

PENGARUH PEMBERSIHAN KIMIAWI DAN MEKANIK TERHADAP KINERJA INTERCOOLER ST24 PADA PLTGU INDONESIA POWER UPJP PRIOK

Agus Suprihanto

Departemen Teknik Mesin Universitas Diponegoro
Kampus Teknik Mesin UNDIP, Tembalang Semarang
Email: agusm90@yahoo.com

ABSTRAK

Intercooler ST24 pada PLTGU UPJP Priok merupakan alat penukar panas (heat exchanger) yang berfungsi mendinginkan uap. Alat ini menggunakan media air laut sebagai pendinginnya. Kondisi air laut yang kotor menyebabkan penurunan kinerja perpindahan panasnya. Guna mengembalikan kinerjanya, pembersihan kimiawi dan mekanik telah diterapkan.

Berdasarkan analisis kinerja yang telah dilakukan, didapatkan hasil bahwa pembersihan tubeintercooler secara mekanik dapat meningkatkan laju perpindahan kalor intercooler sebesar 66.53%, sedangkan pembersihan intercooler secara kimiawi dapat meningkatkan laju perpindahan kalor intercooler mencapai 82.04%. Hal ini menunjukkan pembersihan menggunakan kimiawi lebih efektif dibandingkan secara mekanik..

Kata kunci: alat penukar panas tipe *shell* dan *tube*, efektivitas perpindahan panas

1. Pendahuluan

Efektivitas perpindahan panas dari suatu *intercooler* dalam *closed cooling water system* dapat mempengaruhi biaya akhir dan tingkat produksi dari pembangkitan listrik pada PLTGU Priok. Oleh karena itu *intercooler* harus selalu berada dalam kinerja terbaiknya sehingga proses perpindahan panas dapat berlangsung secara maksimal. Sistem ini menggunakan air laut yang dilewatkan pada *tube* sebagai media pendingin. Kondisi air laut yang kotor menyebabkan lambat laun memicu terjadinya *fouling*. Hal ini menyebabkan luas penampang perpindahan panas mengecil sehingga kinerja *intercooler* menurun.

Penurunan kinerja *intercooler* menyebabkan bertambahnya beban kerja komponen-komponen lain pada sistem pembangkitan listrik sehingga menyebabkan konsumsi bahan bakar meningkat dan menyebabkan kenaikan biaya dan tingkat produksi pembangkitan listrik. Oleh karena itu untuk menghindari kerugian tersebut, maka *intercooler* harus selalu mendapat perawatan secara berkala. Pembersihan *intercooler* merupakan salah satu langkah preventif untuk menjaga efektivitas perpindahan *intercooler*.

Pembersihan *intercooler* umumnya dapat dilakukan melalui dua cara, yakni secara mekanik menggunakan *conco tube plug* maupun menggunakan larutan kimia. Pembersihan *tube intercooler* secara mekanik rutin dilakukan setiap 1 minggu sekali. Pembersihan kimiawi sebagai alternatif pembersihan *tubeintercooler* dilakukan setiap 1 bulan sekali. Penggunaan metode dan rentang waktu pembersihan *tubeintercooler* perlu dikaji untuk mendapatkan efektifitas kedua metode tersebut. Analisis efektifitas perpindahan panas ini dilakukan pada *intercooler* ST24 pada PLTGU Indonesia Power UPJP Priok.

2. Metode Penelitian

Gambar 1 menunjukkan *intercooler* ST24 dan skematis sistem pendinginannya. *Intercooler* yang digunakan sebagai *heat exchanger* pada PLTGU Priok merupakan *shell and tube heat exchanger* (STHE) tipe AEL dengan *front-end* berbentuk *channel and removable cover, one shell pass* dengan *rear end* dan *head* berbentuk *fixed tube sheet*. Terdapat dua buah *intercooler* yang satu digunakan saat *steam turbine* beroperasi sedangkan lainnya berada dalam kondisi *standby* sehingga *change over* dapat

dilakukan apabila intercooler yang lain sedang dalam perawatan.

