

ANALISA PENGARUH TEMPERATUR AIR LAUT TERHADAP EFISIENSI PENDINGINAN PADA COOLING WATER HEAT EXCHANGER DI PLTU UNIT 1 PT. PJB UP GRESIK

Sutrisno, Moh. Ridwan Efendi
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Gresik

ABSTRAK

PT PJB Unit Pembangkitan Gresik (UP Gresik) merupakan salah satu unit pembangkit listrik yang dalam proses produksinya dihasilkan oleh tenaga uap dan gas. pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) memiliki beberapa komponen utama seperti Boiler, Turbin, Generator, Condenser dan Pompa. sebagai penunjang operasional produksi, unit pembangkit didukung oleh beberapa alat alat bantu, salah satunya cooling water heat exchanger yang berfungsi sebagai media pendinginan dalam siklus pembangkitan, serta berperan penting untuk menjaga kestabilan temperatur di tiap peralatan, maka dalam hal ini analisa efisiensi pendinginan sangat diperlukan untuk menjaga agar unit pembangkit tetap beroperasi secara maksimal.

Perhitungan efisiensi heat exchanger dilakukan di PT. PJB Unit Pembangkitan Gresik khususnya untuk PLTU Unit I selama tiga bulan yang bertujuan untuk mengetahui temperatur air laut yang digunakan sebagai media pendinginan di dalam cooling water heat exchanger serta menganalisa pengaruh temperatur air laut terhadap efisiensi pendinginan yang digunakan untuk mendinginkan alat alat bantu. Analisa yang dilakukan dalam menghitung efisiensi pendinginan menggunakan variabel temperature inlet and outlet pada cooling water and sea water.

Hasil perhitungan sesuai data spesifikasi menunjukkan beban kerja yang digunakan pada cooling water heat exchanger sebesar 7,37 MW dengan efisiensi sebesar 80,8 %. Pengambilan sampel data yang diperoleh selama tiga bulan, dapat disimpulkan bahwa temperatur air laut yang efisien untuk digunakan sebagai media pendinginan di dalam cooling water heat exchanger adalah 33,12 sehingga batasan operasi temperatur air laut yang diizinkan untuk dapat digunakan sebagai media pendinginan antara 33 s/d 35 .

Kata kunci : Efisiensi, Temperatur inlet dan outlet, Cooling water, Sea water.

PENDAHULUAN

PT. Pembangkitan Jawa-Bali (PJB) merupakan produsen listrik yang senantiasa mengabdikan diri untuk bangsa dan negara Indonesia, serta mendorong perkembangan perekonomian nasional dengan menyediakan energi listrik yang bermutu tinggi, andal dan ramah lingkungan. Visi PT PJB menjadi perusahaan terpercaya dalam bisnis

pembangkitan terintegrasi dengan standar kelas dunia.

Berdasarkan visi perusahaan dalam memenuhi kebutuhan listrik tersebut, PT PJB memiliki beberapa pembangkit listrik salah satunya Unit Pembangkitan Gresik (UP Gresik) yang memiliki kapasitas daya 2.218 MW yang terdiri dari 2 unit PLTG, 4 unit PLTU dan 3 Blok PLTGU yang setiap tahun membangkitkan energi listrik rata-rata 12.814 GWh.

PT. PJB UP Gresik merupakan salah satu unit pembangkit yang dalam proses produksinya dihasilkan oleh tenaga uap dan gas. Pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) memiliki beberapa komponen utama seperti Boiler, Turbin, Generator, Condenser dan Pompa. Pembangkit listrik tenaga uap mengkonversi energi kimia dari bahan bakar menjadi energi listrik, untuk menghasilkan listrik boiler berperan mengubah fase air menjadi uap, dari boiler uap akan dialirkan ke turbin utama, selanjutnya uap akan terkondensasi di dalam kondensor dan siap digunakan lagi untuk proses produksi uap di dalam boiler.

Unit pembangkit didukung oleh beberapa alat alat bantu sebagai penunjang operasional produksi, salah satunya *cooling water heat exchanger* (CWHE), dalam hal ini CWHE berfungsi sebagai sarana pendinginan air pendingin. Air pendingin yang dimaksud ada 2 jenis :

- a. Pendingin air tawar, berfungsi sebagai pendinginan peralatan seperti pompa & pelumasan
- b. Pendingin air laut berfungsi untuk mendinginkan air pendingin (air tawar)

Media pendinginan dalam siklus pembangkitan ini sangat berperan penting untuk menjaga kestabilan temperatur di tiap peralatan, jika dalam proses pendinginan tidak maksimal maka akan berdampak pada proses produksi yang berakibat harus menghentikan produksi listrik (*shut down unit*). Maka dalam hal ini analisa efisiensi pendinginan sangat diperlukan

untuk menjaga agar unit pembangkit tetap beroperasi secara maksimal. Dari latar belakang tersebut diperoleh permasalahan mengenai temperatur air laut yang digunakan sudah sesuai untuk dapat digunakan sebagai media pendinginan didalam *cooling water heat exchanger* serta dalam penelitian ini akan membahas mengenai cara untuk mengetahui pengaruh temperatur air laut terhadap efisiensi pendinginan. Tujuan penelitian ini dilakukan alaha untuk mengetahui temperatur air laut yang diizinkan untuk dapat digunakan sebagai media pendinginan di dalam *cooling water heat exchanger*; dan menganalisa pengaruh temperatur air laut yang digunakan sebagai media pendinginan utama di dalam *cooling water heat exchanger* terhadap efisiensi pendinginan fluida pendingin (*service water*) yang digunakan untuk mendinginkan alat alat bantu (*auxiliary common*), sehingga diperoleh manfaat agar mengetahui kondisi pendinginan yang efisien dan sesuai temperatur yang dibutuhkan didalam *cooling water heat exchanger*; memastikan peralatan tidak terjadi panas berlebih ketika sedang beroperasi yang dapat mengganggu operasional / kinerja unit pembangkit; serta

TINJAUAN TEORI

Perpindahan Panas

Penukar panas (*Heat Exchanger*) merupakan suatu peralatan yang berfungsi sebagai pemindah panas antara fluida yang temperaturnya lebih tinggi dengan fluida yang

temperaturnya lebih rendah. Proses perpindahan panas dapat terjadi secara langsung atau tidak langsung. Maksudnya :

- a Perpindahan panas secara langsung ialah dimana fluida yang panas akan bercampur dengan fluida dingin tanpa ada pemisah dalam suatu bejana.
- b Sedangkan perpindahan panas secara tidak langsung ialah dimana fluida panas dan dingin tidak berhubungan langsung atau proses perpindahan panasnya melalui sebuah perantara seperti pipa, *tube*, atau peralatan lainnya.

