



PERFORMANCE ANALYSIS OF HEAT EXCHANGER OIL COOLER UPPER TYPE M10-BFG IN UNIT 1,2,3,4 HEPP SINGKARAK FOR MAINTENANCE MEASURES

ANALISIS PERFORMA HEAT EXCHANGER OIL COOLER UPPER TIPE M10-BFG PADA UNIT 1, 2, 3, 4 PLTA SINGKARAK UNTUK TINDAKAN PEMELIHARAAN

Mukhnizar¹, Risal Abu², Afdal³, Azmil Azman⁴, Didik Agung Nugroho⁵

^{1,2} Fakultas Teknik dan Perencanaan, Teknik Mesin, Universitas Ekasakti

E-mail: mukhnizarkurni39@gmail.com¹

Diterima tanggal 23 Februari 2023, disetujui tanggal 13 Mai 2023

ARTICLE INFO

Correspondent:

Mukhnizar
mukhnizarkurni39@gmail.com

Key words:

heat exchanger, oil cooler, maintenance, Singkarak Hydro Powerplant

Website:

<https://idm.or.id/JSCR/index.php/JSCR>

page: 176 - 187

ABSTRACT

Heat Exchanger is equipment used to carry out the process of exchanging heat between two fluids, either liquid (hot or cold) or gas, where these fluids have different temperatures. Singkarak hydropower plant also uses a plate type heat exchanger with the code M10-BFG in operation. Serves to exchange heat in the oil used in the upper oil pot, which functions as a cooler and lubricant for the upper bearing and thrust bearing. Seeing the function of the upper and thrust bearings, which are two important bearings in the unit. A good maintenance process is needed on the plate heat exchanger to maintain the condition of the oil at working temperature, which is at 45-55 °C. Through this research, the authors analyzed the performance of the M10-BFG plate heat exchanger with the parameters of the actual heat transfer coefficient and monthly temperature trends. After doing research with quantitative methods through data collection and data processing, it was found that unit 4 has the highest actual heat transfer coefficient of 875.666-900.574 W, but has the shortest usage time, for 42 days based on the existing trending temperature. This is because in unit 4 the oil flow (870-900 l/minute) is below standard, and the size of the heat exchanger plate (55 cm) has shrunk far from the initial value (63 cm). So it is necessary to carry out corrective maintenance on unit 4. Meanwhile, the lowest actual heat transfer coefficient is found in unit 1 with a value of 706.797-770.027 W and the longest plate heat exchanger usage time is in unit 3, with an estimated 121 days before reaching the 55 °C alarm.

Copyright © 2023 JSCR. All rights reserved.

INFO ARTIKEL	ABSTRAK
Koresponden Mukhnizar mukhnizarkurni39@gmail.com Kata kunci: heat exchanger, oil cooler, pemeliharaan, PLTA Singkarak Website: https://idm.or.id/JSCR/index.php/JSCR hal: 176 - 187	<i>Heat Exchanger</i> merupakan peralatan yang digunakan untuk melakukan proses pertukaran kalor antara dua fluida, baik cair (panas atau dingin) maupun gas, dimana fluida ini mempunyai temperatur yang berbeda. Di PLTA Singkarak dalam operasinya juga menggunakan <i>heat exchanger</i> dengan tipe <i>plat</i> dengan kode M10-BFG. Berdungsi untuk melakukan pertukaran kalor pada oli yang digunakan pada <i>oil pot upper</i>, yang berfungsi sebagai pendingin serta pelumas <i>upper bearing</i> dan <i>thrust bearing</i>. Melihat fungsi <i>upper</i> dan <i>thrust bearing</i> yang merupakan dua <i>bearing</i> yang penting didalam unit. Diperlukan proses pemeliharaan yang baik pada <i>plate heat exchanger</i> untuk menjaga kondisi oli dalam temperature kerja, yaitu pada 45-55 °C. Melalui penelitian ini penulis melakukan analisis performa <i>plate heat exchanger</i> tipe M10-BFG dengan parameter koefisien perpindahan panas aktual dan <i>trending</i> temperatur bulanan. Setelah dilakukan penelitian dengan metode kuantitatif melalui pengambilan data dan pengolahan data, didapatkan hasil bahwa unit 4 memiliki koefisien perpindahan panas aktual tertinggi sebesar 875,666-900,574 W, namun memiliki waktu pemakaian terpendek, selama 42 hari berdasarkan <i>trending</i> temperature yang ada. Hal ini dikarenakan pada unit 4 flow oli (870-900 l/menit) sudah dibawah standard, serta ukuran <i>plate heat exchanger</i> (55 cm) sudah menyusut jauh dari nilai awal (63 cm). Sehingga perlu dilakukan <i>corrective maintenance</i> pada unit 4. Sedangkan koefisien perpindahan panas aktual terendah terdapat pada unit 1 dengan nilai 706,797-770,027 W dan waktu pemakaian <i>plate heat exchanger</i> terlama pada unit 3, dengan perkiraan 121 hari sebelum mencapai alarm 55 °C. Copyright © 2023 JSCR. All rights reserved.

