



## STUDI KINERJA *PLATE HEAT EXCHANGER* PADA SISTEM PENDINGIN PLTGU

Ridho Walikrom<sup>1</sup>, Abdul Muin<sup>2\*)</sup>, Hermanto<sup>3</sup>

<sup>2,3</sup> Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tridinanti Palembang.

<sup>1</sup> Mahasiswa (S1) Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tridinanti Palembang.

Jln. Kapten Marzuki No. 2446 Kamboja Palembang, Indonesia

\*)Email: [amuin7959@gmail.com](mailto:amuin7959@gmail.com)

### INFORMASI ARTIKEL

Submitted:  
12/06/2018

Accepted:  
13/07/2018

Print-Published:  
16/07/2018

### ABSTRAK

Salah satu cara agar sebuah pembangkit (PLTGU) beroperasi dengan maksimal yaitu dengan menjaga efektivitas peralatan bantu yang dipergunakan tetap bersih dari faktor pengotoran. Pada sebuah PLTGU, salah satu alat bantu pendinginan adalah penukar kalor tipe pelat Plate Heat Exchanger (PHE) yang mempergunakan air sebagai fluida pendingin, penggunaan air yang tidak bersih dapat menurunkan efektivitas alat akibat adanya faktor pengotoran. Disini penelitian telah dilakukan untuk mengetahui efektivitas alat penukar kalor tipe pelat sebelum dan sesudah dilakukan pembersihan akibat pengotoran oleh fluida pendingin. Pengambilan data dilakukan secara langsung berupa data operasional secara langsung dan juga melalui manual book. Perhitungan efektivitas dilakukan dengan menggunakan metode Number of Turbidity Unit (NTU). Dari hasil perhitungan Efektivitas yang diperoleh sebelum dilakukan pembersihan sebesar 83% sedangkan setelah pembersihan sebesar 85%, disini dengan adanya pembersihan memberikan kenaikan efektivitas PHE sebesar 2%.

**Katakunci:** Efektivitas, plate heat exchanger, metode NTU

### ABSTRACT

A plant (PLTGU) to operate with the maximum is to maintain the effectiveness of equipment used to keep clean of the pollutant factor. In a PLTGU, one of the cooling aids is a Plate Heat Exchanger (PHE) plate heat exchanger that uses water as a cooling fluid, the use of unclean water can decrease the effectiveness of the equipment due to the impurity factor. Here a study has been conducted to determine the effectiveness of the plate type heat exchanger before and after cleaning due to contamination by the cooling fluid. Data retrieval is done directly in the form of operational data directly and also through manual book. Calculation of effectiveness is done by using the method of Number of Turbidity Unit (NTU). From the calculation of the effectiveness obtained before the cleansing of 83%, while after cleaning by 85%, here with the cleanup gives an increase of PHE effectiveness by 2%.

**Keywords:** Effectivites, plate heat exchanger, NTU method

## 1. PENDAHULUAN

Alat penukar kalor (*Heat Exchanger*) merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk menukarkan kalor dari suatu fluida ke fluida lain yang memiliki perbedaan suhu, penukaran kalor tersebut dapat terjadi melalui kontak langsung

maupun secara kontak tidak langsung. Fluida yang bertukar dapat berupa fluida yang sama fasanya (cair ke cair atau gas ke gas) atau dua fluida yang berbeda fasanya. Karena fungsinya yang sangat penting, maka alat ini digunakan secara luas dalam dunia industri. Ada banyak macam alat penukar kalor

berdasarkan bentuknya antara lain *Plate Heat Exchanger*(PHE).

*Plate Heat Exchanger* (PHE) adalah salah satu jenis *Heat Exchanger* yang terdiri dari pelat (*plate*) dan rangka (*frame*), dimana proses perpindahan kalor terjadi diantara kedua fluida pada sisi pelat *heat exchanger*.

Suatu alat penukar kalor sangat berpengaruh dalam keberhasilan dalam keseluruhan rangkaian proses, karena dengan adanya kegagalan operasi alat ini baik kegagalan mekanik maupun operasional maka dapat menyebabkan berhentinya operasi unit. Oleh karena itu sebuah alat penukar kalor (*Heat Exchanger*) dituntut untuk memiliki kinerja yang baik agar dapat diperoleh hasil yang maksimal serta dapat menunjang penuh terhadap suatu unit yang sedang beroperasi.