Heat exchanger dapat diklasifikasikan menjadi berbagai jenis berdasarkan beberapa aspek:

1. *Heat exchanger* berdasarkan proses transfer panas

- ***Heat exchanger* tipe kontak tak langsung**

Heat exchanger tipe ini melibatkan fluida-fluida yang saling bertukar panas dengan adanya lapisan dinding yang memisahkan fluida-fluida tersebut. Sehingga pada *heat exchanger* jenis ini tidak akan terjadi kontak secara langsung antara fluida-fluida yang terlibat.

- ***Heat exchanger* tipe kontak langsung**

Suatu alat yang di dalamnya terjadi perpindahan panas antara satu atau lebih fluida dengan diikuti terjadinya pencampuran sejumlah massa dari fluida-fluida tersebut disebut dengan *heat exchanger* tipe kontak langsung. Perpindahan panas yang diikuti pencampuran fluida-fluida tersebut, biasanya diikuti dengan

terjadinya perubahan fase dari salah satu atau lebih fluida kerja tersebut. Terjadinya perubahan fase tersebut menunjukkan terjadinya perpindahan energi panas yang cukup besar. Perubahan fase tersebut juga meningkatkan kecepatan perpindahan panas yang terjadi.

2. *Heat exchanger* berdasarkan desain konstruksi

Pengklasifikasian *heat exchanger* secara umum dapat dikelompokkan menjadi beberapa kelompok yakni tipe *tubular*, tipe plat, dan tipe *extended-surface*.

- ***Heat exchanger* tipe *tubular***

Heat exchanger tipe ini melibatkan penggunaan *tube* pada desainnya. Bentuk penampang *tube* yang digunakan bisa bundar, elips, kotak, *twisted*, dan lain sebagainya. *Heat exchanger* tipe *tubular* didesain untuk dapat bekerja pada tekanan tinggi, baik tekanan yang berasal dari lingkungan kerjanya maupun perbedaan tekanan tinggi antar fluida kerjanya. Tipe *tubular* sangat umum digunakan untuk fluida kerja cair-cair, cair-uap, cair-gas, ataupun juga gas-gas. Namun untuk penggunaan pada fluida kerja gas-cair atau juga gas-gas, khusus untuk digunakan pada kondisi fluida kerja bertekanan dan bertemperatur tinggi sehingga tidak ada jenis *heat exchanger* lain yang mampu untuk bekerja pada kondisi tersebut. Salah satu jenis *heat exchanger* tipe *tubular* adalah tipe *shell & tube*.

Heat exchanger tipe *shell & tube* menjadi satu tipe yang paling mudah dikenal. Tipe ini

melibatkan tube sebagai komponen utamanya. Salah satu fluida mengalir di dalam tube, sedangkan fluida lainnya mengalir di luar tube. Pipa-pipa tube didesain berada di dalam sebuah ruang berbentuk silinder yang disebut dengan shell, sedemikian rupa sehingga pipa-pipa tube tersebut berada sejajar dengan sumbu shell.

Komponen-komponen utama dari *heat exchanger* tipe *shell & tube* adalah sebagai berikut :

a) Tube

Pipa tube berpenampang lingkaran menjadi jenis yang paling banyak digunakan pada *heat exchanger* tipe ini. Desain rangkaian pipa tube dapat bermacam-macam sesuai dengan fluida kerja yang dihadapi.

b) Shell

Bagian ini menjadi tempat mengalirnya fluida kerja yang lain selain yang mengalir di dalam tube. Umumnya shell didesain berbentuk silinder dengan penampang melingkar. Material untuk membuat shell ini adalah pipa silindris jika diameter desain dari shell tersebut kurang dari 0,6 meter. Sedangkan jika lebih dari 0,6 meter, maka digunakan bahan plat metal yang dibentuk silindris dan disambung dengan proses pengelasan.

Tipe-tipe desain dari shell ditunjukkan pada gambar di atas. Tipe E adalah yang paling banyak digunakan karena desainnya yang sederhana serta harga yang

relatif murah. Shell tipe F memiliki nilai efisiensi perpindahan panas yang lebih tinggi dari tipe E, karena shell tipe didesain untuk memiliki dua aliran (aliran U). Aliran sisi shell yang dipecah seperti pada tipe G, H, dan J, digunakan pada kondisi-kondisi khusus seperti pada kondenser dan boiler *thermosiphon*. Shell tipe K digunakan pada pemanas kolam air. Sedangkan shell tipe X biasa digunakan untuk proses penurunan tekanan uap.

c) Nozzle

Titik masuk fluida ke dalam *heat exchanger*, entah itu sisi shell ataupun sisi tube, dibutuhkan sebuah komponen agar fluida kerja dapat didistribusikan merata di semua titik. Komponen tersebut adalah nozzle. Nozzle ini berbeda dengan nozzle-nozzle pada umumnya yang digunakan pada mesin turbin gas atau pada berbagai alat ukur. Nozzle pada inlet *heat exchanger* akan membuat aliran fluida yang masuk menjadi lebih merata, sehingga didapatkan efisiensi perpindahan panas yang tinggi.