PENDAHULUAN

Heat Exchanger merupakan peralatan yang digunakan untuk melakukan proses pertukaran kalor antara dua fluida, baik cair (panas atau dingin) maupun gas, dimana fluida ini mempunyai temperatur yang berbeda. *Heat Exchanger* banyak digunakan di berbagai industri tenaga atau industri lainnya dikarenakan mempunyai beberapa keuntungan, yaitu salah satunya konstruksi sederhana, biaya yang digunakan relatif murah dan fleksibilitas ruang dalam penempatannya.

PLTA Singkarak juga menggunakan beberapa *heat exchanger* untuk menunjang peralatan didalam unitnya. PLTA Singkarak merupakan PLTA yang terletak di Nagari Asam Pulau Kecamatan 2x11 Kayu Tanam, Padang Pariaman. Memiliki 4 buah unit pembangkit dengan kapasitas setiap pembangkitnya sebesar 43.75 MW, sehingga total berkontribusi sebanyak 175 MW setiap hari untuk menunjang kebutuhan listrik di jaringan Sumatera. PLTA Singkarak ini telah berdiri sejak 1998 hingga sekarang tetap

handal untuk menyuplai pasokan listrik di jaringan Sumatera, hal ini bisa terjadi salah satunya karena adanya peralatan pendukung yang mumpuni.

Salah satu peralatan pendukung yang ada di PLTA merupakan *heat exchanger*. Digunakan di beberapa tempat untuk mendukung kinerja *generator* unit secara optimal, yaitu pada *oil cooler upper* yang terletak di lantai 3 *power house* PLTA Singkarak, kemudian *air cooler generator* yang terletak di sekeliling generator pada lantai 3 dan pada *oil cooler lower* yang terletak pada lantai 2.

Fungsi *heat exchanger* ini sangat vital untuk keberlangsungan operasi unit. Contohnya adanya *oil cooler upper heat exchanger* dengan tipe M10-BFG bertujuan untuk memindahkan kalor dari oli yang telah digunakan untuk pelumasan serta media penghantar panas pada *bearing upper* dan *thrust bearing*. Oli berjenis Mobile DTE Light bersirkulasi secara terus menerus ketika unit sedang beroperasi, oli dengan suhu tinggi keluar dari *oil pot upper* menuju *plate heat exchanger (oil cooler upper)* yang kemudian dengan adanya fluida (air) lain yang memiliki suhu lebih rendah pada aliran sebaliknya di *plate heat exchanger*, maka terjadi lah perpindahan kalor dari oli ke air. Sehingga oli yang sudah turun suhunya bisa dikembalikan lagi ke dalam *oil pot*.

Namun terkadang proses pertukaran kalor tersebut tidak bisa berjalan dengan sesuai sehingga memicu kenaikan temperature pada *upper* dan *thrust bearing*. Bila hal ini dibiarkan terjadi dapat memicu unit trip, bahkan parahnya bisa menimbulkan kerusakan pada *bearing*, yang mana berakibat pada penggantian *bearing* serta menimbulkan waktu *breakdown maintenance* yang tidak diinginkan. Oleh karenanya diperlukan data koefisiensi perpindahan panas aktual yang terjadi di *cooler*, prediksi pembersihan *cooler* dst. Sehingga dapat menyimpulkan performa *oil cooler* pada setiap unitnya.

Dengan adanya data koefisien perpindahan panas aktual tiap *cooler*, maka teknisi dapat memperkirakan kapan PHE dinyatakan sudah tidak mampu memindahkan kalor sesuai kebutuhan unit dan tindakan apa yang akan dilakukan ke *cooler* tersebut. Setiap *cooler* type M10-BFG pada PLTA Singkarak secara *default* memiliki jumlah rangkaian plat 157 buah. Beriring dengan waktu rangkaian plat tersebut mengalami penyusutan, sehingga diperlukan juga analisa pertambahan atau pengurangan jumlah plat untuk penyesuaian di unit dalam keadaan tertentu. Diperolehnya hasil penelitian ini, dapat diproses data-data untuk pemeliharaan lebih lanjut pada setiap unitnya.