Didalam intercooler ST 24 PLTGU Priok mengalir dua jenis sistem air pendingin, yakni sistem air pendingin *closed cooling water*(CCW) yang digunakan untuk mendinginkan berbagai komponen *steam turbine*; serta sistem air pendingin *main cooling water*(MCW) yang digunakan untuk mendinginkan CCW. Sistem air pendingin CCW menggunakan fluida air demineralisasi untuk menyerap energi panas yang terdapat pada berbagai komponen *steam turbine* untuk kemudian dialirkan oleh CCWP menuju intercooler. Adapun air pendingin yang digunakan pada sistem air pendingin MCW merupakan air laut yang telah mengalami tiga kali proses filtrasi: *bar screen*, *traveling screen* dan *debris filter*. Air laut yang telah difiltrasi ini kemudian dipompakan menggunakan MCWP menuju kondenser dan intercooler. Di dalam intercooler energi panas dari CCW kemudian diserap oleh MCW sehingga temperatur CCW yang keluar dari intercooler menjadi rendah kembali dan dapat digunakan untuk mensirkulasikan energi panas yang terdapat pada berbagai komponen *steam turbine*. Air laut yang telah digunakan untuk menyerap panas CCW kemudian dialirkan menuju *waste water treatment plant* (WWTP) sebelum akhirnya dibuang kelaut.

Data yang diperlukan untuk analisis kinerja perpindahan panas adalah:

1. Data spesifikasi geometri dan karakteristik termal *intercooler* seperti ditunjukkan pada Tabel 1.
2. Data riwayat pengukuran temperatur sebelum dan sesudah pembersihan secara mekanik seperti ditunjukkan Tabel 2.
3. Data riwayat pengukuran temperatur sebelum dan sesudah pembersihan secara kimiawi seperti ditunjukkan Tabel 3.

Adapun persamaan-persamaan yang harus digunakan dalam melakukan perhitungan geometri intercooler terkait proses perpindahan panas yang terjadi pada intercooler diantaranya sebagai berikut.

A. Persamaan perhitungan geometri *tube intercooler*

- a. Perhitungan diameter ekuivalen *shell side* [1]

$$De = 4 \left(\frac{P_t^2 \sqrt{3} - \pi D_{ot}^2}{4} - \frac{\pi D_{ot}^2}{8} \right) \quad (1)$$

- b. Perhitungan luas penampang *tube* keseluruhan [1]

$$A_{t(tot)} = \frac{N_t \cdot A_{t(cs)}}{N_p} \quad (2)$$

- c. Perhitungan luas area *cross flow* pada *shell-side* [1]

$$A_{s(cf)} = \frac{D_{is} B_s C}{P_t} \quad (3)$$

- d. Perhitungan luas permukaan perpindahan panas keseluruhan [1]

$$A_{s(cf)} = \pi D_{ot} L N_t \quad (4)$$

B. Persamaan perhitungan perpindahan panas pada *intercooler*.

- a. Perhitungan kecepatan aliran massa pada sisi *tube* [1]

$$G_t = \frac{\dot{m}_t}{A_{t(tot)}} \quad (5)$$

- b. Perhitungan kecepatan aliran massa pada sisi *shell* [1]

$$G_s = \frac{\dot{m}_s}{A_{s(cf)}} \quad (6)$$

- c. Perhitungan bilangan Reynold pada sisi *tube* [2]

$$Re_t = \frac{G_t D_{it}}{\mu_t} \quad (7)$$

- d. Perhitungan bilangan Reynold pada sisi *shell* [2]

$$Re_s = \frac{G_s D_e}{\mu_s} \quad (8)$$

- e. Perhitungan bilangan Prandtl sisi *tube* [3]

$$Pr_t = \frac{C_p \mu_t}{k_t} \quad (9)$$

- f. Perhitungan bilangan Prandtl sisi *shell* [3]

$$Pr_s = \frac{C_p \mu_s}{k_s} \quad (10)$$

- g. Perhitungan bilangan Nusselt sisi *tube* [4]

$$f = (1.58 \ln Re_t - 3.28)^{-2} \quad (11)$$

$$Nu_t = \frac{\left(\frac{f}{2}\right) Re_t Pr_t}{1.07 + 12.7 \left(\frac{f}{2}\right)^{0.5} (Pr_t^{2/3} - 1)} \quad (12)$$

- h. Perhitungan bilangan Nusselt sisi *shell* [1]

$$Nu_s = 0.36 Re_s^{0.55} Pr_s^{0.3} \quad (13)$$

- i. Perhitungan koefisien perpindahan panas pada sisi *tube* [5][6]

$$h_i = \frac{Nu_i k_i}{D_{ii}} \quad (14)$$

j. Perhitungan koefisien perpindahan panas pada sisi *shell* [5][6]

$$h_s = \frac{Nu_s k_s}{D_e} \quad (15)$$

k. Perhitungan koefisien perpindahan panas keseluruhan [6]

