

ANALISIS DAN PERHITUNGAN BEBAN SISTEM PENDINGIN TIPE PLAT (PHE) REAKTOR KARTINI PADA DAYA 250 kW

Suyamto, Maksu Ischaq, Soeleman

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Maju Yogyakarta

ABSTRAK

ANALISIS DAN PERHITUNGAN BEBAN SISTEM PENDINGIN TIPE PLAT (PHE) REAKTOR KARTINI PADA DAYA 250 kW. Dalam rangka peningkatan daya reaktor dari 100 kW menjadi 250 kW, telah dilakukan analisis perhitungan beban sistem pendingin tipe plat (PHE). Perhitungan didasarkan pada kondisi dan kinerja PHE saat ini dan suhu ATR maksimum yang diijinkan $T_{11} = 41$ °C. Kinerja PHE dapat diketahui dengan mengoperasikan reaktor pada daya 100 kW sampai kondisi tunak. Dari beberapa kali pengujian PHE yang dilakukan di mana reaktor dioperasikan pada daya 100 kW selama 6 jam atau lebih pada kondisi tunak, diketahui bahwa suhu air pendingin rata-rata : $T_{11} = 37$ °C, $T_{o1} = 33,71$ °C, $T_{12} = 28,84$ °C dan $T_{o2} = 29,64$ °C, sehingga efektivitas PHE $\epsilon = 0,394$. Untuk menganalisis beban pendinginan PHE pada daya 250 kW diestimasikan suhu air pendingin sekunder masuk ke PHE $T_{12} = 28,84$ °C. Dari perhitungan diperoleh debit pompa primer 196,4 gpm dengan daya 13 kW dan diameter pipa 3 inchi. Sedangkan debit pompa sekunder 254,4 gpm dengan daya 17,34 kW dan diameter pipa 4 inchi. Selain itu juga diperoleh suhu air pendingin primer dan sekunder keluar dari PHE masing-masing $T_{o1} = 36,13$ °C dan $T_{o2} = 32,4$ °C.

ABSTRACT

ANALYSIS AND DETERMINATION OF PLATE HEAT EXCHANGER'S (PHE) COOLING LOAD OF KARTINI REAKTOR BASED ON 250 KW OPERATION. On behalf of increasing reactor power from 100 kW to 250 kW have been carried out the analysis and determination of the Plate type Heat Exchanger's (PHE) cooling load. The analysis was carried out based on the present PHE's performances and the maximum water temperature allowed i.e $T_{11} = 41$ °C. From the experiment where reaktor operated at 100 kW for 6 hours or more at the steady state condition, was known that temperature of cooling water are : $T_{11} = 37$ °C, $T_{o1} = 33,71$ °C, $T_{12} = 28,84$ °C and $T_{o2} = 29,64$ °C, so that PHE's efectivity is $\epsilon = 0,394$. To analyse PHE's cooling load at 250 kW was estimated secondary input water temperature $T_{12} = 28,84$ °C. The result shown that at reactor power level of 250 kW or $215 \cdot 10^3$ kcal/hr the flux mass of primary pump is 196,4 gpm wich related to pumping power 13 kW and the pipe diameter of 3 inch While for secondary side : flux mass is 254,4 gpm, pumping power 17,34 kW and the pipe diameter 4 inch. In this case also known that water temperature out from PHE are $T_{o1} = 36,13$ °C for primary and $T_{o2} = 32,4$ °C for secondary respectively.

PENDAHULUAN

Dalam operasinya pada daya 100 kW, reaktor Kartini menggunakan alat penukar kalor atau Heat Exchanger (HE) tipe cangkang dan pipa (Shell and Tube Heat Exchanger, STHE) dan HE tipe plat (Plate Heat Exchanger, PHE), masing-masing mempunyai kapasitas pendinginan desain sebesar 250 kW. Dalam rangka peningkatan daya reaktor dari 100 kW menjadi 250 kW, harus dilakukan analisis dan perhitungan ulang beban pendinginan terhadap ke dua HE tersebut.