METODE PENELITIAN

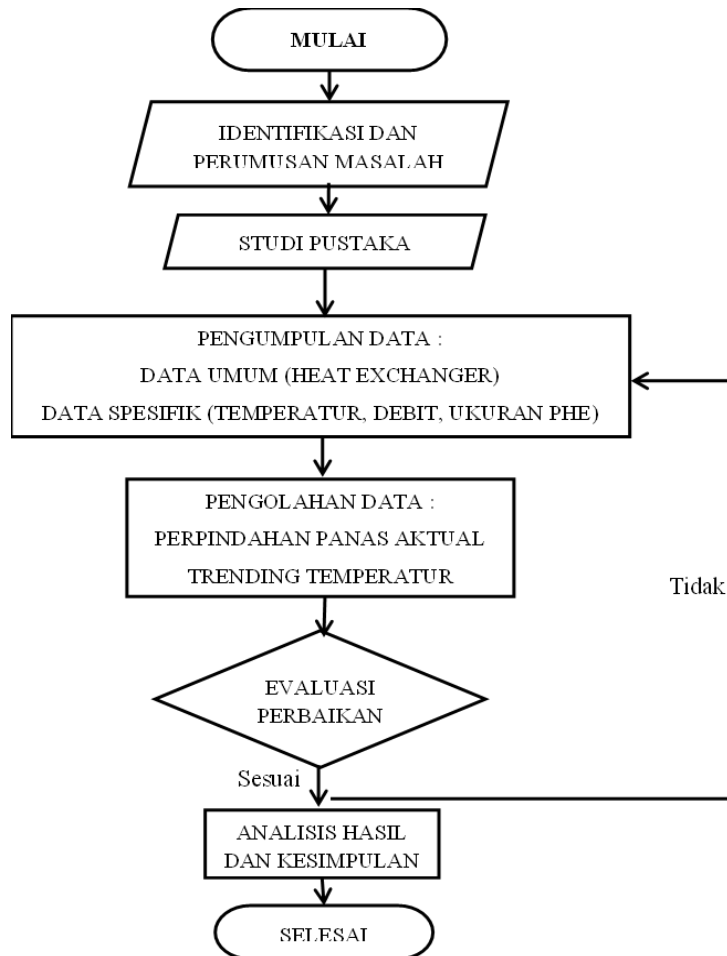
Dengan menggunakan metode deskriptif, komparatif dan korelasi penulis akan menganalisis kinerja peralatan dan kegagalan peralatan, yaitu menganalisa tingkat efisiensi pertukaran kalor yang terjadi, apakah mampu untuk memindahkan kalor sesuai dengan standar yang diinginkan. Sehingga mampu mendukung kinerja unit secara handal. Metodologi penelitian didasarkan pada analisis nilai efisiensi tiap plat yang terlewati serta mengacu juga pada ukuran *heat exchanger* yang ada di setiap unit PLTA Singkarak.

Tempat dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan di Unit PLTA Singkarak khususnya pada peralatan *Heat Exchanger* di *Oil Cooler Upper*. PLTA Singkarak sendiri berada di Asam Pulau, Kayu Tanam, Padang Pariaman, Sumatera Barat. Direncanakan waktu penelitian yaitu dilaksanakan pada bulan April-Juli 2022.

Alur Penelitian

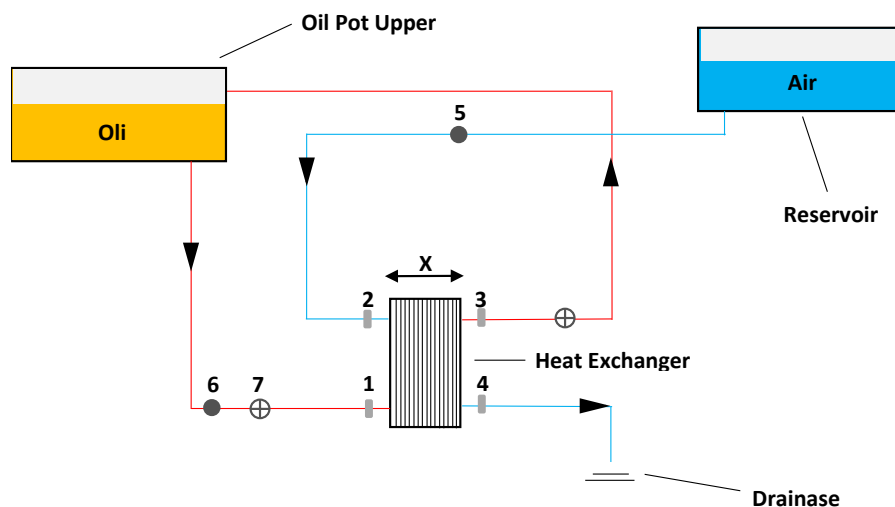
Pada gambar 1 terdapat alur penelitian yang akan digunakan oleh penulis.



