

## ANALISIS KINERJA KONDENSOR PADA SISTEM PENDINGIN WATER CHILLER KAPASITAS 300 TR

Ricki Fan Akbari<sup>1\*</sup>, Yogi Sirodz Gaos<sup>1</sup>, Tika Hafzara Siregar<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Ibn Khaldun Bogor

\*e-mail: rickifanakbari12@gmail.com

### ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Ir. H. Djuanda memiliki 6 turbin dengan kapasitas total daya terpasang sebesar 187,5 Mega Watt. PLTA Ir. H. Djuanda dapat memproduksi listrik rata-rata dalam setahun sebesar 900 juta kWh untuk didistribusikan ke PT. PLN (Persero) serta industri sekitar kawasan Jatiluhur – Purwakarta melalui jaringan transmisi 150 kV dan 70 kV. Sesuai dengan karakteristiknya, PLTA Ir. H. Djuanda juga merupakan PLTA serbaguna, dimana selain berfungsi sebagai tenaga listrik, PLTA ini juga berfungsi untuk menyediakan air irigasi, pengendalian banjir, perikanan dan pariwisata. Pada tugas akhir ini, mencakup proses perhitungan dilakukan dengan menggunakan analisa perpindahan panas dengan metode Log Mean Temperature Different (LMTD) dan NTU-Effectiveness di kondensor sistem pendingin water chiller 300 TR PLTA. Dalam perhitungan, memfariasikan beberapa hal yang berpengaruh pada efektivitas kondensor ini. Analisa perpindahan panas dan effectiveness digunakan untuk mengetahui kerja kondensor sistem pendingin water chiller pada tanggal 16 September 2019. Diambil sampling data pada saat performance test kondensor pada beberapa jam yang disebutkan dan dengan data aktual beban, tekanan kondensor, suhu (temperatur) masuk dan keluar uap refrigerant, suhu (temperatur) masuk dan keluar cooling water yang saling mendekati. Hasil yang didapat dari tugas akhir ini adalah nilai laju perpindahan panas dan effectiveness ( $\epsilon$ ) kondensor sistem pendingin water chiller 300 TR pada tanggal 16 September 2019. Pada kondensor, ditanggal 16 September 2019 pukul 09:30 WIB dan pukul 11:00 WIB diperoleh laju perpindahan panas sebesar 474,681 kW dengan efektifitas 67 %. Dan pada pukul 13:10 diperoleh laju perpindahan panas sebesar 593,351 kW dengan efektifitas 80 %. Hal ini menunjukkan bahwa keadaan kondensor cukup baik, dikarenakan uap refrigerant dapat menuju kondensor, sehingga laju perpindahan panas dan efektifitas kondensor mampu mengkondensasi steam menjadi cair.

**Kata kunci :** Efektivitas; Kondensor; Laju perpindahan panas

### ABSTRACT

*Hydroelectric Power Plant (PLTA) Ir. H. Juanda has 6 turbines with a total installed power capacity of 187.5 Mega Watts. PLTA Ir. H. Djuanda can produce an average of 900 million kWh of electricity per year to be distributed to PT. PLN (Persero) and industries around the Jatiluhur – Purwakarta area through 150 kV and 70 kV transmission networks. According to its characteristics, PLTA Ir. H. Djuanda is also a multipurpose hydropower plant, where in addition to functioning as electric power, this hydropower plant also functions to provide irrigation water, flood control, fisheries and tourism. In this final project, the calculation process is carried out using heat transfer analysis with the Log Mean Temperature Different (LMTD) and NTU-Effectiveness methods in the condenser of the 300 TR hydropower water chiller cooling system. In the calculation, varying several things that affect the effectiveness of this condenser. Analysis of heat transfer and effectiveness was used to determine the condenser work of the water chiller cooling system on September 16, 2019. Sampling of data was taken during the condenser performance test at the stated hours and with actual data on load, condenser pressure, temperature (temperature) inlet and outlet of steam. refrigerant, the temperature (temperature) entering and leaving the cooling water are approaching each other. The results obtained from this final project are the value of the heat transfer rate and the effectiveness ( $\epsilon$ ) of the 300 TR water chiller cooling system condenser on September 16, 2019. In the condenser, on September 16, 2019 at 09:30 WIB and at 11:00 WIB, the rate obtained is heat transfer of 474.681 kW with an effectiveness of 67%. And at 13:10, the heat transfer rate was 593.351 kW with 80% effectiveness. This shows that the condition of the condenser is quite good, because the refrigerant*

*vapor can go to the condenser, so that the heat transfer rate and the effectiveness of the condenser are able to condense the steam into liquid.*

**Keywords :** *Condenser; Effectiveness; Heat Transfer Rate,*

## 1. PENDAHULUAN

Kondensor adalah salah satu alat penukar panas yang sering digunakan disektor industri, pembangkit listrik (PLTU, PLTA dll) atau jika dilihat dari fungsi dan bagiannya terdiri dari bagian pipa dan digunakan untuk mengubah uap menjadi zat cair (air). Dan kondensor dapat juga diartikan sebagai alat penukar kalor (panas) yang berfungsi untuk mengkondensasikan fluida atau mendinginkan fluida. Pada penggunaannya kondensor diletakkan ruangan yang sedang didinginkan supaya panas yang keluar saat pengoperasiannya dapat dibuang keluar sehingga tidak mengganggu proses pendinginan. Kondensor sangat berpengaruh dalam industri maupun pembangkit listrik terhadap seluruh keberhasilan rangkaian proses, karna kegagalan operasi pada peralatan ini akan mengakibatkan kegagalan mekanika maupun kegagalan operasional yang dapat menyebabkan berhentinya unit operasi. Disamping itu di dalam PLTA, proses pertukaran panas penting dalam rangka konversi energi, keperluan proses, persyaratan keamanan, dan perlindungan terhadap lingkungan. Maka kondensor dituntut untuk mampu memiliki kinerja yang baik agar dapat diperoleh hasil yang maksimal serta dapat menunjang penuh terhadap suatu unit operasi. yang mengakibatkan turunnya efisiensi pada pembangkit.