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_s} + \frac{r_{ot} \ln(r_{ot}/r_{it})}{k} + \frac{1}{h_i} \quad (16)$$

l. Perhitungan LMTD [7]

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{hi} - T_{co}) - (T_{ho} - T_{ci})}{\ln\left(\frac{T_{hi} - T_{co}}{T_{ho} - T_{ci}}\right)} \quad (17)$$

m. Perhitungan laju perpindahan panas sebelum *tube cleaning* secara mekanik [1] (14)

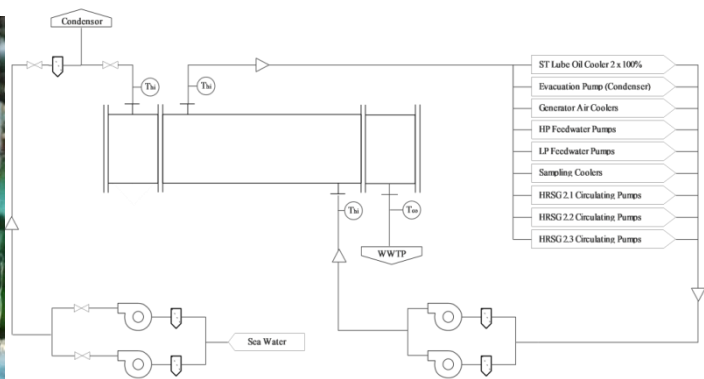
$$q = UA\Delta T_{LMTD} \quad (18)$$

n. Perhitungan laju perpindahan panas maksimum [1] (15)

$$q_{max} = \dot{m}_h C_{ph} (T_{hi} - T_{co}) \quad (19)$$

o. Perhitungan efektivitas perpindahan panas [5] (16)

$$\varepsilon = \left(\frac{q}{q_{max}}\right) \cdot 100\% \quad (17)$$



Gambar 1. Intercooler ST24

Tabel 1. Spesifikasi geometri dan karakteristik termal *intercooler* ST24

No.	Parameter	Simbol	Satuan	Shell Side	Tube Side
1	Diameter Luar	D_{ot}	m	0.702	0.024
2	Diameter Dalam	D_{is}	m	0.686	0.022984
3	Massa Jenis	ρ_{is}	kg/m ³	7850	4510
4	Kond. Termal	k_s	W/mK	52	16.4
5	Kalor Spesifik	C_{ps}	kJ/kgK	0.470	0.523
6	Panjang <i>tube</i>	L	m	-	9.598
7	Jumlah <i>tube</i>	N_t	-	-	419
8	<i>Tube Pitch</i>	P_t	m	-	0.3
9	<i>Clearance</i>	C	m	-	0.006
10	<i>Baffle Spacing</i>	B_s	m	0.501	-
11	Jumlah <i>Baffle</i>	N_b	-	9	-

Tabel 2. Data temperatur intercooler sebelum dan sesudah *tube cleaning* secara mekanik

Pukul	Sebelum <i>Tube Cleaning</i> Mekanik				Setelah <i>Tube Cleaning</i> Mekanik			
	Temperatur MCW		Temperatur CCW		Temperatur MCW		Temperatur CCW	
	Inlet (°C)	Outlet (°C)	Inlet (°C)	Outlet (°C)	Inlet (°C)	Outlet (°C)	Inlet (°C)	Outlet (°C)
12.00	36	38	43	36	35	35	41	36
13.00	35.5	37	43	36	35	35	41	36
14.00	35.5	37	43	36	35	35	41	36
15.00	35.5	37	43	36	35	35	41	36
16.00	35.5	37	43	36	35	35	41	36
17.00	35.5	37	43	36	35	35.5	42	36
18.00	36	37	43	36	35	35.5	42	36
19.00	36	37	43	36	35	35.5	42	36
20.00	36	37	43	36	35	35.5	42	36
21.00	35	37	42.5	36	34	36.5	41.5	36
22.00	35	37	42.5	36	34	36.5	41.5	36

23.00	35	37	42.5	36	34	36.5	41.5	36
\bar{x}	35.5	37.1	42.9	36.0	34.8	35.5	41.5	36.0

Tabel 3.Data temperatur intercooler sebelum dan sesudah *tube cleaning* secara kimiawi