Gambar 1. Alur Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Posisi Titik Pengukuran



Gambar 2. Diagram Posisi Titik Pengukuran

Keterangan:

Pembacaan temperatur

1. Temperatur oli panas (fluida panas in)
2. Temperatur air dingin (fluida dingin in)
3. Temperatur oli dingin (fluida panas out)
4. Temperatur air panas (fluida dingin out)

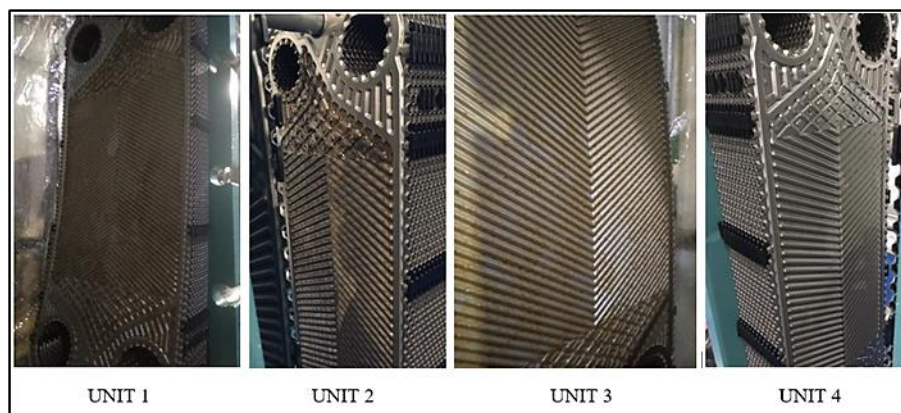
Pembacaan debit fluida

5. Debit air masuk (m³/s)
6. Debit oli masuk (m³/s)

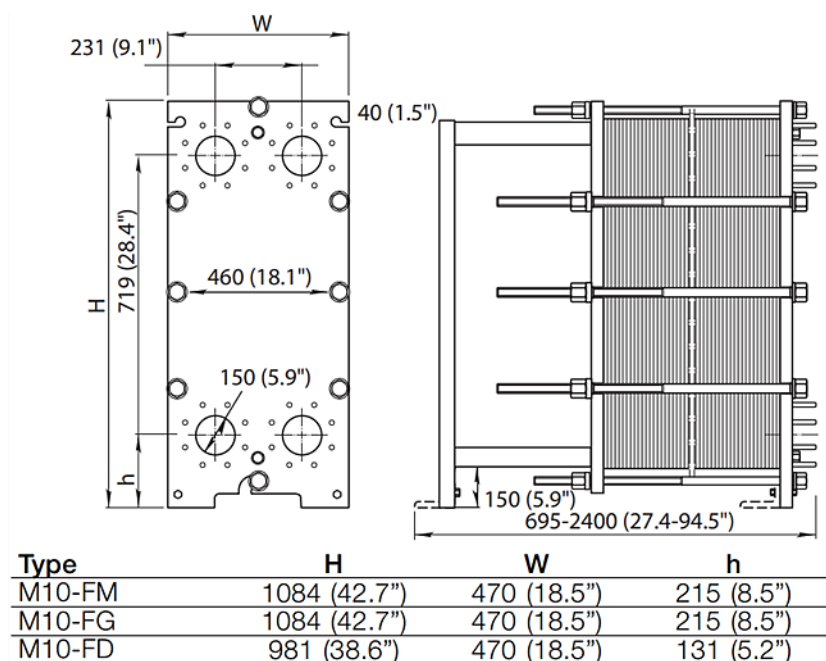
Pembacaan tekanan fluida

7. Tekanan oli masuk (bar)
8. Tekanan oli keluar (bar)

X Ukuran heat exchanger



Gambar 3. Kondisi Plat Heat Exchanger



Gambar 4. Penampang Plat Heat Exchanger M10

Hasil Pengumpulan Data

Tabel 1. Data Awal

Unit	Data (/30 min)	Temperatur <i>Heat Exchanger</i> (°C)				Debit (l/min)		X (Cm)	Beban (MW)	Tekanan (Bar)		Oli
		T _{Hin}	T _{Hout}	T _{Cin}	T _{Cout}	V _{Hin}	V _{Cin}			Pin	Pout	
1	I	52	40	29	36	1035	704	61,4	35,66	0,9	0,3	
	II	52	41	29	36,5	1050	696	61,4	35,66	0,9	0,3	
	III	52,5	41	29	36,5	1020	688	61,4	35,66	0,9	0,3	
2	I	50	41,5	28	35,5	1200	528	62	35,60	1,4	0,7	
	II	50,5	41,5	28	35,5	1170	520	62	35,60	1,4	0,7	
	III	50,5	41	28	36	1170	528	62	35,60	1,4	0,7	
3	I	50	42	28	35,5	1335	688	61,5	35,30	1,6	0,8	
	II	49	42	28	35,5	1350	688	61,5	35,30	1,6	0,8	
	III	49	42	28	36	1350	696	61,5	35,30	1,6	0,8	
4	I	54,5	43	28	36	900	472	55	35,70	1,2	0,5	
	II	55	43,5	28	36	870	480	55	35,70	1,2	0,5	
	III	55	43,5	28	36,5	885	480	55	35,70	1,2	0,5	

Menghitung Nilai Properties Oli dan Air

Setelah didapatkan data pada tabel diatas, kemudian dilanjutkan dengan mencari nilai properties melalui metode interpolasi, untuk menentukan *properties* dari oli dan air. Mengacu pada tabel A.9 dan juga tabel A.4. Setelah itu dapat dilakukan perhitungan laju aliran massa ($\dot{m}$) dengan mengkalikan laju aliran per liter / detik dikali densitas oli (0,88 kg/s).