Seiring berlangsungnya sistem pendinginan pada PLTGU (Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap), maka akan menimbulkan permasalahan yang sering dihadapi pada kondisi operasi yaitu penurunan performansi pada *plate heat exchanger* yang dipengaruhi pengotoran oleh fluida, oleh karena itu setiap terjadinya penurunan performansi *Plate Heat Exchanger* harus segera dilakukan pembersihan pada *stainer* maupun pembersihan pada PHE itu sendiri agar dapat terhindar dari kerugian produksi. Oleh karena itu, analisis perhitungan performansi pada *plate heat exchanger* sangat diperlukan untuk meninjau kembali kinerja *plate heat exchanger* di PLTGU agar tetap dapat mempertahankan suhu kerjanya serta menentukan waktu yang tepat untuk melakukan perawatan pada *heat exchanger*.

## 1.1 Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor adalah ilmu yang memperkirakan terjadinya perpindahan energi yang disebabkan oleh adanya perbedaan suhu di antara benda atau zat dan bagaimana energi berpindah dari suatu benda ke benda lain dengan memperkirakan laju perpindahan yang terjadi pada kondisi- kondisi tertentu.

Terdapat tiga cara perpindahan kalor dari sumber ke penerima, namun sebagian besar aplikasi dari teknik perpindahan kalor adalah kombinasi dua atau ketiganya. Cara tersebut adalah perpindahan kalor konduksi dan konveksi, kadang-kadang juga radiasi.

### 1.1.1. Perpindahan Kalor secara Konduksi

Perpindahan kalor secara konduksi adalah proses perpindahan kalor dimana kalor mengalir dari daerah yang berkalor tinggi ke daerah yang berkalor rendah dalam suatu medium (padat, cair

atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung sehingga terjadi pertukaran energi.

### 1.1.2. Perpindahan Kalor secara Konveksi

Konveksi adalah perpindahan kalor karena adanya gerakan/aliran pencampuran dari bagian kalor ke bagian yang dingin. Contohnya adalah hilangnya kalor dari radiator mobil karena hembusan udara, pendinginan dari secangkir kopi oleh udara dan lain-lain. Menurut cara menggerakkan alirannya, perpindahan kalor konveksi diklasifikasikan menjadi dua, yakni konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*). Bila gerakan fluida disebabkan karena adanya perbedaan kerapatan karena perbedaan suhu, maka perpindahan kalornya disebut konveksi bebas (*free / natural convection*). Bila gerakan fluida disebabkan oleh gaya paksa dari luar, misalkan dengan pompa atau kipas sehingga fluida mengalir di atas permukaan, maka perpindahan kalornya disebut konveksi paksa (*forced convection*).

### 1.1.3. Perpindahan Kalor Radiasi

Perpindahan kalor radiasi adalah proses dimana kalor mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah jika benda-benda itu terpisah didalam ruang, bahkan jika terdapat ruang hampa diantara benda-benda tersebut.

## 1.2. Pengertian *Heat Exchanger*

Alat penukar kalor banyak digunakan pada berbagai instalasi industri, antara lain pada : boiler, kondensor, cooler, cooling tower. Sedangkan pada kendaraan adalah radiator yang pada dasarnya berfungsi sebagai alat penukar kalor.

Tujuan perpindahan kalor di dalam proses industri diantaranya adalah :

- a) Memanaskan atau mendinginkan fluida hingga mencapai kalor tertentu yang dapat memenuhi persyaratan untuk proses selanjutnya.
- b) Mengubah keadaan (fase) fluida : destilasi, evaporasi, kondensasi, dan lain-lain.

Proses perpindahan kalor tersebut dapat terjadi secara langsung maupun tidak langsung.

- 1) Pada alat penukar kalor langsung, fluida panas akan bercampur secara langsung dengan fluida dingin (tanpa adanya pemisah) dalam suatu bejana atau ruangan tertentu. Contohnya pada cooling tower untuk mendinginkan air pendingin kondensor pada

sistem pendingin utama pembangkit listrik, dimana antara air kalor yang didinginkan oleh udara sekitar saling berkontak langsung.

- 2) Pada alat penukar kalor tidak langsung, fluida kalor tidak berhubungan langsung dengan fluida dingin. Jadi proses perpindahan kalor itu mempunyai media perantara, seperti pipa (*tube*), pelat atau peralatan jenis lainnya. Biasanya bahan permukaan pemisah dipilih dari bahan-bahan yang memiliki konduktivitas termal tinggi.