### 1.1 Tujuan Penelitian

Beberapa tujuan dari penulisan ini diantaranya sebagai berikut :

1. Memperoleh hasil perhitungan sistem kinerja kondensor dengan mengetahui laju aliran air dan temperatur masuk maupun keluar yang terdapat pada kondensor
2. Mendapatkan nilai efektifitas dalam kondensor pada water chiller kapasitas pendingin 300 TR di PLTA Jatiluhur dengan menggunakan metode log mean temperature different (LMTD) dan metode Effectiveness (s) - number of transfer unit (NTU).

## 2. DASAR TEORI

### 2.1 Sistem Termodinamika

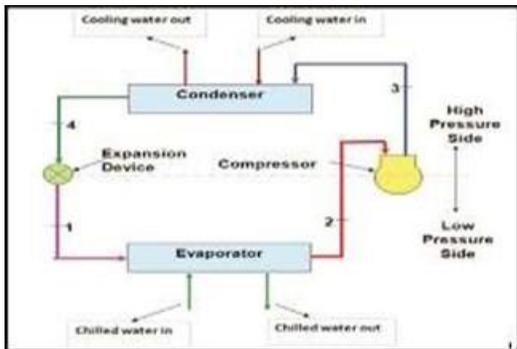
Termodinamika didefinisikan sebagai ilmu dasar mengenai energi. Energi sendiri dapat dipandang sebagai kemampuan melakukan perubahan. Termodinamika berasal dari bahasa Yunani therme yang berarti panas dan dynamis yang berarti tenaga, secara deskriptif diartikan sebagai usaha untuk mengubah panas menjadi tenaga (Cengel & Boles, 2002).

### 2.2 Water Chiller

Kinerja dari chiller ini sendiri Untuk mendinginkan udara dalam gedung sama seperti AC. Akan tetapi pada sistem ini chiller tidak langsung mendinginkan udara, melainkan mendinginkan fluida, biasanya fluida tersebut adalah air ( water ). Setelah air tersebut dingin barulah air dialirkan melalui AHU ( air handling units ). Chiller dapat di buat dengan prinsip siklus refrigerant kompresi uap. Prinsip ini sama dengan sistem refrigerasi AC biasa, hanya saja pertukaran kalor pada sistem chiller tidak mendinginkan udara. Pada evaporator terjadi penarikan kalor. Heat exchanger disini mungkin berupa pipa yang didalamnya terdapat pipa , pipa didalam mengalirkan refrigerant dan pipa kedua mengalirkan air, sehingga terjadilah perpindahan kalor. Pada pipa luar air didinginkan dengan refrigerant sehingga ketika keluaran air pada evaporator akan turun suhu dan menjadi dingin. Air dingin ini kemudian di alirkan ke AHU ( air handling unit ) untuk mendinginkan udara. Air yang keluar dari AHU suhunya menjadi naik dampak dari pendinginan udara dan mendapatkan kalor dari udara yang didinginkan tersebut. Air yang telah melewati AHU kemudian akan didinginkan kembali melalui eavaporator. komponen dari chiller ada 4 komponen utama yaitu compressor, kondensor, evaporator dan katup ekspansi.

Water chiller type shell and tube adalah alat penukar kalor atau sistem pendingin yang metodenya menggunakan air untuk sistem pendinginnya, dan banyak digunakan di berbagai

macam industri atau pembangkit listrik dan paling sederhana dibandingkan dengan alat penukar kalor lainnya. (Indra Syaputra, Agus Holid, dan Rizki Aziz, 2019)

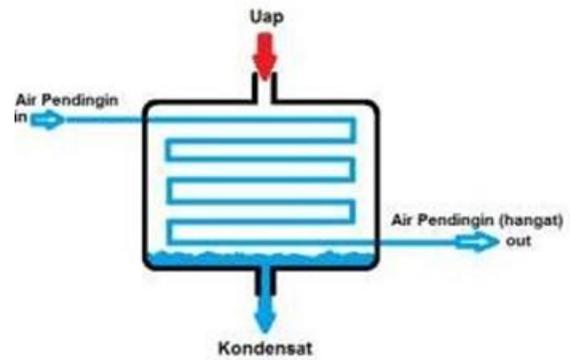


Gambar 1. Siklus chiller

### 2.3 Kondensor

Kondensor adalah peralatan yang berfungsi untuk mengubah uap menjadi air. Prinsip kerja Kondensor proses perubahannya dilakukan dengan cara mengalirkan uap ke dalam suatu ruangan yang berisi pipa-pipa (tubes). Uap mengalir di luar pipa-pipa (shell side) sedangkan air sebagai pendingin mengalir di dalam pipa-pipa (tube side). Kondensor seperti ini disebut kondensor tipe surface (permukaan). Kebutuhan air untuk pendingin di kondensor sangat besar sehingga dalam perencanaan biasanya sudah diperhitungkan. Air pendingin diambil dari sumber yang cukup persediannya, yaitu dari danau, sungai atau laut. Posisi kondensor umumnya terletak dibawah turbin sehingga memudahkan aliran uap keluar turbin untuk masuk kondensor karena gravitasi.