Perhitungan interpolasi:

$$\begin{aligned}\rho_{52} &= \rho_{40} + \frac{(\rho_{60}-\rho_{40})}{(T_{60}-T_{40})} \times (T_{52}-T_{40}) \\ \rho_{52} &= 867.05 + \frac{(864.04-876.05)}{(60-40)} \times (52 - 40) \\ \rho_{52} &= 868.844 \dots \dots \dots \text{dst}\end{aligned}$$

Laju aliran massa ($\dot{m}$)

$$\begin{aligned}\dot{m} &= \left(\frac{\text{debit (l/min)}}{60 \text{ s}} \right) \times \text{densitas oli (0.88 kg/s)} \\ \dot{m}_{49} &= \left(\frac{1350 \text{ (l/min)}}{60 \text{ s}} \right) \times (0.88 \text{ kg/s}) \\ &= 19.8 \text{ kg/s} \dots \dots \dots \text{dst}\end{aligned}$$

Jarak antar pasang plat (L)

$$\begin{aligned}L &= \frac{x}{\text{Jumlah pasang plat}} \\ L_{\text{unit 1}} &= \frac{61.44 \text{ cm}}{79} \\ &= 0.777 \text{ cm} \\ &= 0.00777 \text{ m} \dots \dots \dots \text{dst}\end{aligned}$$

Menghitung Nilai Koefisien Konveksi Pada Plat

Hasil perhitungan nilai properties sudah diperoleh, oleh karenanya dilanjutkan dengan melakukan perhitungan nilai koefisien konveksi pada plat. Sedangkan untuk nilai koefisien konduksi termal berdasarkan nilai aslinya.

$$\begin{aligned}
 V_m &= \frac{\dot{m}}{\rho \times A_c} \\
 &= \frac{\dot{m}}{\rho \times (L \times w_{ef})} \\
 &= \frac{15.18 \text{ kg/s}}{868.844 \text{ kg/m}^3 \times (0.00777 \text{ m} \times 0.46 \text{ m})} \\
 &= 5.08 \text{ m/s} \\
 Re &= \frac{V_m \times w_{ef}}{\nu} \\
 &= \frac{5.08 \text{ m/s} \times 0.46 \text{ m}}{0.000146 \text{ m}^2/\text{s}} \\
 &= 16005.47 \\
 Nu &= 0.664 Re^{0.5} Pr^{1/3} \\
 &= 1017.68 \\
 h &= \frac{k}{w_{ef}} Nu \\
 &= \frac{0.1416 \text{ W/m.C}}{0.46 \text{ m}} \times 1017.68 \\
 &= 313 \text{ W/m}^2.\text{C}
 \end{aligned}$$

Menghitung Fouling Factor

Pada bagian ini, dilanjutkan untuk melakukan perhitungan *fouling factor* yang terjadi pada sisi fluida panas dan juga sisi fluida dingin. Nilai *fouling factor* dari fluida air dan oli dapat dilihat pada lampiran *fouling factor*. Selanjutnya proses perhitungan dapat dilihat pada bawah ini.

$$\begin{aligned}
 R_{f,i} &= \frac{R_{f,1}}{A_i} \\
 R_{f,i} &= \frac{0.00018 \text{ m}^2\text{C/W}}{0.339 \text{ m}^2} \\
 R_{f,i} &= 0.000530 \text{ C/W} \\
 R_{f,o} &= \frac{R_{f,2}}{A_o} \\
 R_{f,o} &= \frac{0.00035 \text{ m}^2\text{C/W}}{0.339 \text{ m}^2} \\
 R_{f,i} &= 0.00103 \text{ C/W}
 \end{aligned}$$

Menghitung Resistansi Termal

Pada bagian ini dilakukan perhitungan nilai resistansi termal dari setiap data *heat exchanger* yang ada. Di bawah ini dapat dilihat proses perhitungan salah satu data untuk resistansi termalnya.

$$\begin{aligned}
 R &= R_{\text{total}} = R_i + R_{\text{wall}} + R_o = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{R_{f,1}}{A_i} + \frac{\delta_p}{A_o k_p} + \frac{R_{f,2}}{A_o} + \frac{1}{h_o A_o} \\
 R_{\text{total}} &= \frac{1}{h_i 0.339 \text{ m}^2} + 0.000530 \text{ C/W} + \frac{0.003 \text{ m}}{0.339 \text{ m}^2 \times 15.1 \text{ W/m}^2\text{C}} + 0.00103 \text{ C/W} + \frac{1}{h_o 0.339 \text{ m}^2} \\
 &= \frac{1}{313 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 0.339 \text{ m}^2} + 0.000530 \frac{\text{C}}{\text{W}} + \frac{0.003 \text{ m}}{0.339 \text{ m}^2 \times 15.1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}} + 0.00103 \frac{\text{C}}{\text{W}} + \frac{1}{403.9 \text{ W/m}^2\text{C} \times 0.339 \text{ m}^2}
 \end{aligned}$$

$$= 0,0189^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

Menghitung Koefisien Perpindahan Panas Total

Pada sub bab ini, selanjutnya dilakukan perhitungan koefisien perpindahan panas total salah satu data *heat exchanger*.