### 1.2.1 Klasifikasi Alat Penukar Kalor

Adapun klasifikasi dari alat penukar kalor dapat dibagi dalam beberapa kelompok yaitu :

- Berdasarkan konstuksinya
  - 1) Tabung (*tubular*)
  - 2) Plate-Type
  - 3) Extended Surface
  - 4) Regenerative
- Berdasarkan pengaturan aliran
  - 1) Single Pass
  - 2) Multi Pass
- Berdasarkan jenis aliran
  - 1) Aliran Berlawanan Arah (*Counter Flow*)
  - 2) Aliran Sejajar (*Parallel Flow*)
  - 3) Aliran Silang (*Cross Flow*)
- Berdsarkan banyaknya laluan
  - 1) Seluruh *Cross-Counter Flow*
  - 2) Seluruh *Cross-Parallel Flow*
  - 3) *Parallel Counter Flow*
- Berdasarkan mekanisme perpindahan kalor
  - 1) Konveksi satu fasa (dengan konveksi paksa atau ilmiah)
  - 2) Konveksi dua fasa (dengan konveksi paksa atau ilmiah)
  - 3) Kombinasi perpindahan kalor
- Berdasarkan fungsinya dapat digolongkan pada beberapa nama :
  - 1) Exchanger : Memanfaatkan perpindahan kalor diantara dua fluida proses. (*steam* dan air pendingintidak termasuk fluida proses)
  - 2) Heater : berfungsi memanaskan fluida proses dan sebagai bahan pemanas alat ini menggunakan *steam*.
  - 3) Cooler : Berfungsi mendinginkan fluida proses, dan sebagai bahan pendingin digunakan air.
  - 4) Condensor : Berfungsi untuk mengembunkan uap atau menyerap kalor laten penguapan.
  - 5) Boiler : Berfungsi untuk membangkitkan uap.
  - 6) Reboiler : Berfungsi sebagai pensuplai

kalor yang diperlukan *bottom product* pada distilasi. Steam biasanya digunakan sebagai media pemanas.

- 7) Evaporator : Berfungsi memekatkan suatu larutan dengan cara menguapkan airnya.
- 8) Vaporizer : Berfungsi memekatkan cairan selain dari air.

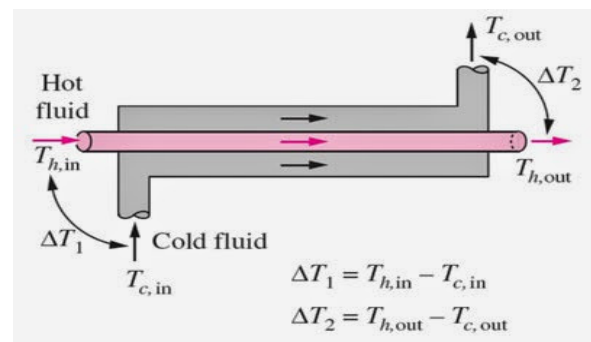
Adapun bentuk dari alat penukar kalor pada industri antara lain :

1. Alat Penukar Kalor *Shell* dan *Tube*
2. Alat Penukar Kalor *Coil* dan *Box*
3. Alat Penukar Kalor *Double Pipe*
4. Alat Penukar Kalor tipe *Plate*

### 1.2.2. Klasifikasi Penukar Kalor Berdasarkan Susunan Aliran Fluida

Susunan aliran fluida disini dimaksudkan adalah berapa kali mengalir sepanjang penukar kalor sejak saat masuk hingga meninggalkannya serta bagaimana arah aliran relatif antara kedua fluida (aliran sejajar/*parallel*, berlawanan arah/*counter* atau bersilangan/*cross*)

#### a) Pertukaran panas dengan aliran searah (*ParallelFlow*)

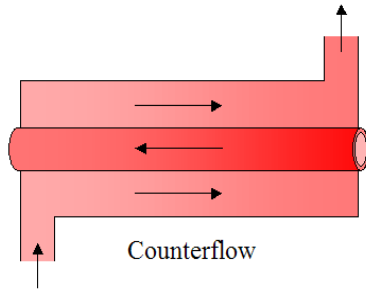


Gambar 1. Paralel flow pada Heat Exchanger

Yaitu apabila arah aliran dari sisi masuk dan keluar kedua fluida di dalam alat penukar panas adalah sejajar dan searah.

#### b) Pertukaran panas dengan aliran berlawanan arah (*Counter Flow*)

Yaitu apabila kedua fluida mengalir dengan arah yang saling berlawanan dan keluar pada sisi yang berlawanan.



Gambar 2. Counter flow pada Heat Exchanger.

c) **Pertukaran panas dengan aliran silang (Cross flow)**

Arah aliran kedua fluida saling bersilangan. Dimana satu fluida mengalir tegak lurus dengan fluida yang lain.