Laju perpindahan panas tergantung pada aliran air pendingin, kebersihan pipa-pipa dan perbedaan temperatur antara uap dan air pendingin. Proses perubahan uap menjadi air terjadi pada tekanan dan temperatur jenuh, dalam hal ini kondensor berada pada kondisi vakum. Karena temperatur air pendingin sama dengan temperatur udara luar, maka temperatur air kondensatnya maksimum mendekati temperatur udara luar. Apabila laju perpindahan panas terganggu, maka akan berpengaruh terhadap tekanan dan temperatur. (Alief Rakhman, 2013)



Gambar 2. Prinsip kerja kondensor

### 2.4 Alat Penukar Kalor

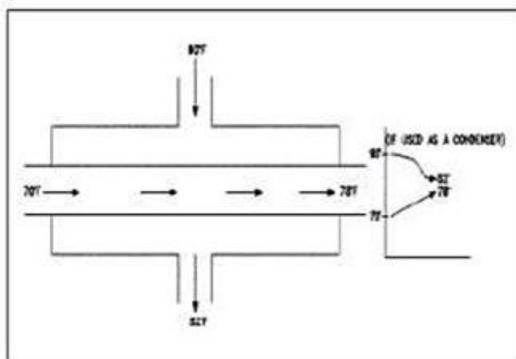
Alat penukar kalor merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk memindahkan sejumlah energi dalam bentuk panas dari satu fluida ke fluida yang lain. Perpindahan panas tersebut terjadi dari suatu fluida yang suhunya lebih tinggi ke fluida lain yang suhunya lebih rendah. Alat ini biasa digunakan pada berbagai bidang industri sebagai pendingin atau merubah fasa suatu fluida. Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) sering menggunakan alat penukar kalor terutama diaplikasikan untuk pembangkit uap, kondensor dan menara pendingin. Ada dua jenis dari alat penukar kalor yaitu alat penukar kalor kontak langsung dan tidak langsung. Tipe pipa dan kelongsong (shell and tube) merupakan alat penukar kalor tipe kontak tidak langsung dan paling sering digunakan untuk dunia industri (Dwiyantoro, 2014).

Penukar kalor jenis shell and tube (shell and tube heat exchanger) sejauh ini merupakan jenis yang paling umum untuk peralatan perpindahan kalor didalam industr kimia dan industri lainnya. Pada dasarnya, penukar jenis shell and tube terdiri dari berkas pipa (tube) yang ditutupi oleh silinder cangkang (shell). Ujung-ujung pipa dipasang tube sheet, yang memisahkan sisi shell cairan pipa (tube). Baffle merupakan bagian yang terdapat di dalam shell yang berfungsi untuk mendukung kekuatan dari segi kekakuan dan mencegah pipa mengalami perubahan bentuk akibat getaran yang disebabkan oleh aliran fluida. Baffle memiliki fungsi utama yaitu untuk mengarahkan aliran fluida ke pipa secara merata untuk mendapatkan efisiensi perpindahan panas yang lebih besar. Jenis baffle, besar potongan baffle dan sudut kemiringan baffle berpengaruh terhadap koefisien perpindahan panas dari suatu alat penukar kalor. Tujuan utama dalam desain

penukar kalor adalah menentukan luas permukaan yang dibutuhkan untuk kondisi tertentu (laju perpindahan panas) menggunakan perbedaan suhu yang tersedia (Akbar et al., 2015).

**2.4.1 Alat penukar kalor aliran silang (cross flow)**

Alat penukar kalor tipe aliran berlawanan memiliki arah aliran yang saling tegak lurus atau bersilangan. Secara termodinamik, tipe ini memiliki efisiensi perpindahan panas yang lebih rendah dari pada *counter flow*.



**Gambar 3.** Profil temperatur alat penukar kalor aliran silang

**2.5 Perpindahan Panas**

Panas adalah salah satu bentuk energi yang dapat dipindahkan dari suatu tempat ketempat lain, tetapi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan sama sekali. Dalam suatu proses, panas dapat mengakibatkan terjadinya kenaikan suhu suatu zat dan atau perubahan tekanan, reaksi kimia dan kelistrikan. Proses terjadinya perpindahan panas dapat dilakukan secara langsung, yaitu fluida yang panas akan bercampur secara langsung dengan fluida dingin tanpa adanya pemisah dan secara tidak langsung, yaitu bila diantara fluida panas dan fluida dingin tidak berhubungan langsung tetapi dipisahkan oleh sekat-sekat pemisah. Perpindahan panas secara konduksi merupakan perpindahan panas antara molekul-molekul yang saling berdekatan antara yang satu dengan yang lainnya dan tidak diikuti oleh perpindahan molekul-molekul tersebut secara fisik. Molekul-molekul benda yang panas bergetar lebih cepat dibandingkan molekul-molekul benda yang berada dalam keadaan dingin. Getaran yang cepat ini, tenaganya dilimpahkan kepada molekul

disekelilingnya sehingga menyebabkan getaran yang lebih cepat maka akan memberikan panas.