d) *Front-end* dan *rear-end head*

Bagian ini berfungsi sebagai tempat masuk dan keluar dari fluida sisi pipa tubing. Selain itu bagian ini juga berfungsi untuk menghadapi adanya efek pemuaian. Berbagai tipe *front-end* dan

rear-end head ditunjukkan pada gambar di atas.

e) Baffle
Ada dua jenis baffle yang ada pada heat exchanger tipe shell & tube, yakni tipe longitudinal dan transversal. Keduanya berfungsi sebagai pengatur arah aliran fluida sisi shell. Beberapa contoh desain baffle ditunjukkan pada gambar di samping.

f) Tube sheet
Pipa-pipa tubing yang melintang longitudinal membutuhkan penyangga agar posisinya bisa stabil. Jika sebuah heat exchanger menggunakan baffle transversal, maka ia juga berfungsi ganda sebagai penyangga pipa tubing. Namun jika tidak menggunakan baffle, maka diperlukan penyangga khusus.

g) Double-pipe
Heat exchanger ini menggunakan dua pipa dengan diameter yang berbeda. Pipa dengan diameter lebih kecil dipasang paralel di dalam pipa berdiameter lebih besar. Perpindahan panas terjadi pada saat fluida kerja yang satu mengalir di dalam pipa diameter kecil, dan fluida kerja lainnya mengalir di luar pipa tersebut. Arah aliran fluida dapat didesain berlawanan arah untuk mendapatkan perubahan temperatur yang tinggi, atau jika diinginkan temperatur yang merata pada semua sisi dinding heat exchanger maka

arah aliran fluida dapat didesain searah.

h) Spiral tube
Heat exchanger tipe ini menggunakan pipa tube yang didesain membentuk spiral di dalam sisi shell. Perpindahan panas pada tipe ini sangat efisien, namun di sisi hampir tidak mungkin untuk melakukan pembersihan sisi dalam tube apabila kotor.

- **Heat exchanger tipe plate (Plat)**

Heat exchanger tipe ini menggunakan plat tipis sebagai komponen utamanya. Plat yang digunakan dapat berbentuk polos ataupun bergelombang sesuai dengan desain yang dikembangkan. *Heat exchanger* jenis ini tidak cocok untuk digunakan pada tekanan fluida kerja yang tinggi, dan juga pada diferensial temperatur fluida yang tinggi pula.

- **Heat exchanger dengan sirip (Extended Surface)**

Satu kelemahan dari *heat exchanger* tipe tubular dan plat adalah koefisien perpindahan panas yang relatif rendah, yakni hanya mampu mencapai maksimal 60%. Hal ini dikarenakan angka perbandingan luas permukaan perpindahan panas tiap satuan volume yang rendah. Sehingga salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi perpindahan panas adalah dengan jalan meningkatkan luas permukaan perpindahan panas, yakni dengan menggunakan sirip, berikut adalah desain *heat exchanger* dengan plat sirip.

Heat exchanger tipe ini merupakan modifikasi dari *heat*

exchanger tipe plat yang diberi tambahan sirip. Prinsip desainnya adalah penggunaan sirip yang berbentuk segitiga ataupun kotak yang dipasangkan di antara dua plat paralel. Salah satu aplikasi heat exchanger plat dengan sirip dapat kita lihat pada gambar di atas, yakni sebuah heat exchanger yang berfungsi untuk merubah gas refrigerant agar kembali ke fase cair dengan media pendingin udara. Pada kondensor ini ada dua bentuk sirip, yang pertama berukuran kecil dan terpasang memanjang sejajar dengan panjang plat. Sisi tersebut menjadi jalur aliran fluida refrigerant. Sirip yang kedua berukuran lebih besar berbentuk segitiga dan terpasang di antara dua plat yang mengalirkan refrigerant. Udara sebagai fluida pendingin mengalir melewati sirip-sirip segitiga tersebut dan menciptakan aliran yang tegak lurus (cross-flow) dengan aliran refrigerant.

3. Heat exchanger berdasarkan bentuk aliran fluida

Penentuan desain aliran fluida di dalam sebuah *heat exchanger* tergantung dari kebutuhan tingkat keefektifan perpindahan panas yang diinginkan, penurunan tekanan yang diijinkan, kecepatan aliran fluida minimum dan maksimum yang diperbolehkan, bentuk aliran fluida, desain bentuk *heat exchanger*, tegangan termal yang diijinkan, perubahan temperatur yang dibutuhkan, desain sistem perpipaan, serta berbagai pertimbangan yang lain. Pada gambar berikut ini merupakan tipe aliran *singlepass* dan *multipass* pada sebuah *heat exchanger*.

Fluida yang mengalir di dalam sebuah *heat exchanger* bisa

berupa *single-pass* atau juga *multi-pass*. Dikatakan *single-pass* yakni apabila fluida mengalir hanya satu kali di dalam *heat exchanger*. Sedangkan dikatakan *multi-pass* apabila fluida mengalir lebih dari satu kali di dalam sebuah *heat exchanger*. Dari konsep *multi-pass* tersebut, berikut adalah beberapa tipe *heat exchanger* berdasarkan bentuk aliran fluida.

- **Heat exchanger tipe single-pass**

- a) **Counterflow heat exchanger**

Fluida-fluida yang mengalir pada *heat exchanger* tipe ini berada saling sejajar, akan tetapi memiliki arah yang saling berlawanan. Desain ini menghasilkan efisiensi perpindahan panas yang paling baik diantara jenis *heat exchanger* yang lain. Hal ini disebabkan karena fluida dingin yang masuk ke dalam *exchanger* akan bertemu dengan fluida sumber panas yang akan keluar dari *exchanger*, dimana fluida ini sudah mengalami penurunan panas. Begitu pula pada sisi outlet fluida yang dipanaskan, ia akan dipanaskan oleh fluida sumber panas yang baru saja masuk ke *exchanger* tersebut. Untuk lebih jelasnya, mari kita perhatikan gambar berikut.