1.3. **Plate Heat Exchanger**

Berdasarkan profil konstruksi permukaannya, *heat exchanger* yang banyak digunakan pada bidang industri antara lain *heat exchanger* tipe tabung dan pipa (*shell and tube*), *heat exchanger* tipe pipa bersirip (*tube with extended surfaces / fins and tube*), dan *heat exchanger* tipe pelat (*plate heat exchanger*).

*Plate heat exchanger* adalah suatu alat penukar kalor yang terdiri dari pelat (*plate*) dan rangka (*frame*). Pada *plate heat exchanger*, pelat disusun dengan susunan tertentu, sehingga terbentuk dua jalur yang disebut dengan *hot side* dan *cold side*. *Hot side* dialiri dengan cairan dengan suhu relatif lebih panas dan *cold side* dialiri dengan cairan dengan suhu relatif lebih dingin. Fluida cair yang digunakan sebagai medium bisa dari jenis yang sama atau lain, misalnya air-air, air-minyak.

Fluida panas dan fluida pendingin akan mengalir dengan arah yang berlawanan pada kedua sisi pelat. Aliran fluida akan dapat diatur dengan menempatkan *gasket* diantara kedua pelat. Dengan memvariasikan posisi dari *gasket*, fluida akan dapat disalurkan diantara kedua pelat atau melewatinya. Selain itu, *gasket* juga berfungsi untuk mencegah kebocoran pada *plate heat exchanger*. Jumlah dan ukuran pelat yang digunakan pada *plate heat exchanger* akan ditentukan dari laju aliran yang terjadi, sifat-sifat fluida dan suhu yang dibutuhkan. Pada dasarnya *plate heat exchanger* merupakan susunan pelat yang ditekan diantara 2 pelat *cover* seperti yang terlihat pada gambar 2.4. Pelat tersebut akan dihubungkan dengan *gasket*. Celah antar pelat sekitar 1,3 mm – 1,5 mm. Plat terbuat dari *Stainless steel* dikarenakan

ketahanannya pada temperature tinggi, kekuatan, dan tahan korosi.

1.4. **Perhitungan pada Plate Heat Exchanger**

1.4.1. **Perhitungan Perpindahan Kalor**

Bilangan Reynolds

$$Re_d = \frac{x G_v}{\mu_v}$$

dengan:

$$G_v = \frac{Q}{A}$$

$$Q = \dot{m}_h \times v_g$$

$$\dot{m}_{ch} = \dot{V}_{ch} \times \rho$$

$$\mu_v = v_g \times \mu$$

dimana :

$Re_d$  = Bilangan Reynolds

X = jarak vertikal antar *port* / panjang pelat(m)

$\mu_v$  = viskositas dinamik (kg/m.s)

$G_v$  = kecepatan massa fluida (m/s)

$v_g$  = *specific volume*(m<sup>3</sup>/kg)

$\dot{V}_{ch}$  = volume alir massa fluida panas dan dingin (m<sup>3</sup>/hr)

$\dot{m}_{ch}$  = laju aliran massa fluida panas dan

$\rho$  = densitas (kg/m<sup>3</sup>)

Bilangan Nusselt

$$Nu = 0,023 \times Re_d^{0,8} \times Pr^n$$

di mana:

Nu = angka Nusselt

n = 0,33 untuk fluida panas

n = 0,40 untuk fluida dingin bilangan Prandtl

Perhitungan koefisien perpindahan panas

$$h_{ch} = \frac{L \times Nu_{ch}}{k_{ch}}$$

Dimana

$h_{ch}$  = koefisien perpindahan panas fluida (W/m<sup>2</sup>.°C)

L = panjang susunan pelat (m<sup>2</sup>)

k = konduktivitas termal fluida (W/m.°C)

1.4.2. **Beda temperatur rata-rata untuk aliran berlawanan arah**

Beda temperatur efektif :

$$Q_r = \Delta T_{LMTD} UA$$

Dimana :

$Q_r$  = laju perpindahan panas total (kW)

$U$  = koefisiensi perpindahan panas keseluruhan ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

$A$  = total luas perpindahan panas ( $m^2$ )

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{h,in} - T_{c,out}) - (T_{h,out} - T_{c,in})}{\ln(T_{h,in} - T_{c,out}) / (T_{h,out} - T_{c,in})}$$

Dimana :

$T_{h,in}$  = temperatur fluida panas masuk ( $^\circ C$ )