$$\begin{aligned} U &= \frac{1}{R.A} \\ &= \frac{1}{0,0189 \frac{\text{C}}{\text{W}} \times 0,339 \text{ m}^2} \\ &= 156,293 \text{ W}/\text{m}^2.^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Menghitung LMTD

Di bawah ini merupakan proses perhitungan nilai LMTD pada keseluruhan data *heat exchanger* yang diambil.

UNIT 1,2,3,4

$$\begin{aligned} \text{Data 1 } LMTD &= \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln \Delta T_{max} \Delta T_{min}} \\ LMTD &= \frac{(52-36) - (40-29)}{\ln \frac{(52-36)}{(40-29)}} \\ LMTD &= 13.34^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Menghitung Perpindahan Panas Aktual

Setelah nilai U, A & LMTD diperoleh, selanjutnya dapat melakukan perhitungan untuk mengetahui perpindahan panas actual yang terjadi pada setiap *heat exchanger*.

$$\begin{aligned} Q &= U. A. LMTD \\ &= 156,293 (\text{W}/\text{m}^2.^{\circ}\text{C}) \times 0,339 \text{ m}^2 \times 13.34^{\circ}\text{C} \\ &= 706,797 \text{ W} \end{aligned}$$

Catatan:

Perhitungan yang sama dilakukan dengan proses yang sama seperti di atas pada setiap datanya, sehingga akan diperoleh hasil seperti pada Tabel 2 Nilai R_{Total}, U, Q

Tabel 2. Nilai R_{Total}, U, Q

Unit	Data	R _{Total} (°C/W)		U (W/m².°C)		Q (W)	
		(fouling)	Tanpa (fouling)	(fouling)	Tanpa (fouling)	(fouling)	Tanpa (fouling)
1	2	0,0184	0,0169	159,922	174,697	741,101	809,569
	3	0,0181	0,0165	163,415	178,873	770,027	842,868
2	1	0,0176	0,0160	168,050	184,442	796,996	874,735
	2	0,0177	0,0161	166,752	182,879	804,406	882,204
	3	0,0176	0,0161	167,379	183,633	835,801	916,967
3	1	0,0160	0,0145	184,022	203,861	887,715	983,419
	2	0,0160	0,0145	183,820	203,613	856,207	948,402
	3	0,0160	0,0144	184,332	204,242	842,970	934,020
4	1	0,0190	0,0175	154,861	168,675	875,666	953,777
	2	0,0191	0,0175	154,541	168,295	900,574	980,727

3	0,0191	0,0175	154,541	168,295	888,001	967,034
---	--------	--------	---------	---------	---------	---------

Menghitung Trending Kenaikan Temperatur

Berdasarkan data yang diambil dapat hitung trending temperature selama satu bulan, dengan rumus selisih temperatur pada awal bulan dan akhir bulan.

Tabel 3. Trending Kenaikan Temperatur

Unit	Temperatur Awal	Temperatur Akhir	ΔT	Alarm
	$^{\circ}\text{C}$			
1	48,1	50,8	2,7	55
2	47,5	49,7	2,2	
3	47,4	49,3	1,9	
4	53,5	54,6	1,1	

Waktu yang diperlukan setiap *heat exchanger* untuk mencapai temperature alarm dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

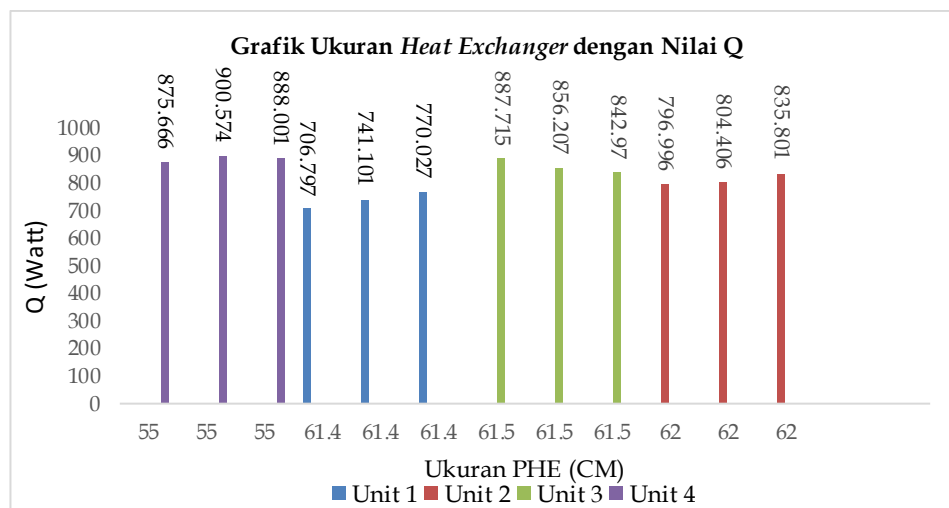
Range temperature = Temperatur alarm-Temperatur awal