Karena unjuk kerja HE selalu berubah sesuai dengan waktu pemakaian dan pengotoran yang terjadi, maka langkah awal yang harus dilakukan adalah menganalisis unjuk kerja HE saat ini. Analisis dan perhitungan tersebut baru dapat dilakukan terhadap PHE, sedangkan untuk STHE akan dilakukan pada tahun 2000.

Untuk lebih menjamin keakuratan hasil analisis, sebelumnya dilakukan kalibrasi flow meter pimer maupun sekunder. Disamping itu suhu air tangki reaktor (ATR) maksimum yang diijinkan juga ditentukan sesuai dengan persyaratan yaitu sebesar 41 °C.

Untuk menganalisis beban pendinginan pada 250 kW, diasumsikan bahwa suhu air pendingin sekunder masuk ke PHE sama dengan yang diperoleh dari pengujian PHE pada daya 100 kW dalam kondisi tunak.

Pada makalah ini juga dibahas rencana perubahan dan kenaikan debit, daya pompa dan diameter pipa baik untuk primer maupun sekunder bila reaktor dioperasikan pada daya 250 kW.

DASAR TEORI

Pada umumnya evaluasi unjuk kerja suatu PHE yang sudah lama dipakai, ditujukan untuk mengetahui efektivitas ϵ , kemampuannya dalam memindahkan panas NTU (*Number of Transfer Unit*) dan koefisien perpindahan panas U. Besaran-besaran tersebut dapat dihitung bila diketahui besarnya suhu masuk dan keluar PHE baik untuk sisi primer maupun sekunder, di mana efektivitas PHE ϵ adalah

$$\epsilon = (T_{i1} - T_{o1}) / (T_{i1} - T_{i2}) \quad (1)$$

Untuk menganalisis beban pendinginan PHE pada 250 kW digunakan rumus 2 berikut.

$$Q_1 = (MC)_1 (\Delta T_1) = (MC)_1 (T_{i1} - T_{o1})$$

$$Q_2 = (MC)_2 (\Delta T_2) = (MC)_2 (T_{i2} - T_{o2})$$

$$Q_3 = \epsilon (MC)_1 (\Delta T) = (MC)_1 (T_{i1} - T_{i2})$$

$$Q_4 = A U (\text{LMTD}) \quad (2)$$

Di mana

- Q : panas yang dipindahkan (W)
- M : laju aliran air pendingin (kg/dt)
- C : kalor jenis air pendingin (kcal/kg °C)
- T : suhu air pendingin (°C)
- U : koefisien perpindahan kalor (W/m K)
- A : luas permukaan perpindahan kalor (m²)
- LMTD : *Logarithmic Mean Temperature Difference* (°C),

(Indek 1 untuk primer, 2 untuk sekunder, i masuk ke PHE dan o keluar dari PHE), dan

$$(\text{LMTD}) = \frac{(T_{i1} - T_{o2}) - (T_{o2} - T_{i2})}{\ln \left\{ \frac{(T_{i1} - T_{o2})}{(T_{o2} - T_{i2})} \right\}} \quad (3)$$

Bila reaktor dioperasikan pada daya 250 kW, maka panas yang harus dipindahkan oleh PHE adalah $215 \cdot 10^3$ kcal/jam dengan asumsi hilang panas ke dinding tangki reaktor dan di pipa diabaikan. Agar kenaikan suhu ATR tersebut masih dalam batas yang diijinkan, maka hal pokok yang harus diperhatikan adalah perubahan laju aliran air pendingin primer maupun sekunder, lihat rumus 2.

PERENCANAAN POMPA

PHE yang diinstal adalah tipe ENER-CHANGER, jenis *plat and frame Heat exchanger*, nomor kode ECT-075-1m dengan kapasitas 250 kW. Dengan melihat rumus 2 maka jika reaktor dioperasikan pada daya 250 KW perlu dilakukan penaikan debit air pendingin. Rumusan untuk menghitung besarnya daya motor pompa dengan debit tertentu adalah

$$\text{BHP} = (G \gamma H) / (75 \cdot \eta) \quad 4$$

Dimana :

- BHP : Break Horse Power atau daya pompa (HP)
- G : debit air pendingin (m³/dt)
- γ : berat jenis air pendingin (kg/m³)
- H : PHE ad loss atau rugi ketinggian (m)
- η : efisiensi motor pompa

Sedangkan besarnya ukuran pipa dapat ditentukan dari debitnya

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum dilakukan pengujian terhadap PHE lebih dulu dilakukan kalibrasi flow meter dimana hasilnya adalah $G_1 = 428,77$ liter/menit dan $G_2 = 555,5$ liter/menit .