$T_{h,out}$  = temperatur fluida panas keluar ( $^\circ C$ )

$T_{c,in}$  = temperatur fluida dingin masuk ( $^\circ C$ )

$T_{c,out}$  = temperatur fluida dingin keluar ( $^\circ C$ )

### 1.4.3. Koefisien perpindahan panas keseluruhan

$$\frac{1}{u} = \frac{1}{h_h} + \frac{t}{k_p} + \frac{1}{h_c} + R_f$$

Dimana :

$U$  = koefisien perpindahan panas keseluruhan ( $^\circ C$ )

$h_h, h_c$  = koefisien perpindahan panas film untuk fluida ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

$R_f$  = faktor pengotor ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

$t$  = tebal pelat (m)

$k_p$  = konduktivitas termal pelat ( $W/m \cdot ^\circ C$ )

### 1.4.4. Efektivitas heat exchanger metode NTU

$$NTU_{max} = \frac{U \cdot A}{C_{min}}$$

Dengan,

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

Dan

$$C_{ch} = \dot{m}_{ch} \cdot C_{p, ch}$$

Dimana :

$C_r$  = perbandingan laju kapasitas panas

$C_c$  = kapasitas panas fluida dingin (kJ/s)

$C_h$  = kapasitas panas fluida panas (kJ/s)

$\dot{m}_c$  = laju aliran massa fluida dingin (kg/s)

$\dot{m}_h$  = laju aliran massa fluida panas (kg/s)

$C_{p,c}$  = nilai kalor jenis fluida dingin (kJ/kg. $^\circ C$ )

$C_{p,h}$  = nilai kalor jenis fluida panas (kJ/kg. $^\circ C$ )

### 1.5. Keuntungan Plate Heat Exchanger

Keuntungan dari *heat exchanger* jenis pelat mulai dengan desainnya. *Heat exchanger* jenis pelat efisiensi lebih besar, biaya yang lebih rendah, pemeliharaan dan pembersihan lebih mudah, dan

semakin dekat pendekatan temperatur dibanding teknologi lainnya. Berikut ini keuntungan dari PHE, antara lain :

1. Desain yang lebih ringkas dengan biaya modal yang lebih rendah.
2. Alar penukar panas jenis ini alirannya berlawanan arah sehingga memiliki efisiensi yang terbaik dibanding jenis aliran menyilang banyak laluan dan aliran yang menyilang tanpa sekat-sekat.
3. Penukar panas jenis pelat dapat memindahkan panas secara efisien.
4. Laju korosi rendah
5. Fleksibel dalam pemeliharaan aliran.

### 1.6. Kerugian Plate Heat Exchanger

Adapun kelemahan atau kerugian yang terdapat pada Plate Heat Exchanger ini adalah sebagai berikut :

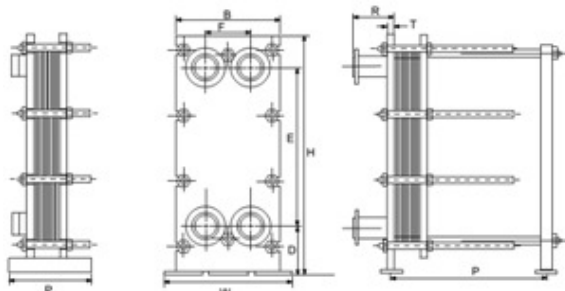
1. Pelat merupakan bentuk yang kurang baik untuk menahan tekanan.
2. *Plate Heat Exchanger* tidak sesuai digunakan untuk tekanan lebih dari 30 bar.
3. Pemilihan material gasket yang sesuai sangatlah penting.
4. Maksimum temperatur operasi terbatas hingga 250  $^\circ C$  dikarenakan material gasket yang tidak sesuai.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

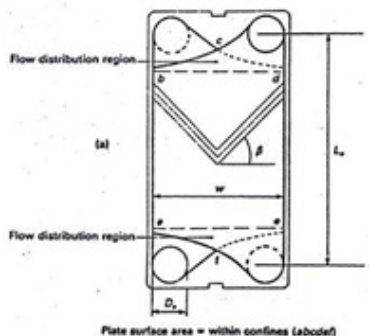
### 2.1. Alat dan Bahan Penelitian

Analisis desain dan performansi *plate heat exchanger* (PHE) menggunakan *data sheet* yang telah diperoleh, dimana dalam data tersebut terdapat data-data yang digunakan, seperti data operasional *plate heat exchanger* yang diamati terkait jenis fluida yang digunakan serta temperatur dan tekanan fluida pada kondisi operasional serta laju aliran fluidanya.