Kenaikan temperatur/hari = $\frac{\Delta T}{30 \text{ hari}}$

Waktu alarm tercapai = $\frac{\text{Range temperatur}}{\text{Kenaikan temperatur/hari}}$

Hubungan Nilai Q dan X

Berdasarkan grafik dibawah dapat ditarik analisis bahwasannya ukuran *heat exchanger* bukan parameter utama keefektifan dari pertukaran panas, dikarenakan pada unit 4 yang memiliki panjang 55 cm, menghasilkan nilai perpindahan kalor aktual tertinggi. Dengan angka dari 875,666-900,574, sedangkan kedua yaitu pada unit 3 dengan angka 842,87-887,715.



Gambar 1. Grafik ukuran *heat exchanger* dengan nilai Q

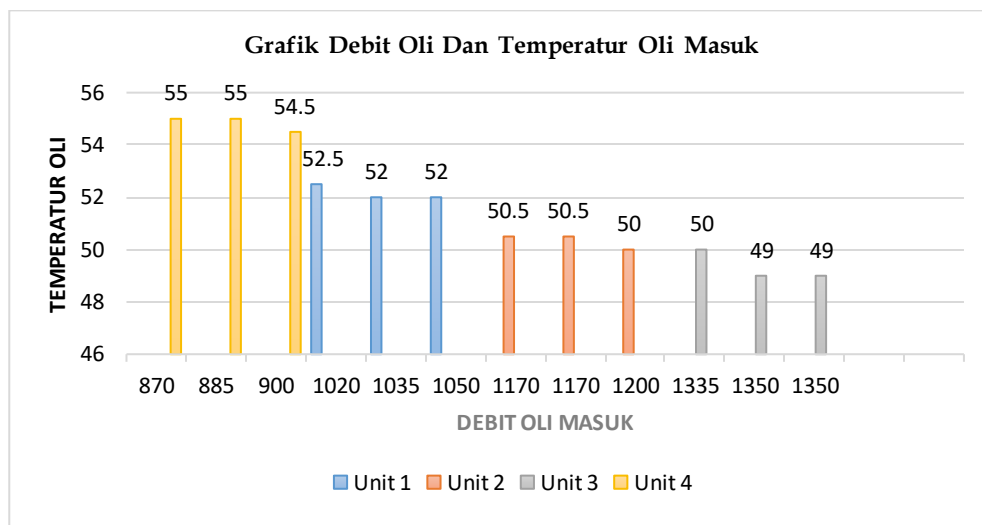
Fenomena di atas dapat terjadi dikarenakan parameter utama dalam pertukaran panas disebuah *plate heat exchanger* ialah efektifitas permukaan plat. Jadi semakin bagus

kondisi *plat* maka secara langsung akan mempengaruhi nilai perpindahan panas *heat exchanger* tersebut. Dengan kata lain semakin baru *plat* maka akan semakin tinggi juga nilai Q .

Kondisi *plat* yang baru memiliki luasan penampang *plat* efektif yang mendekati 100%. Sedangkan semakin lama umur *plat* akan terjadi pengurangan luasan *plat* dikarenakan adanya deposit kotoran yang tertinggal, kerusakan pada *plat* dll. Oleh karena nya dalam pembersihan *plate heat exchanger* harus dilakukan dengan perlahan dan teliti, untuk mengurangi jumlah deposit yang tertinggal serta mengeras.

Hubungan Debit Oli dan Temperatur Oli Masuk

Berdasarkan gambar 5 dapat disimpulkan bahwasannya semakin tinggi debit oli yang memasuki *heat exchanger*, maka semakin rendah pula temperatur oli didalam oil pot (temperatur oli masuk). Hal ini terjadi dikarenakan semakin banyaknya jumlah oli yang dapat didinginkan, maka akumulasi oli yang bercampur di dalam *oil pot* akan cenderung berada di temperatur temu yang sama pada titik tertentu. Pada unit 3 titik temu temperatur di dalam *oil pot* antara 49-50°C. Sedangkan pada unit 4 yang memiliki debit aliran oli masuk terendah pada 870-900 l/min. menghasilkan titik temu temperatur didalam oil pot pada 54,5-55°C. Meskipun pada unit 4 memiliki perpindahan kalor aktual paling efektif, sesuai gambar 5.1. Namun dikarenakan sedikitnya aliran oli yang dapat didinginkan menimbulkan unit 4 mencapai temperatur alarm terlebih dahulu (alarm 55°C).