- b) **Paralel flow heat exchanger**

Fluida-fluida kerja pada *heat exchanger* tipe ini mengalir sejajar dan memiliki arah aliran yang sama antara fluida satu dengan yang lainnya. Fluida-fluida tersebut masuk dan keluar *heat exchanger* melalui sisi

yang sama. Desain aliran fluida yang searah pada heat exchanger tipe ini, menghasilkan tingkat efisiensi perpindahan panas yang buruk di antara semua heat exchanger tipe single-pass.

- c) *Crossflow heat exchanger*
Dua fluida yang mengalir di heat exchanger tipe ini memiliki arah yang saling tegak lurus atau bersilangan. Secara termodinamik, tipe ini memiliki efisiensi perpindahan panas yang lebih rendah daripada tipe counterflow tetapi lebih tinggi daripada tipe paralelflow. Perpindahan panas yang paling efisien terjadi pada sudut-sudut aliran. Untuk lebih jelasnya mari kita perhatikan gambar-gambar berikut.
- d) *Split-flow heat exchanger*
Heat exchanger ini berdesain shell & tube dengan satu fluida yang masuk ke sisi shell melalui bagian tengah lalu mengalir secara longitudinal ke dua arah, berbelok 180 °C pada ujung-ujung shell dan berkumpul untuk keluar melalui sisi outlet. Fluida yang lain mengalir lurus dan hanya satu arah melintasi sisi tube. Untuk lebih memahami tipe ini, mari kita perhatikan gambar di bawah ini.
- e) *Divided-flow heat exchanger*
Pada tipe ini, salah satu fluida masuk ke sisi shell melalui inlet yang terletak pada tengah-tengah heat exchanger. Di dalam sisi

shell, fluida ini mengalir ke dua arah dan keluar melalui dua outlet. Fluida yang lain mengalir lurus pada sisi tube. Untuk lebih jelasnya dapat kita lihat pada gambar berikut.

- f) *Multipass crossflow exchanger*
Heat exchanger tipe ini menyederhanakan desain seri atau paralel dari beberapa heat exchanger menjadi lebih compact dan tidak memakan banyak ruang. Tersusun atas dua atau lebih fluida kerja yang mengalir dengan arah aliran yang saling tegak lurus.

Prinsip Kerja Heat Exchanger

Panas merupakan salah satu bentuk energi yang dapat dipindahkan dari suatu tempat ke tempat yang lain. Dalam suatu proses panas dapat mengakibatkan terjadinya kenaikan suhu suatu zat dan perubahan tekanan, reaksi kimia dan kelistrikan.

1. Konduksi

Konduksi / hantaran merupakan perpindahan panas antara molekul-molekul yang saling berdekatan antara satu dengan yang lainnya dan tidak diikuti oleh perpindahan molekul-molekul tersebut secara fisik. molekul benda panas akan bergetar lebih cepat dibanding dengan molekul dalam keadaan dingin. Getaran yang cepat ini tenaganya akan berpindah ke molekul di sekelilingnya sehingga akan menyebabkan getaran lebih cepat yang akan memberikan panas.

2. Konveksi

Secara teori panas dipindahkan oleh molekul molekul yang bergerak (mengalir) karena adanya tekanan. Dalam hal ini kecepatan gerakan (aliran) memegang peranan penting dalam proses konveksi hanya terjadi pada fluida.

3. Isolasi Panas

Mencegah kehilangan panas alat-alat, pipa-pipa steam/gas yang bersuhu tinggi ke sekeliling yang suhunya lebih rendah, atau sebaliknya. Isolasi juga dapat mencegah masuknya panas karena suhu sekitarnya yang lebih tinggi, serta dapat mencegah bahaya yang dapat timbul bila orang menyentuh permukaan benda yang sangat panas/dingin. Umumnya bahan isolasi memiliki daya hantar panas rendah, dapat menahan arus konveksi, dan dapat disesuaikan dengan suhu.

4. Massa Jenis

Waktu yang diperlukan untuk menaikkan suhu zat cair dipengaruhi oleh jumlah zat cair. Semakin banyak zat cair maka semakin lama waktu yang diperlukan untuk menaikkan suhu zat. Banyaknya benda yang dipanaskan pada umumnya dinyatakan dengan massa benda. Massa benda dilambangkan dengan m dengan satuan kilogram (kg). Sedangkan untuk massa jenis suatu zat dilambangkan dengan satuan (ρ).

Besarnya massa jenis pada beberapa zat berbeda-beda. Satuan massa jenis dalam SI adalah (kg/m^3). Besarnya

massa jenis pada beberapa zat dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1 Daftar massa jenis pada beberapa zat

No	Jenis Zat	Massa Jenis	Jenis Zat	Massa Jenis
		kg/m^3		kg/m^3
1.	Air Tawar	1000	Es	920
2.	Air Laut	1030	Aluminium	2700
3.	Darah	1060	Besi & baja	7800
4.	Bensin	680	Emas	19300
5.	Air Raksa	13600	Gelas	2400 - 2800
6.	Udara	1293	Kayu	300 - 900
7.	Helium	0,1786	Temba ga	8900
8.	Hidrogen	0,08994	Timah	11300
9.	Uap Air	0,6	Tulang	1700 - 2000

5. Perbedaan suhu rata-rata

Dalam perpindahan panas perbedaan suhu mengendalikan laju pemindahan panas. Suhu fluida dalam alat sering tidak tetap. Dalam perhitungan digunakan perbedaan suhu rata-rata.

$$\Delta t_{LMTD} = \frac{(T_2 - t_2) - (T_1 - t_1)}{\ln \frac{(T_2 - t_2)}{(T_1 - t_1)}} \quad [1]$$

Perbedaan suhu ini disebut perbedaan suhu rata-rata logaritma (*Log Mean Temperature Difference*) disingkat LMTD.