Data desain secara mekanik yang meliputi spesifik teknik dari *plate heat exchanger* yang merupakan dimensi serta ukuran dari desain *plate* maupun dimensi ukuran *plate heat exchanger* secara keseluruhan serta jenis material dari *plate* yang digunakan pada *plate heat exchanger type DX-20DSHV*.



Gambar 3. Spesifikasi teknik PHE



Gambar 4. Gasket PHE

2.1. Data Spesifikasi Teknik

Tabel 1. Datasheet spesifikasi teknik dari plate heat exchanger type DX-20DSHV :

Plate Material	A240-316L (Stainless Steel)
Tebal plate, t (m)	0,0006
Sudut Chevron, $\beta$ (degree)	45
Jumlah Plate, Nt	225
Jumlah Pass	One Pass/Single Pass
Heat Transfer Area, Ae (m <sup>2</sup> )	132,46
Diameter Port, Dp (m)	0,2
Panjang Susunan Plate, Lc = P (m)	2,193
Jarak Vertikal antar Port, Lv = E (m)	0,79
Jarak Horizontal antar Port, Lh = F (m)	0,37
Konduktivitas thermal pelat, (W/m.C)	16,5
Flow rate river water, $\dot{V}$ (m <sup>3</sup> /hr)	450
Flow rate demineralized water, $\dot{V}$ (m <sup>3</sup> /hr)	420
B (m)	0,78
H (m)	1,415
W (m)	0,95

2.2. Parameter-parameter untuk pengambilan data saat HE beroperasi

Data-data pendukung yang diambil yaitu sebagai berikut :

- 1) Temperatur inlet (cold water) yaitu temperatur air yang dipompakan oleh Auxiliary Circulating Water Pump (ACWP) dari basin Cooling Tower (CT)
- 2) Temperatur outlet (cold water) yaitu temperatur air keluar dari HE menuju kembali ke basin CT.
- 3) Temperatur inlet (Hot Water) yaitu temperatur air yang dipompakan oleh Closed Cooling Water Pump (CCWP) dari Closed Cooling Water (CCW) Tank menuju HE yang sebelumnya telah mendinginkan peralatan berupa : Steam Turbine Generator (STG) Cooler, Steam Turbine (ST) Oil Cooler, Boiler Feed Pump (BFP) Cooler, Condensat Pre Heater (CPH) recirculation Pump, Gas Turbine Generator (GTG) Cooler, Gas Turbine (GT) Oil Cooler, sampling rack, air compressor.
- 4) Temperatur outlet (Hot Water) yaitu temperatur air keluar HE menuju peralatan tersebut diatas.
- 5) Turbidity di basin CT yaitu tingkat kekeruhan air sungai sebagai fluida pendingin.

2.3. Metode Penelitian

Metode pengumpulan data sebagai berikut:

1. Metode Observasi, dilakukan dengan mendatangi perusahaan serta melihat secara langsung kegiatan dalam perusahaan tersebut dalam mencari data-data yang diperlukan untuk perhitungannya.
2. Metode Wawancara, dilakukan dengan tanya jawab langsung kepada teknisi, operator maupun supervisor yang bersangkutan agar mendapat gambaran yang lebih jelas data spesifik yang akan dicari.
3. Analisa Permasalahan, dilakukan dengan arahan dosen pembimbing sehingga analisa dapat diambil kesimpulan dan saran perbaikan yang sesuai dengan disiplin ilmu teknik mesin.

Tabel 2. Hasil pengambilan data (aliran fluida)

No.	Parameter	Hasil Perhitungan	
		Fluida Dingin	Fluida Panas
1	Bilangan Reynold	10189,21	10704,96
2	Bilangan Prandtl	4,87	4,25
3	Bilangan Nusselt	69,18	62,29
4	Koefisien Perpindahan Panas $h_{ch}$ (W/m <sup>2</sup> K)	243,91	215,80
5	Beda temperature rata-rata $\Delta T_{LMTD}$ (°C)	6	

6	Koefisien perpindahan panas keseluruhan U (W/m <sup>2</sup> K)	1114,8
7	Laju perpindahan panas total Q <sub>r</sub> (kW)	886