Mekanisme perpindahan panas gabungan dalam praktek biasanya pada peralatan mesin seperti penukar kalor, dimana panas berpindah secara bertahap yang dihubungkan secara seri dan kadang-kadang tiap tahap tergantung dua mekanisme perpindahan panas secara paralel. Secara umum perpindahan energi sebagai panas (perpindahan panas) dapat berlangsung secara konduksi, konveksi dan radiasi. Pada alat penukar kalor (*heat exchanger*), perpindahan panas berlangsung secara konduksi dan konveksi. Pada alat penukarkalor, keseimbangan energi harus terjadi, yaitu panas yang dilepaskan dari fluida panas sama dengan panas yang diterima oleh fluida dingin. Menurut prinsip kesetimbangan energi

$$q_h = q_c = q$$

$$q_{cw} = \dot{m}_{cw} \cdot c_p \cdot \Delta T_{cw}$$

atau

$$q_h = \dot{m}_h \cdot (h_{h, in} - h_{h, out})$$

**2.5.1 Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh**

Koefisien perpindahan panas keseluruhan merupakan fungsi dari geometri aliran, sifat-sifat fluida dan komposisi bahan alat penukar kalor. Perbedaan temperature rata-rata antara fluida secara umum merupakan fungsi dari sifat fluida dan juga aliran geometri sehingga alat penukar kalor memerlukan pertimbangan masing-masing faktor. Koefisien perpindahan panas menyeluruh didasarkan pada luasan permukaan dalam tabung dihitung pada persamaan berikut :  $AO + \Delta T$

$$U = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}\right)}$$

$$h_i = q \cdot A_i \cdot \Delta T$$

$$h_o = \frac{1}{(A_o \cdot \Delta T)}$$

**2.5.2 Pendekatan Log Mean Temperature Difference (ΔT<sub>LMTD</sub>)**

Faktor perhitungan pada alat penukar kalor adalah masalah perpindahan panasnya. Apabila panas yang dilepaskan besarnya sama dengan Q persatuan waktu, maka panas itu

diterima fluida yang dingin sebesar Q tersebut dengan persamaan :

$$Q=U.A.\Delta Tm$$

U : koefisien perpindahan panas menyeluruh(W/m<sup>2</sup>.°C)  
 A : luas bidang perpindahan panas (m<sup>2</sup>)  
 ΔTm : beda temperatur rata-rata menyeluruh(°C)

Besarnya nilai LMTD atau perbedaan temperatur rata-rata logaritma bergantung pada jenis alat penukar kalor yang digunakan, dimana pada dasarnya dibagi menjadi 3 (tiga) jenis berdasarkan arah alirannya yaitu *parallel flow* (searah), *counter flow* (berlawanan), dan *multi pass and cross flow* (*shell and tube*).  
 Persamaan untuk menghitung nilai LMTD *cross flow* yaitu :

$$\Delta LMTD_{crf} = F. \Delta LMTD_{ctf}$$

$$\Delta LMTD_{ctf} = \frac{(T_{ref,in} - T_{cw,out})(T_{ref,out} - T_{cw,in})}{\ln \frac{T_{ref,in} - T_{cw,out}}{T_{ref,out} - T_{cw,in}}}$$

atau,

$$\Delta LMTD_{crf} = F. \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\frac{\Delta T}{2}}$$

sehingga,

$$\Delta T_1 = T_{ref,in} - T_{cw,out}$$

$$\Delta T_2 = T_{ref,out} - T_{cw,in}$$

### 2.5.3 Analisis Penukar Kalor dengan Metode NTU-Efektifitas

Pendekatan LMTD dengan penukar kalor berguna bila suhu masuk dan suhu keluar dapat ditentukan dengan mudah, sehingga LMTD dapat dengan mudah dihitung. Selanjutnya aliran kalor, luas permukaan, dan koefisien perpindahan kalor menyeluruh dapat ditentukan. Bila kita menentukan temperatur masuk atau temperatur keluar, analisis akan melibatkan prosedur iterasi karena LMTD itu sesuai dengan fungsi logaritma. Analisis akan lebih mudah dilaksanakan dengan menggunakan metode yang berdasarkan atas efektifitas penukar kalor dalam memindahkan kalor tertentu. Untuk mendefinisikan efektifitas suatu penukar kalor, laju perpindahan kalor maksimum yang mungkin

terjadi, q<sub>max</sub> untuk penukar kalor itu harus ditentukan terlebih dahulu.