$$Q = U \times A \times (\Delta t)_{LMTD} \quad [2]$$

6. Perpindahan panas radiasi

Perpindahan panas dipengaruhi oleh pergerakan foton yang tak terorganisir, setiap benda memancarkan foton secara serampangan didalam arah, waktu, dan energy netto yang dipindahkan oleh foton tersebut. Adapun dalam analisis

termal dari setiap *heat exchanger* dapat menggunakan persamaan perpindahan panas berikut.

$$\dot{Q} = (\dot{m}_{h_{in}} \times I_{in}) - (\dot{m}_{h_{out}} \times I_{out}) \quad [3]$$

Dimana :

\dot{Q} = Perpindahan panas di dalam *heat exchanger*

$\dot{m}_{h_{in}}$ = Mass flow rate sea water masuk *heat exchanger*

I_{in} = Enthalpy sea water masuk *heat exchanger*

$\dot{m}_{h_{out}}$ = Mass flow rate cooling water keluar *heat exchanger*

I_{out} = Enthalpy cooling water keluar *heat exchanger*

Berdasarkan kaidah ilmu perpindahan panas, ada dua metode untuk mencari koefisien konveksi *fluida* panas, yaitu Log Mean Temperature Different (LMTD) dan Number of Thermal Unit (NTU). Metode yang akan digunakan dalam paparan berikut adalah metode LMTD karena inputan data yang dibutuhkan telah lengkap sehingga lebih mudah untuk menggunakan metode ini. Persamaan yang digunakan adalah :

$$\dot{Q} = U \times A \times \Delta T_{lm,CF} \quad [4]$$

Dengan :

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

$$A = N \cdot \pi \cdot D \cdot L$$

$$\Delta T_{lm,CF} = \frac{(T_{hi} - T_{co}) - (T_{ho} - T_{ci})}{\ln [(T_{hi} - T_{co}) / (T_{ho} - T_{ci})]} \quad [5]$$

Dimana :

U = Overall koefisien konveksi

A = Cooling surface

F = Faktor Koreksi untuk *Heat Exchanger* type shell and tube

$\Delta T_{lm,CF}$ = Log Mean Temperatur Difference (LMTD)

7. Analisa perhitungan efisiensi

Prinsip kerja pada cooling water heat exchanger adalah mendinginkan *fluida* pendingin, yaitu air pendingin (cooler), media yang digunakan adalah air tawar yang telah digunakan untuk mendinginkan beberapa peralatan bantu unit, kemudian didinginkan oleh air laut.

Efisiensi merupakan sebuah besaran yang dapat menjelaskan seberapa efektif kerja sebuah heat exchanger. Berikut persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung efisiensi tersebut :

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{max}} \quad [6]$$

Dengan :

$$\dot{Q}_{max} = C_{min} (T_1 - t_1),$$

$$C_{min} = C_c = \dot{m}_{t1} \times C_p \text{ atau}$$

$$C_{min} = C_h = \dot{m}_{t1} \times C_p$$

Dimana :

\dot{Q}_{max} = Perpindahan panas maximum yang mungkin dicapai oleh CWHE

C_c = Kapasitas panas *fluida* pendingin

C_h = Kapasitas panas *fluida* panas

C_{min} = Kapasitas panas minimum

Sehingga bisa dihitung :

$$C_p = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}_{ci} \times (T_{co} - T_{ci})} \quad [7]$$

$$C_c = \frac{\dot{Q}}{(T_{co} - T_{ci})}$$

$$C_{ph} = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}_h \times (T_{ho} - T_{hi})}$$

$$C_h = \frac{\dot{Q}}{(T_{ho} - T_{hi})}$$

Operation and maintenance of heat exchanger

Dalam operasional *cooling water heat exchanger* di PLTU Unit 1 yang perlu diperhatikan adalah temperatur, karena jika temperatur melebihi 39 °C, dipastikan adanya pengendapan kotoran (*fouling*) pada permukaan bidang perpindahan panas yang dapat mengakibatkan peningkatan panas (koef perpindahan panas mengecil). *Fouling* terjadi dalam *waterbox* CWHE, sehingga dalam pemeliharannya dilakukan pembersihan dalam *waterbox* karena sumbatan sampah didalamnya. *Fouling* juga menambah tahanan terhadap aliran fluida yang dapat memperbesar beda suhu rata-rata (LMTD).

Kemampuan kerja *cooling water heat exchanger* dapat di evaluasi dengan membuat neraca panas. Untuk itu pengumpulan data diperlukan agar dapat memudahkan penetapan kapan penghentian harus dilakukan, dapat dilakukan pengamatan perubahan LMTD dan kehilangan tekanan pada *tube*.

Data dan spesifikasi cooling water heat exchanger

Cooling water heat exchanger (CWHE) PLTU unit 1 PJB Unit Pembangkitan Gresik digunakan untuk mendinginkan air pendinginan dari peralatan tambahan seperti : pendingin pada *boiler feed pump bearing*, pendingin minyak turbin, pendingin

hydrogen pada generator, pendingin kontrol udara pada compressor, pompa vakum dan peralatan tambahan lainnya dimana air pendingin dibutuhkan.

Heat exchanger yang digunakan tipe *shell & tube*, dimana air service/air tawar dipompa oleh *cooling water pump* untuk dialirkan kedalam shell CWHE, di waktu yang sama air laut yang di pompa oleh *circulating water pump* dialirkan ke dalam tube CWHE untuk mendinginkan air pendingin.

1. Fungsi

Sebagai alat untuk menurunkan temperatur air pendingin yang akan digunakan sebagai pendingin suatu peralatan atau alat-alat bantu lainnya (sebagai alat penukar panas). Berikut data spesifikasi *cooling water heat exchanger* PLTU #1.