Untuk evaluasi PHE, reaktor dioperasikan pada daya 250 kW sampai kondisi tunak yaitu selama 6 jam. atau lebih sehingga suhu ATR sudah stabil. Kemudian diamati suhu air pendingin masuk dan keluar PHE. Hasilnya ditunjukkan pada tabel 1.

Dari data-data suhu pada tabel 1, maka besarnya efektivitas PHE saat ini dapat dihitung dari rumus 1 yaitu $\epsilon = (T_{i1} - T_{o1}) / (T_{i1} - T_{i2}) = 0,394$

Besarnya efektivitas tersebut di atas hanya berubah bila kondisi PHE semakin jelek karena terjadi pengotoran yang semakin banyak. Dengan mengambil harga efektivitas ϵ saat ini sebesar 0,394, maka dapat dihitung besarnya suhu air pendingin keluar dari PHE T_{o1} , bila reaktor dioperasikan pada daya 250 kW dengan suhu ATR maksimum 41°C dan suhu air pendingin sekunder masuk ke PHE $28,64^\circ\text{C}$. Jadi :

$$\begin{aligned} (T_{i1} - T_{o1}) / (T_{i1} - T_{i2}) &= 0,394 \\ (41 - T_{o1}) / (41 - 28,64) &= 0,394 \\ T_{o1} &= 36,13^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Untuk menghitung besarnya suhu air pendingin sekunder keluar dari PHE di pakai rumus 2, di mana $Q_1 = Q_2$ atau $(MC)_1 (\Delta T_1) = (MC)_2 (\Delta T_2)$ sehingga,

$$\begin{aligned} (\Delta T_2) / (\Delta T_1) &= (MC)_1 / (MC)_2 \\ (\Delta T_2) &= (\Delta T_1) \{ (MC)_1 / (MC)_2 \} \end{aligned}$$

Dengan mengambil harga perbandingan debit air pendingin primer dan sekunder seperti pada saat ini, maka $(MC)_1 / (MC)_2 = (428,77) / 555,5 = 0,772$ sehingga

$$\begin{aligned} (\Delta T_2) &= (\Delta T_1) \{ (MC)_1 / (MC)_2 \} = \\ (41 - 36,13) (0,772) &= 3,76^\circ\text{C} \\ \text{Dan, } T_{o2} &= 28,64 + 3,76 = 32,4^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Profil suhu air pendingin primer dan sekunder baik untuk daya 100 kW maupun 250 kW ditunjukkan pada gambar 1.

Tabel 1. Suhu air pendingin ($^{\circ}\text{C}$) pada operasi reaktor 100 kW

No	T_{i1}	T_{o1}	T_{i2}	T_{o2}	lama operasi (jam)
1	38	34	29	30	12
2	38	35	29	30	25
3	38	35	29	30	11
4	36	33	28	29	6
5	36	33	28	29	6
6	36	32	28	29	6
7	37	34	29,5	30,5	48
Rata-2a	37	33,71	28,64	29,64	

Dari besar suhu air pendingin maka dapat ditentukan besarnya konstanta air pendingin primer dan sekunder pada daya 250 kW sebagai berikut.

$$T_{1r} = 38,57^{\circ}\text{C} \quad T_{2r} = 31,82^{\circ}\text{C}$$

$$\gamma_1 = 992,7 \text{ kg/m}^3 \quad \gamma_2 = 995,5 \text{ kg/m}^3$$

$$C_1 = 0,997 \text{ kcal/kg }^{\circ}\text{C} \quad C_2 = 0,997 \text{ kcal/kg }^{\circ}\text{C}$$

Bila reaktor dioperasikan pada daya 250 kW atau $215 \cdot 10^3$ kcal/jam, $\Delta T_1 = 4,87^{\circ}\text{C}$ dan $\Delta T_2 = 3,76^{\circ}\text{C}$, maka dari rumus 2 akan diperoleh debit air pendingin primer dan sekunder, masing-masing adalah 196,4 gpm dan 254,4 gpm.