Pukul	Sebelum Tube Cleaning Kimiawi				Setelah Tube Cleaning Kimiawi			
	Temperatur MCW		Temperatur CCW		Temperatur MCW		Temperatur CCW	
	Inlet (°C)	Outlet (°C)	Inlet (°C)	Outlet (°C)	Inlet (°C)	Outlet (°C)	Inlet (°C)	Outlet (°C)
12.00	35	37	42	36	34	36	42	36
13.00	34	36.5	41	36	34	36	42	36
14.00	34	36.5	41	36	34	36	42	36
15.00	34	36.5	41	36	34	36	42	36
16.00	34	36.5	41	36	34	36	42	36
17.00	34	36	40	36	34	36	42	36
18.00	34	36	40	36	34	36	42	36
19.00	34	36	40	36	34	36	42	36
20.00	34	36	40	36	34	36	42	36
21.00	34	39	40	36	33	37	41.5	34
22.00	34	39	40	36	33	37	41.5	34
23.00	34	39	40	36	33	37	41.5	34
\bar{x}	34.1	37.0	40.5	36.0	33.8	36.3	41.9	35.5

3. Hasil dan Pembahasan

Dengan menggunakan Persamaan 1 s/d 20, efektifitas termal *intercooler* sebelum dan sesudah dilakukan pembersihan dapat dihitung. Tabel 4 dan 5 menunjukkan hasil perhitungan tersebut. Berdasarkan tabel 4 dan 5 diatas, dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan yang cukup jauh antara pembersihan *tube* intercooler secara mekanik dan pembersihan *tube* intercooler secara kimiawi. Sebelum pembersihan *tube* secara mekanik dilakukan, intercooler ST 24 PLTGU Priok memiliki kapasitas laju perpindahan kalor sebesar 1813.5804 kW dengan beda temperatur rata-rata sebesar 2.2134 dan efektifitas perpindahan kalor sebesar 50.33%. Pembersihan *tube* secara mekanik yang dilakukan dengan menyemprotkan tabung-tabung *conco* pada *tube* intercooler dengan menggunakan water *change over* sehingga proses pencucian *tube*

intercooler secara kimiawi tsb dapat dilakukan. Pencucian *tube* intercooler secara kimiawi dilakukan dengan mensirkulasikan senyawa kimia pada *tube* intercooler secara terus menerus dengan menggunakan pompa khusus yang disambungkan pada bagian *front-end* dari intercooler tersebut. Adapun senyawa kimiawi yang digunakan merupakan senyawa asam lemah dan senyawa basa lemah yang disirkulasikan satu persatu pada

jet bertekanan tinggi pada tanggal 16 Juni 2016 kemudian meningkatkan laju perpindahan kalor intercooler hingga mencapai 2397.1351 kW dengan beda temperatur rata-rata sebesar 2.9383 dan efektifitas perpindahan panas sebesar 66.53%. Dengan kata lain pembersihan *tube* secara mekanik dapat meningkatkan efektifitas perpindahan kalor pada intercooler sebesar 16.20%.

Setelah beroperasi selama 3 hari (16 Juni 2016 s.d 18 Juni 2016), intercooler mengalami penurunan efektifitas perpindahan panas dari 66.53% hingga mencapai 64.77%. Pada saat tsb intercooler sebenarnya masih memiliki efektifitas perpindahan panas yang cukup baik, namun sehubungan dengan akan dilakukannya pencucian *tube* intercooler secara kimiawi dari tender maka intercooler sengaja di

intercooler ST 24 PLTGU Priok. Setelah pencucian *tube* secara kimiawi selesai dilakukan, intercooler ST 24 PLTGU Priok mulai kembali beroperasi pada tanggal 24 Juni 2016 dengan temperatur inlet dan outlet yang tercatat dari *shell* dan *tube* secara berturut-turut sebesar 42 °C, 36 °C, 34 °C, dan 36 °C. Dengan menggunakan analisa dan perhitungan data yang sama dapat diketahui bahwa setelah dilakukan *tube cleaning* secara

kimiawi, intercooler memiliki laju perpindahan panas sebesar 2955.5291 kW dengan beda temperatur rata-rata 3.641 dan efektivitas perpindahan panas 82.04%. Hal ini sesungguhnya sungguh sangatlah jauh bila