2. Spesifikasi cooling water heat exchanger

Type : *Horizontal Mounting Shell and Tube Type*
Manufacture : Toshiba

Number of sets : Two (2) per Unit

Cooler Surface : 230 m² (*cooling area*)

Cleanliness factor : 85 %

Tube side

- 1) *Fluid Entering* : *Sea Water*
- 2) *Sea Water Flow* : 1000 m³/h
- 3) *Inlet Temperature* : 33 °C
- 4) *Outlet Temperature* : 34,92 °C
- 5) *Water Velocity in tube* : 2.0 m/sec
- 6) *No. of water passes* : 2
- 7) *Design Pressure* : 2.3 kg/cm²
- 8) *Design Temperature* : 43 °C
- 9) *Hydrostatic test press* : 3.5 kg/cm²

Shell side

- 1) *Fluid Entering* : *Cooling Water*
- 2) *Cooling Water Flow* : 385 m³/h
- 3) *Inlet Temperature* : 42,98 °C
- 4) *Outlet Temperature* : 38 °C

- 5) *No. of water passes* : 1
- 6) *Design Pressure* : 7.5 kg/cm²
- 7) *Design Temperature* : 58 °C
- 8) *Hydrostatic test press* : 11.3 kg/cm²

air tawar untuk pendingin banyak).

Tube Surface Area : Gas
Tube

Tabel 2 *Materials of integral parts*

Name of Part	Material	Spec No.
<i>Tubes</i>	<i>Aluminum Brass</i>	<i>JIS H-3632 BsTF2-0</i>
<i>Tube Plate</i>	<i>Naval Brass</i>	<i>JIS H3203 NBsPI</i>
<i>Shell & Flanges</i>	<i>Rolled Steel Plate</i>	<i>JIS G-3101 SS41</i>
<i>Channel & Covers</i>	<i>Rolled Steel Plate</i>	<i>JIS G-3101 SS41</i>
<i>Tube Support & Support Feet</i>	<i>Rolled Steel Plate</i>	<i>JIS G-3101 SS41</i>

- 1. *Outside dia.* : 19 mm
- 2. *Thickness* : 1.25 mm
- 3. *Effective Length* : 3010
- 4. *Number of Tube* : 1300
- 5. *Number of Tube Pass* : 2
- 6. *Type* : *Straight*

Thickness of integral parts

- 1. *Tube plates* : 70 mm
- 2. *Channel* : 9 mm
- 3. *Channel Cover* : 70 mm
- 4. *Shell* : 12 mm

3. Batasan Operasi

- 1. Temperatur outlet *service water* tinggi (alarm : 39 °C) / CWHE kotor.
- 2. Bila terjadi kebocoran tube CWHE (ada indikasi pemakaian

Tabel 3 *Temperature ambient of cooling water heat exchanger PLTU unit 1*

Temperature (°C)	Pot Life (Minute)
5	150
20	90
30	60
40	40

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu

Penelitian dilakukan di PT. PJB Unit Pembangkitan Gresik khususnya untuk PLTU unit I mulai tanggal 1 februari 2018 sampai dengan 30 april 2018.

Jenis Penelitian

Jenis penelitian adalah perhitungan efisiensi pendinginan pada cooling water heat exchanger sesuai data spesifikasi dan sesuai dengan data yang didapat.

Variabel Penelitian

Variabel yang diperlukan dalam penelitian adalah :

- 1. *Cooling water temperature inlet and outlet*
- 2. *Sea water temperature inlet and outlet*
- 3. Efisiensi *cooling water heat exchanger*

Tahapan Penelitian

Penelitian yang dilakukan sesuai pada alur berikut :

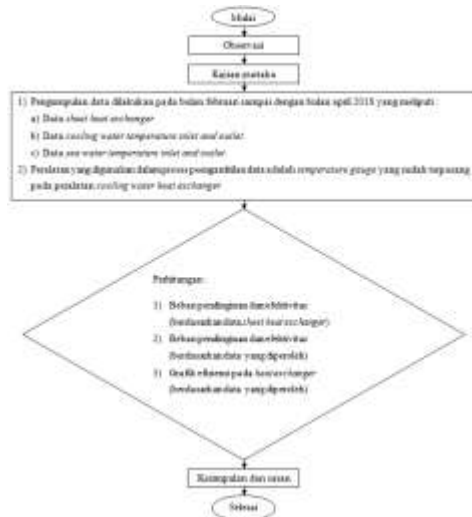


Diagram 1 Perhitungan Efisiensi Pada Heat Exchanger

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data spesifikasi cooling water heat exchanger

Spesifikasi *cooling water heat exchanger* PLTU unit 1 dapat dilihat pada buku *Instruction Manual-Div.II for Steam Turbine And Auxiliary Equipment Book T-2*, berikut data yang sudah di dapat :

Type : *Horizontal Mounting Sheel and Tube Type*

Manufacture : Toshiba

Number of sets : Two (2) per Unit

Cooler Surface : 230 m² (cooling area)

Tube side

- 1) Fluid Entering : Sea Water
- 2) Sea Water Flow : 1000 m³/h
- 3) Inlet Temperature : 33 °C
- 4) Outlet Temperature : 34,92 °C
- 5) No. of water passes : 2
- 6) Design Pressure : 2.3 kg/cm²
- 7) Design Temperature : 43 °C
- 8) Hydrostatic test press : 3.5 kg/cm²

Shell side

- 1) Fluid Entering : Cooling Water
- 2) Cooling Water Flow : 385 m³/h
- 3) Inlet Temperature : 42,98 °C

- 4) Outlet Temperature : 38 °C
- 5) No. of water passes : 1
- 6) Design Pressure : 7.5 kg/cm²
- 7) Design Temperature : 58 °C
- 8) Hydrostatic test press : 11.3 kg/cm²

- 1) Outside diameter : 0,019 m
- 2) Thickness : 1,25 mm
- 3) Effective Length : 3010 mm
- 4) Number of Tube : 1300
- 5) Number of Tube Pass : 2
- 6) Type : Straight

Thickness of integral parts

- | | |
|---------------|---------|
| Tube plates | : 70 mm |
| Channel | : 9 mm |
| Channel Cover | : 70 mm |
| Shell | : 12 mm |

