* sehingga menemukan nilai maksimal *plug* yang dapat dipasang dengan mengacu pada jumlah batas *plug* sebanyak 10% dari desainsaran dan rekomendasi.

#### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih Kami sampaikan kepada Pimpinan Fakultas Teknik Unsada dan seluruh Dosen Prodi Teknik Mesin yang telah membantu penyelesaian artikel ini.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Akbari, Ricki Fan, et al., 2021, **Analisis Kinerja Kondensor pada Sistem Pendingin Water Chiller Kapasitas 300 TR**. *Jurnal Almikanika*. Vol. 3 (4): 1-10.
2. Astuti, Sri Poernomo Sari. 2018, **Analisis Pengaruh Konsentrasi Partikel TiO<sub>2</sub> Terhadap Koefisien Perpindahan Panas Konveksi pada Penukar Kalor Pipa Ganda**. *Seminar Nasional – XVII*. 21-22 November 2018, Bandung, Indonesia. Halaman 41-48.
3. Erwin. 2017, **Konsep Perancangan Kualitas Sistem Transmisi Conveyor**, *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, Vol.2, No.2, Agustus, 2017
4. Erwin, Asbanu, H..2021, **Corporate Sustainability Improvement Strategy in Manufacturing Industry with The Use of Controls in Environmental Pollution, Quality, and Occupational Health and Safety**, *Indonesian Journal of Environmental Management and Sustainability*, Vol. 5 No. 4.
5. Jamaludin, Acep, et al., 2021, **Analisis Kinerja Alat Penukar Kalor Tipe Shell and Tube Arah Aliran Cross Flow untuk Pembangkit Listrik Tenaga Organic Rankine Cycle Kapasitas 500 KW**, *Jurnal Almikanika*. Vol. 3 (4): 39-43.
6. Mahmuddin, Muhamad Syahrir, 2016, **Karakteristik Perpindahan Panas Pada Pipa Penukar Kalor Selongsong Aliran Searah Vertikal**, *Jurnal Online Teknologi Industri*. Vol. 1 (2): 30-35.
7. Permana, Diki Ismail, M Aziz Mahardika, 2019, **Pemanfaatan Panas Buang Flue Gas PLTU dengan Aplikasi Siklus Rankine Organik**, *Jurnal Barometer*. Vol. 4 (2): 197-202.
8. Purbianto, Aditya, Bambang Setiyo Adji, 2021, **Analisis Performa Main Cooling Water Pump Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) PT X**, *Jurnal Teknik dan Informatika*. Vol. 1 (1): 88-96.
9. Saputri, Yunira Ayu, et al., 2022, **Analisis Efisiensi Heater pada Pengolahan Steam Unit 7 Pembangkit Listrik Tenaga Uap**, *Jurnal Teknologi Separasi*. Vol. 8 (1): 54-63.
10. Sembiring, Adelia F. Br, et al, 2022, **Analisis Sistem Pendingin Bearing Turbin Francis Horizontal Unit 1 dengan Daya 6,7 MW dan Putaran 750 RPM di PLTA Pakka PT. Energi Sakti Sentosa**, *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*. Vol. 3 (1): 1-12.
11. Setiawan, Syahrul Fajar, Aqli Mursadin, 2020, **Analisis Perpindahan Panas pada Ekonomiser di PLTU Pulang Pisau**, *Jurnal Rotary*. Vol. 2 (1): 1-14.
12. Sundari, Putri, et al., 2022, **Pengaruh Jumlah Plug pada High Pressure Heater (HPH) sebagai Pemanas Awal Air Umpan Boiler PT X**, *J-Proteksion*. Vol. 6 (2): 62-67.
13. Supu, Idawati, et al., 2016, **Pengaruh Suhu Terhadap Perpindahan Panas Pada Material yang Berbeda**, *Jurnal Dinamika*. Vol. 7 (1): 62-73.
14. Suyatno, et al., 2017, **Analisis Perpindahan Panas pada Heat Exchanger Tipe T147D Menggunakan Sirip Duri Bentuk Kerucut**, *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 6 (2): 63-75.
15. Titahelu, Nicolas, 2021, **Perpindahan Kalor Konveksi Natural Dari Silinder Horizontal Isothermal Set Dalam Saluran Vertikal**, *Jurnal METIKS*. Vol. 1 (1): 30-38.
16. Tupamahu, Cendy S.E., Constantius Narmo, 2021, **Pengaruh Temperatur Fluida Panas Masuk Terhadap Karakteristik Penukar Panas Shell and Tube**, *Jurnal METIKS*. Vol. 1 (1): 9-16.



17. Ziaulfata, Andre Alta, et al., 2021, ***Analisa Perpindahan Panas Pada Atap Seng Berwarna Hitam Dengan Variasi Ruang di Aceh Besar***, *Jurnal Ilmiah Teknik Unida*. Vol. 2 (2): 43-52.