Dari "data pipa"⁽⁹⁾ dapat ditentukan besarnya diameter efektif pipa primer dan sekunder yaitu masing-masing 3 inchi dan 4 inchi.

Dengan melihat instalasi pemipaan saat ini (lihat gambar 2) serta kemungkinan adanya percabangan dan peralatan yang lebih banyak, diperkirakan *Head losses* pada rumus 2 adalah $H_1 = 59$ meter dan $H_2 = 61$ meter sehingga bila diambil efisiensi motor pompa $\eta = 0,75$, maka daya pompa adalah

- Pompa primer : $\text{BHP}_1 = (G_1 \gamma_1 H_1) / (75 \cdot \eta) = 13 \text{ HP}$
- Pompa sekunder : $\text{BHP}_2 = (G_2 \gamma_2 H_2) / (75 \cdot \eta) = 17,344 \text{ HP}$

Hasil analisis beban pendinginan PHE untuk daya 250 kW ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil analisis beban pendinginan PHE pada daya 250 kW

Simbol	Primer	Sekunder	Keterangan
Q	+ 215 10^3	- 215 10^3	Panas yang dilepaskan (+) panas yang diterima (-) (kcal/jam)
M	12,33	15,98	Laju aliran air pendingin primer dan sekunder (kg/dt)
G			Debit air pendingin, gpm
C	196,4	256,4	Kalor jenis air pendingin, kcal/kg $^{\circ}\text{C}$
D	0,997	0,997	Diameter pipa, inchi
BHP	3	4	Daya motor pompa, HP
γ	13	17,34	Berat jenis air pendingin, kg/m^3
	992,7	995,5	

KESIMPULAN

- Efektivitas PHE saat ini 0,394

- Untuk pendinginan suhu ATR jika reaktor dioperasikan pada daya 250 kW perlu dilakukan penaikan debit air pendingin primer menjadi 196,4 gpm dan debit air pendingin

sekunder 256,4 gpm

3. Daya motor pompa yang sesuai untuk keperluan tersebut adalah 13 HP dan 17,344 HP masing-masing untuk primer dan sekunder.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan telah selesainya penelitian ini kami ucapkan terima kasih kepada seluruh staf di Bidang Reaktor atas partisipasi dan bantuannya dalam pengoperasian reaktor untuk pengamatan suhu PHE.

DAFTAR ACUAN

1. UTAJA, HERU SUPRAPTO dan HARI SUDIRJO, Transien Suhu Dalam Penukar Panas, Buku Penelitian Bahan Murni dan Instrumentasi Jilid II Instrumentasi, 1984
2. UTAJA, HERU SUPRAPTO dan HARI SUDIRJO, Pendingin Primer Untuk Daya Reaktor 250 KWatt, Buku Penelitian Bahan Murni dan Instrumentasi Jilid II Instrumentasi, 1984
3. UTAJA, BAMBANG SETIADJI, menentukan Harga Air Reaktor Kartini, Prosiding Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah, Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, Yogyakarta, 5 – 7 Mei 1986
4. HTRI DESIGN MANUAL, Desain manual PHE - Constructional and Operation Manual, Fotocopy, tanpa pengarang
5. SUYAMTO, Analisis dan Evaluasi Unjuk Kerja Alat Penukar Kalor (APK) Tipe Cangkang dan Pipa, Presentasi Peneliti Muda, Nopember 1994 di PPNY
6. SUYAMTO, SUPRAPTO, Analisis dan Evaluasi Kinerja Alat Penukar Kalor Tipe Plat Reaktor Kartini, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah, Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, Yogyakarta 8 – 10 Juli 1997
7. GENERAL ATOMIC Division of GENERAL DYNAMIC, 250 KW Triga Mark II Ractor Mechanical Maintenance and Operating Manual, Chapter 4.10, Agustus 1962.
8. GENERAL ATOMIC - San Diego, Ca, Mechanical Spesification Baltimore Aircoil Ener-changer Plate and Frame Heat Exchanger.
9. Flow of Fluids Through Valves, Fittings and Pipe, By the Engineering Department CRANE, Technical Paper No. 410, Twenty Fifth Printing, 1991 Crane Co, Chicago, USA.