Perhitungan beban pendinginan

1. Koefisien konveksi fluida pendingin (hi)

Perpindahan panas yang terdapat dalam *cooling water heat exchanger* merupakan perpindahan panas konveksi, Dalam hal ini yang bertindak sebagai fluida pendingin adalah *sea water* (hi), fluida panasnya (ho) adalah *cooling water* dan permukaan yang dimaksud adalah *tube*. Maka koefisien perpindahan panas yang akan dicari merupakan koefisien konveksi. Koefisien konveksi merupakan sebuah satuan yang dapat menggambarkan berapakah panas yang dipindahkan fluida per satuan luas permukaan tiap kenaikan satu derajat temperaturnya. Karena ada dua macam fluida yang bekerja, maka ada dua nilai koefisien konveksi, yaitu koefisien konveksi

fluida panas dan koefisien konveksi fluida pendingin. Koefisien konveksi fluida pendingin dicari dengan persamaan berikut ini :

$$h_i = Nu \cdot k/D$$

Dimana :

h_i = Koefisien konveksi dalam tube (fluida pendingin)

Nu = Nusselt number

k = Konduktifitas panas

D = Diameter tube

Nusselt number didapatkan dari persamaan berikut :

$$Nu = 0,023 \times Re^{4/5} \times Pr^{0,4}$$

$$Re = \frac{4 \cdot \dot{m}_{ci}}{\pi \cdot D \cdot \mu}$$

Dimana :

Re = Reynolds number

Pr = Prandtl number

\dot{m}_{ci} = Mass flow rate fluida pendingin masuk

μ = Viskositas

Berdasarkan persamaan diatas, maka untuk mendapatkan koefisien konveksi harus diketahui lebih dahulu reynolds number dan nusselt number, dan untuk nilai properties didapatkan dari tabel “*Thermophysical Properties of Saturated Water*”.

$$\begin{aligned} \dot{m}_{ci} &= \frac{V_{ci} \cdot \rho}{N} \\ &= \frac{1000 \text{ (m}^3/\text{h)} \cdot 1030 \text{ (kg/m}^3\text{)}}{1300} \\ &= 792,307 \text{ kg/h} \\ &= \frac{792,307}{3600} = 0,220 \text{ kg/s (per} \end{aligned}$$

tube)

$$\begin{aligned} \bar{T}_c &= \frac{(T_{in} + T_{out})}{2} \\ &= \frac{33 \text{ }^\circ\text{C} + 34,92 \text{ }^\circ\text{C}}{2} \\ &= 33,96 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Dengan nilai rata-rata temperatur tersebut dapat dicari pada *properties of saturated water*.

$$k = 0,623 \text{ w/m.k}$$

$$\mu = 0,000720$$

$$Pr = 4,83$$

Maka :

$$\begin{aligned} Re &= \frac{4 \cdot m_c}{\pi \cdot D \cdot \mu} \\ &= \frac{4 \cdot 0,220}{\pi \cdot 0,019 \cdot 0,000720} \\ &= 20.476,07 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Nu &= 0,220 \times 20.476,07^{(4/5)} \times 4,83^{(0,4)} \\ &= 1.161,445 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_{in} &= 1.161,445 \times \frac{0,623 \frac{\text{w}}{\text{m}} \cdot \text{k}}{0,019 \text{ m}} \\ &= 38.083,18 \frac{\text{w}}{\text{m}^2} \cdot \text{k} \end{aligned}$$

Dengan demikian, sekarang sudah diketahui bahwa target koefisien konveksi untuk fluida pendingin yang dirancang oleh pabrikan sebesar $\pm 38.083,18 \frac{\text{w}}{\text{m}^2} \cdot \text{k}$.

2. Koefisien konveksi fluida panas (ho)

$$\begin{aligned} \dot{m}_{ci} &= \frac{V_{ci} \cdot \rho}{N} \\ &= \frac{385 \text{ (m}^3/\text{h)} \cdot 1030 \text{ (kg/m}^3\text{)}}{1300} \\ &= 296,153 \text{ kg/h} \\ &= \frac{296,153}{3600} = 0,082 \text{ kg/s (per} \end{aligned}$$

tube)

$$\begin{aligned} \bar{T}_c &= \frac{(T_{in} + T_{out})}{2} \\ &= \frac{42,98 \text{ }^\circ\text{C} + 38 \text{ }^\circ\text{C}}{2} \\ &= 40,49 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Dengan nilai rata-rata temperatur tersebut dapat dicari pada *properties of*

saturated water dari tabel A-9 (berdasarkan data pada tabel A-9)

$$\begin{aligned}
 k &= 0,631 \text{ w/m.k} \\
 \mu &= 0,000653 \\
 Pr &= 4,32 \\
 Re &= \frac{4 \cdot m_c}{\pi \cdot D \cdot \mu} \\
 &= \frac{4 \cdot 0,082}{\pi \cdot 0,019 \cdot 0,000653} \\
 &= 8.415,059 \\
 Nu &= 0,082 \times 8.415,059^{(0,4)} \times 4,32^{(0,4)} \\
 &= 203,260 \\
 h_{out} &= 203,260 \times \frac{0,631 \frac{w}{m} \cdot k}{0,019 m} \\
 &= 6.750,38 \frac{w}{m^2} k
 \end{aligned}$$

Dengan demikian, sekarang sudah diketahui bahwa target koefisien konveksi untuk fluida pendingin yang dirancang oleh pabrikan sebesar $\pm 6.750,38 \frac{w}{m^2} k$.

3. Overall koefisien konveksi

Berdasarkan kaidah ilmu perpindahan panas, perhitungan overall koefisien konveksi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{1}{\left(\frac{1}{h_{in}}\right) + \left(\frac{1}{h_{out}}\right)} \\
 &= \frac{1}{\left(\frac{1}{38,083,18}\right) + \left(\frac{1}{6.750,38}\right)} \\
 &= 5.734,007 \frac{w}{m^2} k
 \end{aligned}$$

Jadi berdasarkan perhitungan diatas, maka didapat overall koefisien konveksi sebesar $5.734,007 \frac{w}{m^2} k$

4. Batas minimum perpindahan panas

Berdasarkan data yang telah di dapat dari hasil perhitungan sebelumnya, maka dapat dihitung perpindahan panas

minimum dengan persamaan dibawah ini.