Untuk menentukan laju perpindahan kalor maksimum pada suatu penukar kalor, pertamanya harus dipahami terlebih dahulu bahwa nilai maksimum akan didapat bila salah satu fluida mengalami perubahan temperatur sebesar beda temperatur maksimum yang terdapat dalam penukar kalor itu, yaitu selisih antara temperature masuk fluida panas Th,i dan fluida dingin Tc,i. Fluida yang mengalami beda temperatur maksimum adalah fluida yang kapasitas kalornya minimum, karena kesetimbangan energi menyaratkan bahwa energi yang diterima oleh fluida satu harus sama dengan energi yang dilepaskan oleh fluida yang satu lagi. Jika fluida yang mempunyai nilai kapasitas yang lebih besar mengalami beda temperature maksimum, maka fluida yang satu lagi akan mengalami perubahan temperatur yang lebih besar dari maksimum, dan ini tentu saja tidak mungkin. Jadi laju perpindahan kalor maksimum dinyatakan sebagai berikut :

$$Q_{maks} = C_{min} (T_{h,in} - T_{c,in})$$

dimana C<sub>min</sub> adalah harga yang paling kecil diantara besaran m<sub>h</sub>.C<sub>ph</sub> atau m<sub>c</sub>.C<sub>pc</sub> jika m<sub>c</sub> < m<sub>h</sub> maka

$$q_{maks} = \dot{m}_c \cdot C_{pc} (T_{h,in} - T_{c,in})$$

jika m<sub>c</sub> > m<sub>h</sub>, maka

$$q_{maks} = \dot{m}_h \cdot C_{ph} (T_{h,in} - T_{c,in})$$

Sehingga

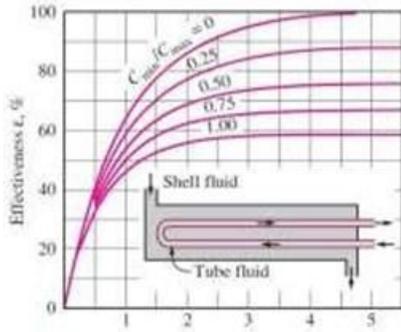
$$C = \frac{C_{min}}{C_{maks}}$$

Efektifitas suatu penukar kalor didefinisikan sebagai rasio antara laju perpindahan kalor sebenarnya untuk suatu penukar kalor terhadap laju perpindahan kalor maksimum yang mungkin. Secara umum efektifitas dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\epsilon = \frac{q}{q_{maks}}$$

Sedangkan NTU (Number Of Transfer Units) merupakan parameter yang tidak berdimensi yang secara luas digunakan dalam analisis suatu penukar kalor. Bilangan ini didefinisikan sebagai berikut :

$$\epsilon = \frac{q}{q_{maks}}$$

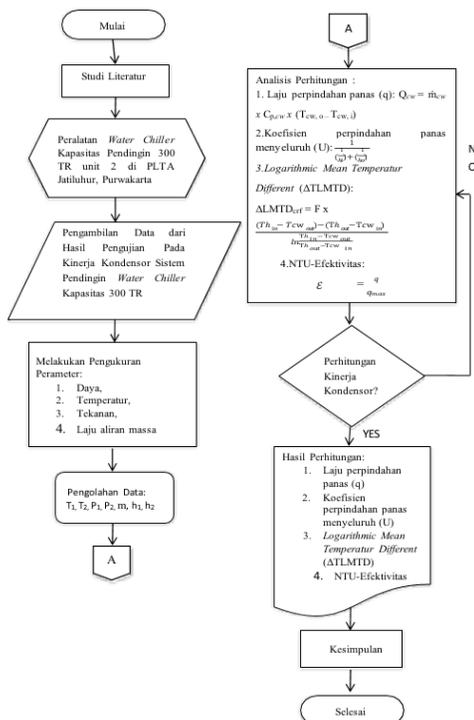


Gambar 4. Number of Transfer Units (NTU)

3. METODOLOGI PENELITIAN

Adapun data tugas akhir ini dilaksanakan di PLTA Ir. H. Djuanda Perum Jasa Tirta II untuk mendapatkan pengetahuan dan pemahaman mengenai kondensor dan laju perpindahan panas pada kondensor. Dengan studi literatur dan survey lapangan, diharapkan memperoleh data yang akurat untuk perhitungan laju perpindahan panas dengan metode *log mean temperature different* (LMTD) dan *Effectiveness* ( $\epsilon$ ) – *number of transfer unit* (NTU).

3.1 Diagram Alir



Gambar 5. Diagram alir penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Spesifikasi dan Data Aktual Pada Kondensor

Tabel 1. Condenser's Specification Design

Specification Design	
Tipe kondensor	Centrifugal
Jumlah kondensor	2 set atau 1 unit
Steam temperature (Th)	82 °C
water temperature (Tc)	60 °C
Steam flow	26686 kg/hr = 26,68 m3/hr
Tekanan absolut	962,5 Kpa
TUBE	
Diameter luar	19 mm
Diameter dalam	16,4 mm
Ketebalan	1,3 mm
Panjang	3658 mm
Jumlah (N)	Low fin
Tipe	304 Stainless stell (18 Cr, 18 Ni)
Material	
SHELL	
Material	304 Stainless stell (18 Cr, 18 Ni)
Ketebalan	20mm
Cooling Water	
Media pendingin	Water
Jumlah laluan air	two passes reverse flow
Velocity in tube (V)	1,38 m/s
water temperature (Tci)	60 °C
Cooling water flow rate (Q)	204408 kg/hr = 204,408 m3/h

Tabel 2. Data Aktual Kondensor (pada tanggal 16 September 2016 pukul 09:30,11:00 dan 13:10 WIB)

Actual Data	
Steam inlet temperature (Thi)	27,5 °C
Steam outlet temperature (Tho)	26,9 °C
Water inlet temperature (Tci)	24,5 °C
Water outlet temperature (Tco)	26,5 °C
Cooling water flow rate (Q)	204408 kg/hr = 204,408 m3/h
Tekanan absolut kondensor	962,5 Kpa