dibandingkan dengan performa intercooler sebelum dilakukan pencucian *tube* secara mekanik dimana laju perpindahan panas intercooler hanya sebesar 1813.5804 kW dengan beda temperatur rata-rata sebesar 2.2134 dan efektivitas perpindahan kalor sebesar 50.33%. Dengan kata lain dapat disimpulkan bahwa pencucian *tube* intercooler dengan menggunakan senyawa kimiawi dapat meningkatkan efektivitas intercooler sebesar 31.71%. Perbedaan capaian efektivitas yang cukup besar ini menandakan bahwa pembersihan *tube* secara kimiawi cukup ampuh untuk menghilangkan

kerak-kerak hasil pengotoran biokimia dan hasil sedimentasi lumpur disepanjang permukaan bagian dalam *tube* intercooler yang pada umumnya tidak dapat dibersihkan oleh tabung-tabung *conco* secara mekanik. Dengan demikian pembersihan *tube* intercooler secara kimiawi merupakan salah satu tindakan yang tepat untuk menjaga reliabilitas intercooler sehingga intercooler dapat terus beroperasi dalam keadaan optimal dengan depresiasi efektivitas perpindahan panas yang masih dalam batas yang diperbolehkan.

Tabel 4 Perbandingan Efektivitas Perpindahan Panas Intercooler Sebelum dan Sesudah *Tube Cleaning* secara Mekanik

Parameter	Simbol	Satuan	<i>Mechanical Cleaning</i>	
			Sebelum	Sesudah
Temperatur <i>Shell</i> Inlet	T_{hi}	°C	43.00	42.00
Temperatur <i>Shell</i> Outlet	T_{ho}	°C	36.00	36.00
Temperatur <i>Tube</i> Inlet	T_{ci}	°C	36.00	35.00
Temperatur <i>Tube</i> Outlet	T_{co}	°C	37.00	36.00
Koef. Perp. Panas Total	U	W/mK	2702.26	2690.50
LMTD	ΔT_{LMTD}	°C	2.21	2.93
Laju Perpindahan Panas	Q	kW	1813.58	2397.13
Efektivitas	η	-	50.33	66.53

Tabel 5 Perbandingan Efektivitas Perpindahan Panas Intercooler Sebelum dan Sesudah *Tube Cleaning* secara Kimiawi

Parameter	Simbol	Satuan	<i>Chemical Cleaning</i>	
			Sebelum	Sesudah
Temperatur <i>Shell</i> Inlet	T_{hi}	°C	40.00	42.00
Temperatur <i>Shell</i> Outlet	T_{ho}	°C	36.00	36.00
Temperatur <i>Tube</i> Inlet	T_{ci}	°C	34.00	34.00
Temperatur <i>Tube</i> Outlet	T_{co}	°C	36.00	36.00
Koef. Perp. Panas Total	U	W/mK	2667.45	2677.09
LMTD	ΔT_{LMTD}	°C	2.8854	3.6410
Laju Perpindahan Panas	Q	kW	2333.76	2955.52
Efektivitas	η	-	64.77	82.04

4. Kesimpulan

Hasil analisis termal pada *intercooler* ST24 sebelum dan sesudah pembersihan waktu pembersihan kimiawi yang lebih lama

yaitu 1 bulan dibandingkan dengan 1 minggu yang mekanik menunjukkan keunggulan metode pembersihan kimiawi.

5. Daftar Pustaka

1.Kern, Donald. Q. (1965). *Process Heat Transfer*. New York: Mc Graw-Hill

5.Cengel, Yunus A. (2003). *Heat Transfer: A Practical Approach 2nd Ed.* New York: Mc. GrawHill.

6.Incropera, Frank P. dan Dewitt, David P. (1985). *Fundamentals of Heat and Mass*

menunjukkan bahwa pembersihan menggunakan kimiawi lebih efektif dibandingkan dengan secara mekanik. Durasi

2.Fox, Robert W. dan Mc Donald, Alan T. (1995). *Introduction to Fluid Mechanics 3rd Ed.* New Jersey: John Willey & Sons

3.Holman, J. P. (2010). *Heat Transfer 10th Ed.* New York: McGraw-Hill

4.Kakac, S. dan Oskay, R. (1991). *Boiler, Evaporator, and Condensor*. New York: Willey

Transfer 2nd Ed. New York: John Wiley & Sons Inc.

7.Sinnott R. K. (2005). *Coulson & Richardson's Chemical Engineering Design Vol. 6 4th Ed.* New York: Elsevier