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot \Delta T_{lm,CF}$$

Dimana :

$$\begin{aligned}
 U &= \text{Overall koefisien konveksi} \\
 A &= \text{Cooling surface} \\
 \Delta T_{lm,CF} &= \text{Log Mean Temperatur Difference (LMTD)}
 \end{aligned}$$

Diketahui :

$$U = 5.734,007 \frac{w}{m^2} k = 5460,857 \frac{w}{m^2} k$$

$$A = 230 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned}
 \Delta T_{lm,CF} &= \frac{(T_1 - T_2) - (T_1 - T_1)}{\ln \frac{(T_1 - T_2)}{(T_1 - T_1)}} \\
 &= \frac{(38 - 34,92) - (42,98 - 33)}{\ln \frac{(38 - 34,92)}{(42,98 - 33)}} \\
 &= \frac{-6,9}{\ln 0,308} \\
 &= \frac{-6,9}{-1,175} \\
 &= 5,869 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q &= U \cdot A \cdot \Delta T_{lm,CF} \\
 &= 5460,857 \frac{w}{m^2} \text{ }^\circ\text{C} \times 230 \text{ m}^2 \times 5,869 \text{ }^\circ\text{C} \\
 &= 7.371.447,03 \text{ W} \\
 &= 7,37 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

Perpindahan panas minimum CWHE PLTU unit 1 sebesar $\pm 7,37 \text{ MW}$.

5. Perhitungan efektifitas cooling water heat exchanger

• Perhitungan efektifitas berdasarkan data spesifikasi

Perhitungan efisiensi CWHE dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{Q}_{cmax}}$$

Dengan :

$$\begin{aligned}
 \dot{Q}_{max} &= C_{min} (T_1 - t_1), \\
 C_{min} &= C_c = m_{t1} \times C_p \text{ atau} \\
 C_{min} &= C_h = m_{t1} \times C_p
 \end{aligned}$$

dilakukan pembersihan pada waterbox karena tersumbat oleh sampah yang mengakibatkan aliran air laut tidak bisa masuk kedalam tube.

Peralatan utama yang digunakan dalam proses produksi listrik selalu terjaga dan dipelihara dengan baik. Setiap setahun sekali dilakukan *overhaull* unit, selama *overhaull* unit beberapa peralatan dilakukan perbaikan dan penggantian *spare part*, termasuk *cooling water heat exchanger* yang selalu dilakukan pembersihan dan penggantian *spare part*, berikut aktifitas yang dilakukan selama *overhaull cooling water heat exchanger* antara lain :

- a. Membersihkan *waterbox*
- b. Penggantian *cathodic protection*
- c. Pemeriksaan *tube* dan bila perlu dilakukan penggantian

Sehingga dengan adanya rutin pemeliharaan tersebut, maka kinerja peralatan akan tetap optimal dan unit pembangkit akan tetap beroperasi dengan baik.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Beban kerja yang diperoleh pada *cooling water heat exchanger* berdasarkan data spesifikasi sebesar 7,37 MW.
2. Efisiensi yang didapat sesuai data spesifikasi awal pada desain *cooling water heat exchanger* sebesar 80,8 %.
3. Pengambilan sampel data yang diperoleh pada bulan februari s/d april 2018, dapat disimpulkan bahwa temperatur air laut yang efisien untuk digunakan sebagai media pendinginan di dalam *cooling*

water heat exchanger adalah 33,12 °C.

4. Dalam batasan operasi temperatur air laut yang diizinkan untuk digunakan sebagai media pendinginan antara 33 °C s/d 35 °C.

Saran

1. Sesuai hasil perhitungan yang didapat, efisiensi operasional *cooling water heat exchanger* dipengaruhi oleh temperatur air laut yang digunakan sebagai media pendinginan, maka operator harus sering melihat secara berkala kondisi air laut yang akan digunakan.
2. Selain kondisi air laut, kebersihan *waterbox* juga harus terjaga, karena adanya sampah yang masuk ke dalam *waterbox* dapat menghambat laju aliran air laut yang masuk.
3. Serta rutin dalam penggantian material khusus saat *overhaul* unit seperti *cathodic protection* di dalam *cooling water heat exchanger* yang berfungsi untuk mencegah material dari korosif serta menghambat tumbuhnya biota laut atau sejenis kerang yang akan menempel pada dinding *waterbox cooling water heat exchanger*.

DAFTAR PUSTAKA

- Instruction Manual-Div.II*. 1979. *Steam Turbine And Auxiliary Equipment Book T-2*. Gresik : PT PLN PJB II Sektor Gresik.
- Instruksi Kerja No. IKG-17.1.1.63. 2017. *Change Over Cooling Water Heat Exchanger PLTU 1-2*. Gresik : PJB-IMS.
- Incropera Frank P, David P, Theodore L, dan Adrinne S.

2007. *Fundamental of heat and mass transfer sixth edition*. United States of America : John Wiley & Sons, INC.

Adi Saputra, Elang. 2016. *Analisa Heat Exchanger pada Gear Box Oli Reducer Dryer di PT Petrokimia Gresik*. Gresik : Fakultas Teknik Mesin Universitas Gresik.

[Syaiful](http://chemicalengineeringnow.blogspot.com), rakhmat. 2015. *Heat Exchanger : Alat Penukar Panas*.
<http://chemicalengineeringnow.blogspot.com>. [07 Desember 2017]

Kern, Donald Q. 1965. *Process Heat Transfer*. Singapore : McGraw-Hill Book Company.

Wark, Kenneth. 1983. *Thermodynamics 4th ed*. New York : McGraw-Hill.