TANYA JAWAB

Syarip

- Berapa efektivitas Berapa efektivitas HE yang diinginkan untuk operasi 250 kW.
- Apakah bisa dicapai efektivitas HE diats 90%

Suyamto

- *Efektivitas harus setinggi mungkin mendekati spesifikasi debit HE.*
- *Bisa asal debitnya dinaikkan dengan/perlu perhitungan lebih lanjut.*

Djati Gunawan

- Untuk meningkatkan debit air langkah yang dilakukan apakah menaikkan tekanan/flow mohon penjelasan ?

Suyamto

- *Dengan menaikkan flow yang terkait dengan penaikan daya motor pompa.*
- *Bila presure yang dinaikan justru menaikkan daya motor pompa dan friksi aliran pada pipa menjadi tinggi dan tidak ekonomis.*

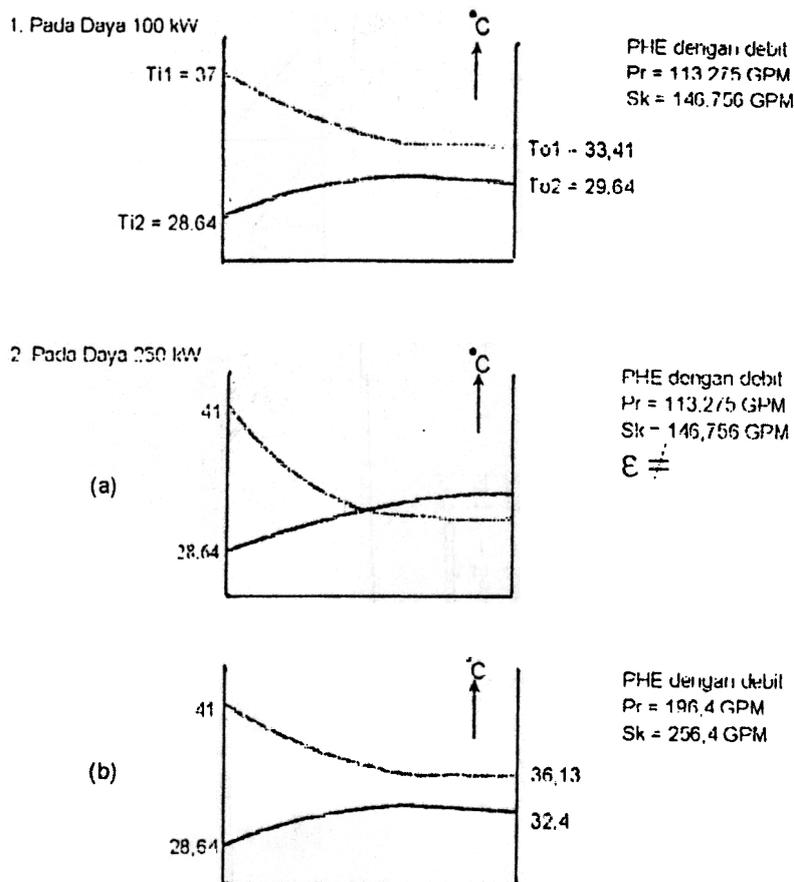
Sudardjo

- Mengapa setiap bulan bergantian STHE dan PHE jika terus menerus PHE saja, mana yang lebih baik ?
- Berapa efektivitas STHE sekarang ? apa sudah dihitung ?