Tabel 3. Data refrigerant dan Cooling Water yang masuk dan keluar kondensor

R-134a		Cooling Water							
Tekanan (MPa)		Temperatur (°C)		Laju aliran	Kapasitas kalor	Tekanan (MPa)		Temperatur (°C)	
Ph,in	Ph,out	Th,in	Th,out	m,cw	Cp,cw	Pcw,in	Pcw,out	Tcw,in	Tcw,out
0,614	0,614	27,5	26,9	56,78	4,18	0,13	0,1	24,5	26,5
0,62	0,62	27,5	27,1	56,78	4,18	0,13	0,1	24,5	26,5
0,632	0,632	28,4	27,8	56,78	4,18	0,13	0,1	25,2	27,7

**Tabel 4.** Data Entalpi dan Temperatur yang masuk dan keluar kondensor didapatkan dari melihat p-h diagram *refrigerant* 134a

R-134a				Enthalpi	
Tekanan (MPa)		Temperatur (°C)		(kJ/kg)	(kJ/kg)
Ph,in	Ph,out	Th,in	Th,out	h1	h2
0,614	0,614	27,5	26,9	416,16	249,75
0,62	0,62	27,5	27,1	416,01	249,8
0,632	0,632	28,4	27,8	416,63	250,21

Perhitungan pada alat penukar kalor tipe *shell and tube* aliran silang (*cross flow*) dapat ditentukan berikut:

**4.2 Hasil Perhitungan Manual dari Data Rata-rata**

**4.2.1 Perpindahan Panas**

$$Q_{cooling\ water} = \dot{m}_{cw} \times C_{p,cw} \times (T_{cw, out} - T_{cw, in})$$

$$= 56,78 \times 4,18 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} (26,5^\circ C - 24,5^\circ C)$$

$$= 474,681\ kW$$

karena  $Q_{kondensor} = Q_{cooling\ water}$  maka mencari  $\dot{m}_{kon}$  dengan persamaan berikut :

$$\dot{m}_h = \frac{Q}{(h1,in - h2,out)}$$

$$= \frac{474,681\ kW}{416,16\ kg - 249,75\ kg}$$

$$= 2,85 \frac{kg}{s}$$

Hasil perhitungan manual laju perpindahan panas aktual pada data ke-1 sampai data ke-3 dapat dilihat pada gambar



**Gambar 6.** Laju perpindahan panas aktual

Dari data gambar 4.1 diatas dikarenakan temperatur cooling water masuk dan keluar kondensor bernilai sama dan menggunakan data specification design untuk laju aliran cooling water, sehingga hasil perhitungan dari data ke-1 sampai 2 menghasilkan nilai perpindahan panas aktual yang sama sebesar 474,681 kW. Sementara itu pada data ke-3 hasil dari perpindahan panas aktual sebesar 569,62 kW, dimana terjadi perbedaan suhu yang lebih besar dari data ke-1 dan 2. Dengan kata lain beda temperatur rata-rata masuk dan keluar. Kondensor mempengaruhi lajunya perpindahan panas, jika perbedaanya kecil maka laju perpindahan panasnya berkurang.

**4.2.2 Faktor Koreksi**

Karna *design condenser shell 2 & tube 2 passes* sehingga menggunakan aliran silang atau *cross flow* dengan menghitung faktor koreksi terlebih dahulu dengan persamaan 2.21 – 2.22 sebagai berikut :

$$R = \frac{T_{hin} - T_{hout}}{T_{c,out} - T_{c,in}}$$

$$= \frac{27,5 - 26,9}{26,5 - 24,5}$$

$$= \frac{0,6}{2}$$

$$= 0,3$$

$$P = \frac{T_{c,out} - T_{c,in}}{T_{hin} - T_{cin}}$$

$$= \frac{26,5 - 24,5}{27,5 - 24,5}$$

$$= \frac{2}{3}$$

$$= 0,6$$

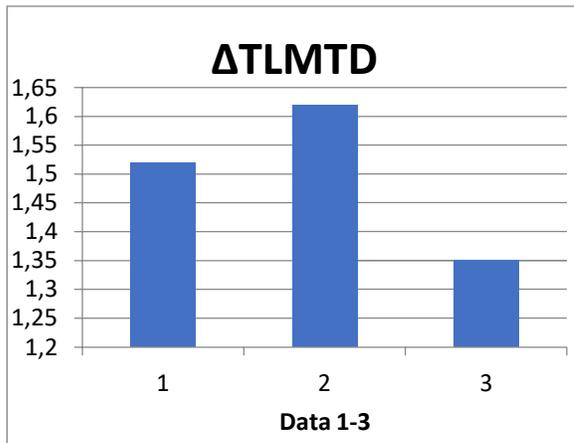
Sehingga faktor koreksi dapat diketahui dengan melihat gambar grafik 2.6, didapat  $F = 0,95$ .