Gambar 2. Grafik Hubungan Debit Oli dan Temperature Oli Masuk

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil pengumpulan data dan pengolahan data yang telah dilakukan sesuai judul skripsi “Analisis Performa *Heat Exchanger Oil Cooler Upper Tipe M10-BFG* Pada Unit 1,2,3,4 PLTA Singkarak Untuk Tindakan Pemeliharaan”, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Perpindahan panas aktual yang terjadi pada *plate heat exchanger* terbesar terdapat pada unit 4 dengan nilai 875,666-900,574 W kemudian terkecil pada unit 1 dengan nilai 706,797-770,027 W. Hal ini terjadi dikarenakan umur *plat* pada unit 4 lebih muda 10 tahun dari unit 1.

2. Penambahan dan pengurangan plat tidak perlu dilakukan bilamana ukuran *plate heat exchanger* dalam kondisi normal berkisar antara 58-63 cm atau dengan parameter *flow in* oli minimal 920 liter/menit.
3. Pembersihan *plate heat exchanger* (pemeliharaan rutin) secara teoritis pada unit 3 memiliki waktu paling lama dengan durasi ± 121 hari, sedangkan pada unit 4 terpendek dengan durasi ± 42 hari. Hal ini terjadi dikarenakan temperatur awal sesudah dilakukan pembersihan pada unit 4 sebesar 53,5 °C sedangkan unit 3 47,4 °C
4. Keefektifan *plate heat exchanger* dengan parameter range kerja temperature oli (45-55 °C) paling efektif terdapat pada unit 3 dengan range temperature (47,4-49,3 °C) per bulan, sedangkan pada unit 4 terendah dengan range temperature (53,5-54,6 °C). Hal ini terjadi dikarenakan debit masuk oli unit 3 sebesar 1350 liter/menit, sedangkan unit 4 maksimal di 900 liter/menit. Sehingga diperlukan pemeliharaan lanjut pada unit 4.

Saran

- 1 Mengkalkulasi batas maksimal ukuran *plate heat exchanger*, supaya menjaga kondisi pertukaran panas oli didalam range kerja.
- 2 Melakukan analisa lebih terperinci per unit, sehingga penulis dapat focus dalam menganalisa data-data yang ada di unit tersebut.
- 3 Memberikan data waktu pembersihan *plate heat exchanger* pada setiap unit, supaya user dapat selalu siap untuk melakukan pembersihan dan pencegahan sebelum alarm.
- 4 Memberikan umpan balik kepada user, untuk dilakukan pemeliharaan lebih lanjut pada unit yang telah mencapai alarm, bisa dengan melakukan penggantian *part* salah satunya.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfa Laval, Product Catalogue, Sweden (<http://www.alfalaval.com>)
- Bergman, Lavine, Incropera, Dewitt. 2008. *Fundamentals OF Heat and Mass Transfer*, John Wiley & Sons Inc, New York.
- Cengel, Yunus A. 2003. *Heat Transfer a Practical Approach*, McGraw-Hill, Boston
- Detech. 2021. *Maintenance*, Indonesia (<https://www.detch.co.id/maintenance>)
- D.Q. Kern. 1950. *Process Heat Transfer*, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd. Tokyo GEA Ahlborn, Product Catalogue, Epsom, Surrey, UK
- Gupta, J.P. 1986. *Fundamentals of Heat Exchanger and Pressure Vessel Technology*, Hemisphere, Washington, DC.
- Hendri. 2018. Pengaruh *Fouling* Terhadap Laju Perpindahan Panas Pada Superheater Boiler CFB PLTU Sebalang, ISSN, Jurnal Power Plant, Indonesia.
- J.P. Holman. 2010. *Heat Transfers 10th Edition*, McGraw-Hill, New York
- Kreith. F, Boehm, R.F. 1999. *Heat and Mass Transfer, Boca Ration: Mechanical Engineering Handbook*, Crc Press LLC.
- Naryono, Indra Sakti Trisany. 2008. Analisis Unjuk Kerja Alat Penukar Kalor Pelat

Kapasitas 2400 KW dengan Aliran Berlawanan (*Counterflow*), Universitas Muhammadiyah Jakarta, Indonesia

Shah, R. K., and R. L. Webb. 1983. *Compact and enhanced heat exchangers*, In *Heat Exchangers*: Hemisphere/McGraw-Hill, Washington

SKF Bearing, *Product Catalogue, Sweden* (<https://www.skf.com>)

USGS. 2018. *Hydroelectric Power: How it Works*, USA (<https://www.usgs.gov>)

Wang, Sunden, Manglik. 2007. *Plate Heat Exchangers*, WIT Press, Southampton Boston