Tabel 3. Hasil pengambilan data heat exchanger

Parameter	1	2	3	4	5
T <sub>cin</sub> (°C)	32, 59	32, 88	32, 44	32, 24	32, 19
T <sub>cout</sub> (°C)	39, 56	39, 36	39, 64	39, 79	39, 88
Th <sub>in</sub> (°C)	46, 81	45, 81	45, 91	46, 09	46, 31
Th <sub>out</sub> (°C)	42, 79	42, 88	42, 69	42, 92	42, 59
Aliran fluida dingin (kg/s)	12 5	12 5	12 5	12 5	125
Aliran fluida panas (kg/s)	11 6,6 7	11 6,6 7	11 6,6 7	11 6,6 7	116 ,67
ΔT <sub>LMTD</sub> (°C)	8,7	8,1	8,1	8,3	8,3
ΔT <sub>h</sub> = T <sub>hin</sub> - T <sub>hout</sub> (°C)	4,0 2	2,9 3	3,2 2	3,1 7	3,7 3
ΔT <sub>c</sub> = T <sub>cout</sub> - T <sub>cin</sub> (°C)	6,9 7	6,4 8	7,2 7	7,5 5	7,6 9
NTU <sub>max</sub>	0,3 55	0,3	0,3	0,2 93	0,2 93
E <sub>NTU</sub> (%)	81	82	82	83	83
Turbidity (NTU)	96	90	90	74	69

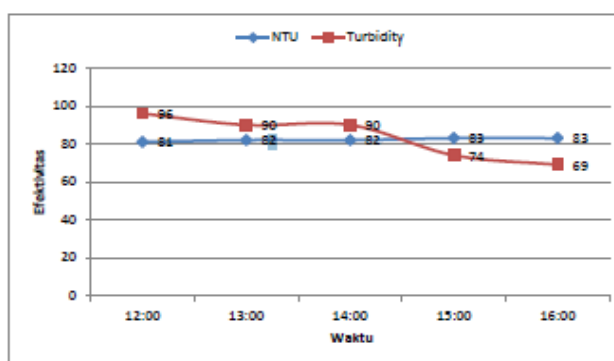
Parameter	1	2	3	4	5
T <sub>cin</sub> (°C)	32, 08	32, 04	32, 94	32	32, 69
T <sub>cout</sub> (°C)	36, 98	36, 84	36, 89	36, 84	37, 46
Th <sub>in</sub> (°C)	42, 46	42, 31	41, 34	41, 41	42, 09
Th <sub>out</sub> (°C)	38, 46	38, 22	38, 18	37, 78	37, 61
Aliran fluida dingin (kg/s)	12 5	12 5	12 5	12 5	125
Aliran fluida panas (kg/s)	11 6,6 7	11 6,6 7	11 6,6 7	11 6,6 7	116 ,67
ΔT <sub>LMTD</sub> (°C)	4	4,0 9	3,1 6	3,6 3	4,4 8
ΔT <sub>h</sub> = T <sub>hin</sub> - T <sub>hout</sub> (°C)	4,9	4,8	3,9 5	4,4 8	4,7 7
ΔT <sub>c</sub> = T <sub>cout</sub> - T <sub>cin</sub> (°C)	6,0 1	2,4 7	5,3 4	5,1 5	4,7 7
NTU <sub>max</sub>	0,3 0	0,2 8	0,2 8	0,2 7	0,2 7

E <sub>NTU</sub> (%)	82	84	84	85	85
Turbidity (NTU)	93	90	87	62	58

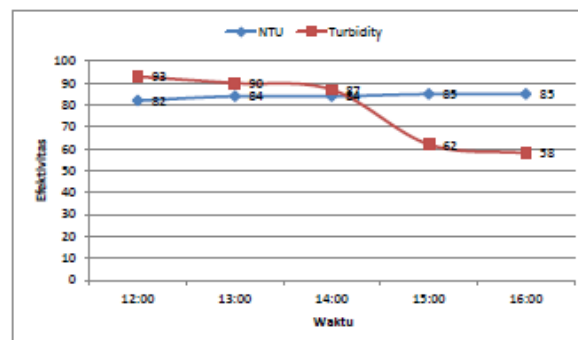
### 3. HASIL DAN DISKUSI

Berdasarkan perhitungan data menunjukkan bahwa PHE pada saat sebelum dilakukan pembersihan memiliki efektivitas lebih rendah dibanding setelah dilakukan pembersihan. Hal ini dipengaruhi karena adanya pengotoran pada PHE tersebut. Pengotoran yang terjadi pada sisi pelat alat tersebut dikarenakan oleh faktor *turbidity* (tingkat kekeruhan air) yang tinggi, dalam hal ini yang kita perhatikan adalah *turbidity* air sungai karena digunakan sebagai fluida pendingin.