Perhitungan faktor koreksi aktual dapat dilihat pada gambar 4.2 sebagai berikut:



**Gambar 7.** Faktor koreksi aktual

**4.2.3 Beda Temperatur Rata-rata Logaritma(LMTD)**



**Gambar 8.** Perbedaan Temperatur Rata-rata Logaritma Untuk Aliran *Cross Flow*

**4.2.3 Beda Temperatur Rata-rata Logaritma(LMTD)**

Koefisien perpindahan pasas menyeluruh dapat diketahui dengan menggunakan persamaan 2.18 – 2.20. Untuk mendapatkan nilai ini maka kita harus menghitung luas permukaan perpindahan kalor terlebih dahulu sehingga didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut :

$$A_i = \pi \cdot D_i \cdot L \cdot N$$

$$= 3,14 \times 0,0164 \text{ m} \times 3,658 \text{ m} \times 472$$

$$= 88,9 \text{ m}^2$$

$$A_o = \pi \cdot D_o \cdot L \cdot N$$

$$= 3,14 \times 0,019 \times 3,658 \times 472$$

$$= 103 \text{ m}^2$$

$$h_i = \frac{Q}{A_i \cdot \Delta T_{m,ctf}}$$

$$= \frac{474,681 \text{ kW}}{88,9 \text{ m}^2 \times 1,52 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$= \frac{135,13}{1,52} \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}}$$

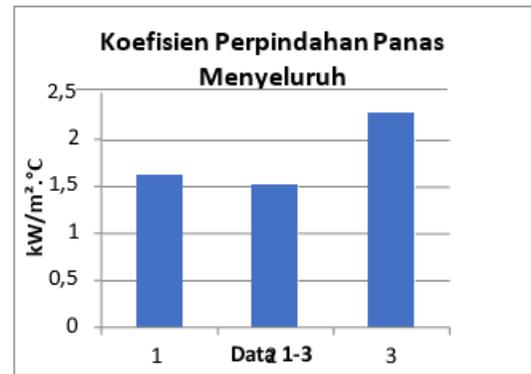
$$= 3,513 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$h_o = \frac{Q}{A_o \cdot \Delta T_{m,ctf}}$$

$$= \frac{474,681 \text{ kW}}{103 \text{ m}^2 \times 1,52 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$= \frac{156,56}{1,52} \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$= 3,03 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}}$$



**Gambar 9.** Grafik Perpindahan Panas Menyeluruh

**4.2.4 Analisis Effektivitas**

Efektivitas suatu alat penukar kalor didapat dengan membandingkan antara laju perpindahan kalor aktual dengan laju perpindahan kalor maksimum yang mungkin terjadi. Sebelum menentukan besar efektivitas terlebih dahulu mencari perpindahan kalor maksimum. Efektivitas dapat ditentukan dengan persamaan 2.27 – 2.31.

$$\dot{m}_{cw} \cdot C_{p,cw} = 56,78 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{ }^\circ\text{K}}$$

$$= 237,34 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \text{ (C}_{\min})$$

$$\dot{m}_{h,kon} \cdot C_{p,h} = 474,27 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \text{ (C}_{\max})$$

$$Q_{\max} = \dot{m}_{cw} \cdot C_{p,cw} (T_{h, \text{in}} - T_{cw, \text{in}})$$

$$= 56,78 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{ }^\circ\text{C}} \times (27,5 \text{ }^\circ\text{C} - 24,5 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$= 237,34 \frac{\text{kJ}}{\text{s} \cdot \text{ }^\circ\text{K}} \times (3 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$= 712,02 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

$$f = \frac{Q}{Q_{\max}}$$

$$= \frac{474,681 \text{ kW}}{712,02 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}$$

$$= 0,67$$

$$C = \frac{C_{\min}}{C_{\max}}$$

$$= \frac{237,34 \frac{\text{kJ}}{\text{s} \cdot \text{ }^\circ\text{K}}}{474,64 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}$$

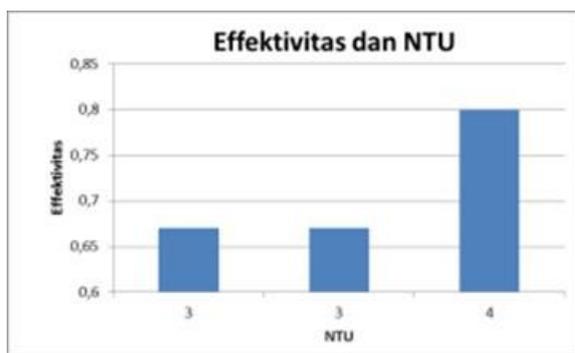
$$= 0,50$$

Dari hasil perhitungan data ke-1 , efektvitas *shell and tube* terhitung sebesar 0,67. Sehingga untuk mengetahui efektifitas pada *shell and tube* yang mendekati satu dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



**Gambar 10.** Grafik efektifitas( $\epsilon$ ) dan tekanan kondensor

Berdasarkan gambar 4.5 grafik efektifitas dan tekanan Kondensor diatas diketahui bahwa efektifitas terbesar atau mendekati nilai satu terjadi pada data ke-3, dimana  $q_{aktual}$  mendekati nilai  $q_{maks}$ , semakin kecil perbedaan nilai  $q_{aktual}$  dan  $q_{maks}$ , maka semakin besar juga nilai efektifitas yang dihasilkan. Sehingga hal ini menyatakan bahwa tekanan Kondensor bukan penyebab utama dari efektifitas dari kondensor itu sendiri dimana salah satu penyebab naik turunnya tekanan pada kondensor yaitu proses kondensasi uap refrigerant 134a menjadi kondensat water. Semakin cepat suatu kondensor melakukan proses kondensasi yang merubah uap menjadi air kondensat maka tekanan kondensor semakin tinggi.