Suyamto

- *Untuk mengetahui bahwa ke 2 HE selalu siap dioperasikan sebagai redundan, agar umur HE panjang.*
- *Efektivitas HE Plat saat ini 0,394 dihitung berdasarkan pengamatan suhu in-out.*

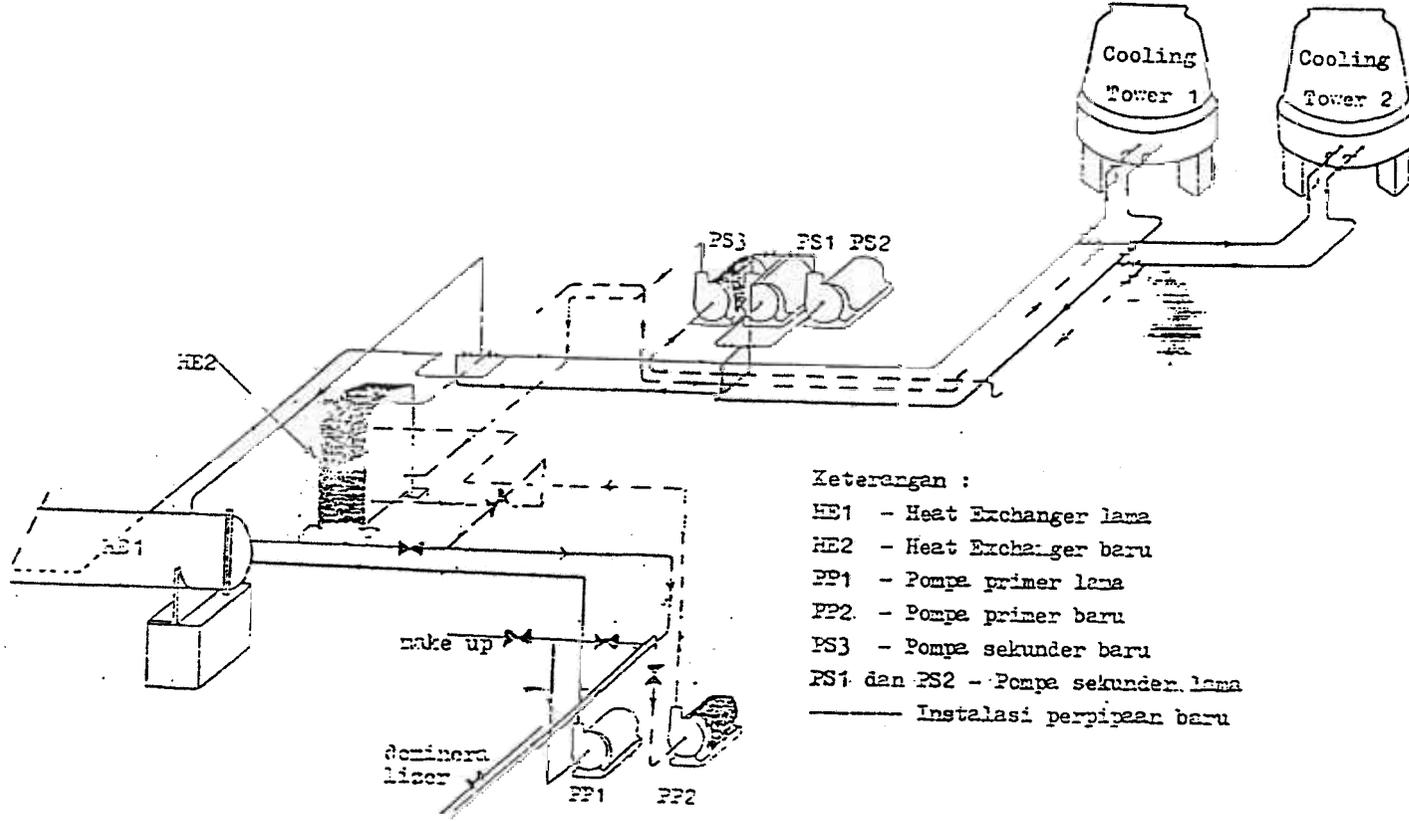
LAMPIRAN 1



Gambar 1. Profil suhu air pendingin reaktor pada daya 100 kW dan 250 kW



LAPIRAN 2



Gambar 2. Instalasi sistem pendingin reaktor Kartini

Gambar 2. Instalasi sistem pendingin reaktor Kartini