Semakin tinggi *turbidity*nya akan semakin rendah efektivitas alat yang bekerja karena penumpukan kotoran didalam pelat HE semakin cepat dan semakin banyak. Selain faktor *turbidity*, kita juga dapat mengamati perbedaan antar temperatur *outlet hot water* sebelum dan setelah dibersihkan mengalami penurunan. Ini terjadi karena luas permukaan area perpindahan panas dalam hal ini berupa pelat semakin besar karena telah dilakukan pembersihan sehingga perpindahan panas antara dua fluida semakin cepat.



Gambar 5. Perbandingan nilai Efisiensi terhadap NTU dan Turbidity Sebelum dibersihkan



Gambar 6. Perbandingan nilai Efisiensi terhadap NTU dan Turbidity setelah dibersihkan

Gambar 5 dan 6, mengilustrasikan saat PHE sebelum dibersihkan efektivitas tertinggi yang didapat yaitu 83% dengan *turbidity* terendah 69 NTU, sedangkan pada saat setelah dilakukan pembersihan efektivitas tertinggi meningkat menjadi 85% dengan *turbidity* terendah 58 NTU. Jadi dengan adanya pembersihan pada pelat HE tersebut terjadi peningkatan efektivitas sebesar 2% dengan mengabaikan *turbidity* air tersebut.

- Suhu pelat absorber diassumsikan =  $(110 - 130) ^\circ\text{C}$

- Diassumsikan kerugian kalor keluar kotak ( $q_l$ ) = 12%  $I_r$

Kotak kompor dibuat berukuran (0,5m x 0,5m) dengan tinggi didepan 0,26 m dan dibagian belakang 0,35m. Absorber terbuat dari pelat aluminium yang di cat hitam dengan luas dibagian dasar masing (0,16m x 0,43m), (0,25m x 0,38m) dan (0,30m x 0,43m), untuk mengurangi kerugian kalor dipergunakan isolasi dengan tebal 6 cm ditempatkan dibagian bawah dan dibagian sisi-sisi kiri dan kanan.

Sebuah panel cermin datar dengan tebal 3 mm berukuran 0,43m x 0,43m diletakan dibagian sisi atas kotak sebagai reflektor energi radiasi surya. Reflektor bertujuan untuk meningkatkan jumlah radiasi surya yang masuk kedalam kotak dan ditangkap oleh absorber, dengan demikian keberadaan reflektor dapat meningkatkan efisiensi kompor surya. Dibagian permukaan atas kotak diletakan kaca transaran dengan tebal 3 mm.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

##### 4.1. Kesimpulan, yang didapat berupa:

1. Hasil perhitungan pada saat PHE sebelum dibersihkan efektivitas tertinggi yang didapat yaitu 83% dengan *turbidity* terendah 69 NTU.
2. Pada saat setelah dilakukan pembersihan efektivitas tertinggi meningkat menjadi 85% dengan *turbidity* terendah 58 NTU
3. Dengan dilakukannya pembersihan pada PHE dapat meningkatkan efektivitas sebesar 2% dengan mengabaikan *turbidity* air.

##### 4.2. Saran

1. Memasang *flow meter* pada *inlet hot water* dan *inlet cold water* pada PHE.
2. Melakukan kalibrasi alat ukur yang berkaitan dengan PHE terutama pada alat ukur *turbidity* air sungai.
3. Membuat *water treatment plant* khusus untuk air penambah CT basi

#### DAFTAR PUSTAKA

- Holman, J.P. 2010. “*Heat Transfer*”, 10th ed., Debuque, USA : McGraw-Hill.
- Incopera, Frank. P., Bergman, Theodore. L., Lavine, Andrienne. S., Dewitt, David. P. 2011. “*Fundamentals of Heat and Mass Transfer 7th ed*”, Jhon Willey & Son Inc, USA: Mps,Ltd.
- Incopera, Frank. P., Bergman, Theodore. L., Lavine, Andrienne. S., Dewitt, David. P. 2007. “*Fundamentals of Heat and Mass Transfer 6th ed*”, RR Donnelly, USA: Ingrao Associates.
- Egeten, Harlan. S. F., Sappu, Frans. P., Maluegh, Benny. 2014. *Efektivitas penukar kalor tipe plate P41 73TK di PLTP Lahendong*. Universitas Sam Ratulangi
- Ogata, T. 2012. *Operation and Maintenance Closed Cooling Water Heat Exchanger. Keramasan power plant Extention Project*. Japan : Marubeni Corporation
- Cengel, Yunus. A. 2002. “*Property Tables and Chart (SI Units) Booklet Thermodynamics*