**Gambar 11.** Hubungan NTU dan Effektivitas

terkecil/terbesar dari  $\dot{m}_{cw} \cdot C_{p_{cw}} / \dot{m}_{h,kon} \cdot q_{h,kon}$  diketahui, maka NTU (*Number Of Transfer Units*) dapat ditentukan dengan melihat gambar grafik 2.7, sehingga :

Pada Gambar 4.6 diatas dapat dibuktikan semakin besar nilai NTU, maka semakin besar

nilai efektifitas yang dihasilkan. Hal ini dapat terjadi karena nilai dari NTU sendiri berasal dari nilai Q, LMTD, dan  $C_{min}$

## 5. KESIMPULAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan data dari laju perpindahan panas dan efektifitas yang cukup baik. Hal ini menunjukkan bahwa kinerja kondensor cukup baik, karena uap *refrigerant 134a* dapat dengan mudah menuju kondensor, sehingga laju perpindahan panas dan efektifitas kondensor mampu mengkondensasi uap menjadi cair.

Dari hasil analisis perhitungan, ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Perhitungan aktual yang didapat dari data rata-rata tekanan kondensor, perbedaan temperatur uap panas *refrigerant 134a* dan temperatur *cooling water* yang masuk dan keluar kondensor pada tanggal 16 September 2019 pukul 09:30 WIB, 11:00 WIB dan 13:10 WIB diketahui bahwa tekanan kondensor yang paling optimal yaitu data ketiga pukul 13:10 senilai 0.632 MPa. Hal ini dikarenakan dari perhitungan  $q_{maks}$  yang mana perbedaan selisih dari temperatur masuk uap *refrigerant* dan temperatur masuk *cooling water* yang lebih besar dibandingkan dengan data pertama maupun kedua. Sehingga efektifitas kondensor mencapai 0.8 atau 80 %
2. Laju perpindahan panas pada kondensor dipengaruhi oleh kondisi tekanan kondensor dan perbedaan selisih suhu rata-rata antara temperatur masuk dan keluar dari uap *refrigerant* maupun *cooling water*. Dari perhitungan data aktual kondensor, diketahui bahwa semakin tinggi tekanan kondensor, maka laju perpindahan panas semakin meningkat.
3. Dari ketiga data yang dihitung secara manual nilai rata-rata efektifitas kondensor aktual dengan yaitu sebesar 0,72 atau 72 % menunjukkan bahwa kondensor masih dalam keadaan normal.

## 5.2 Saran

Pada perhitungan laju perpindahan panas dan efektifitas kondensor water chiller di PLTA Jatiluhur ini belum begitu sempurna. Ini dikarenakan beberapa parameter yang tidak diikutkan dalam perhitungan, seperti pressure drop, plugging factor, dan beberapa zona yang terdapat di kondensor. Selain itu keterbatasan data yang diperoleh dari pengoperasian kondensor di PLTA Jatiluhur, sehingga membuat data yang dianalisis menggunakan data aktual, menggunakan asumsi-asumsi tertentu dan beberapa menggunakan data spesifikasi, seperti pada laju aliran massa pada sisi air pendingin, kapasitas aliran air pendingin, dan faktor koreksi yang mempengaruhi laju perpindahan panas, dan lain-lain. Sehingga menyebabkan ketidak akuratan data.

Semoga pada analisis kondensor water chiller PLTA Jatiluhur selanjutnya mampu memberikan hasil yang lebih akurat. Selain itu, semoga tugas akhir ini mampu menjadi referensi kepada peneliti lain untuk menganalisis performa kondensor, serta memberikan manfaat bagi pihak PLTA Ir. H. Djuanda Perum Jasa Tirta II untuk mengetahui kondisi kondensor dari waktu ke waktu selain dengan adanya pengambilan sampling performance test yang dilakukan dalam jangka waktu beberapa jam dan beberapa hari dalam satu bulan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abu Bakar, Zahra Fadhilah. 2020. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) : Pengertian, Komponen, dan Pengelolaan. <https://foresteract.com/pembangkit-listrik-tenaga-air/>. (18 Januari 2020)
- Yunus A. Cengel, Michael A. Boles. (2015). Thermodynamics: An Engineering Approach Eighth Edition in SI Units.
- Indra Syaputra, Agus Holid, dan Rizki Aziz, 2019. Pengujian Dan Perhitungan Performance Water Cooled Chiller Tipe Shell And Tube Kapasitas 0.14 TR Pada Aplikasi Cold Storage. Jurnal Teknologi 6(2): hal 2
- Rakhman, Alief, 2013. Prinsip Kerja Kondensor. <https://rakhman.net/power-plants-id/prinsip-kerja-kondensor/>. (10 April 2013)

Dwiyantoro, R. P. A. dan B. A. (2014). Studi Numerik Pengaruh Baffle Inclination pada Alat Penukar Kalor Tipe Shell and Tube, 3(2).

Suswanto, Mustaqim, Agus Wibowo, 2015. Perpindahan Panas Pada Heat Exchanger Dobel Pipa Dengan Sirip Berbentuk Siku Empat. Jurnal Teknologi 10(1): hal 2