

ANALISIS UNJUK KERJA HE TIPE PLAT REAKTOR KARTINI DENGAN METODE HILANG TEKANAN (*PRESSURE DROP*)

Dudung Abdul Razak^{*)}, Suyamto^{**)}

^{*)}Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknik Nuklir - BATAN

^{**)}Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Maju - BATAN

ABSTRAK

ANALISIS UNJUK KERJA HE TIPE PLAT REAKTOR KARTINI DENGAN METODE HILANG TEKANAN (*PRESSURE DROP*). Telah dilakukan analisis unjuk kerja HE tipe plat reactor Kartini menggunakan metode hilang tekanan (ΔP). Analisis dilaksanakan setelah perawatan HE dengan cara pelepasan plat-platnya untuk dibersihkan, sesuai dengan prosedur perawatan. Berdasarkan data hilang tekanan pada sisi primer $\Delta P_{11} = 0,6 \text{ kg/cm}^2$ dan hilang tekanan tekanan sisi sekunder $\Delta P_{12} = 2,9 \text{ kg/cm}^2$ Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa setelah di-overhaul, dibersihkan dan diuji untuk operasi reaktor pada daya 100 kW, HE telah mengalami kenaikan unjuk kerja yaitu $\Delta U_f = 930,144 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$; $\Delta \varepsilon = 0,04$; $\Delta C_s = 0,426$; $\Delta C_f = 0,274$; $\Delta NTU = 0,025$ dan $\Delta Q_{act} = 20,635 \text{ kW}$.

Kata kunci: unjuk kerja HE, metode hilang tekanan, reaktor Kartini

ABSTRACT

PERFORMANCE ANALYSIS OF PLATE TYPE HE OF KARTINI REACTOR USING PRESSURE DROP METHOD. The performance analysis of plate type head excheanger of Kartini reactor using pressure drop method has been carried out. The analysis was done after dismantling and cleaning the plates by using proper maintenance procedures mentioned in the manual book. From the observation of the pressure drop it is found that the pressure drop at the primary side is $\Delta P_{11} = 0,6 \text{ kg/cm}^2$ and the pressure at the secondary side is $\Delta P_{12} = 2,9 \text{ kg/cm}^2$. From the analysis could be concluded that after overhauling, cleaning and testing the HE by operating the reactor at the power level of 100 kW for more than 5 hours, the performance of PHE has been improved, where the increasing of performance are $\Delta U_f = 930,144 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$; $\Delta \varepsilon = 0,04$; $\Delta C_s = 0,426$; $\Delta C_f = 0,274$; $\Delta NTU = 0,025$ and $\Delta Q_{act} = 20,635 \text{ kW}$.

Key words: HE performance, pressure drop method, Kartini reactor

PENDAHULUAN

Dalam operasinya pada daya 100 kW, disamping menggunakan HE tipe *shell and tube*, reaktor Kartini juga menggunakan HE tipe plat (PHE) yang dioperasikan secara bergantian. HE tipe plat reaktor Kartini telah dioperasikan lebih dari 10 tahun dan pada tahun 2002 sudah tidak dapat lagi difungsikan sebagai alat penukar kalor di reaktor karena unjuk kerjanya sudah sangat menurun. Keadaan ini diketahui dari peningkatan suhu air tangki reaktor (ATR) yang terus naik sampai pada batas yang diizinkan sehingga perlu dilakukan analisis unjuk kerja PHE tersebut.

Pada umumnya ada dua hal pokok yang menjadi bahasan dalam setiap evaluasi unjuk kerja suatu HE yaitu besarnya perpindahan panas yang terjadi, dan besarnya hilang tekanan. Kedua besaran ini terkait erat dengan koefisien perpindahan panas total, efektivitas, faktor kebersihan, faktor keselamatan dan jumlah satuan perpindahan panas HE. [1]

Hilang tekanan (*pressure drop*) adalah salah satu metode yang dapat dipakai untuk mengevaluasi unjuk kerja suatu HE karena dapat menunjukkan tingkat kekotoran yang ada dan terkait erat dengan proses terjadinya perpindahan panas. Metode ini cukup praktis, karena korelasi antara hilang tekanan dengan faktor-faktor yang menunjukkan unjuk kerja HE sudah tersedia secara grafis. [2]

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kenaikan unjuk kerja PHE setelah dilakukan perawatan dengan menggunakan metode hilang tekanan.

DASAR TEORI

Ada dua hal yang sangat krusial dalam perhitungan besarnya perpindahan panas dan hilang tekanan secara akurat yaitu faktor perpindahan panas (j) dan gesekan (f) [3, 4]. Setiap fluida yang mengalir melalui suatu saluran selalu mengalami hambatan yang disebut dengan hilang tekanan. Semakin besar gesekan yang bekerja pada fluida maka hilang tekanannya juga semakin besar. Besarnya faktor gesekan pada HE sangat dipengaruhi oleh tingkat kekotoran HE tersebut. Semakin kotor suatu HE,

hilang tekanan yang terjadi juga semakin besar.

Pada HE tipe plat, tingkat kekotoran pada plat merupakan hal yang sangat penting untuk diperhatikan karena jarak antar plat yang sangat sempit sehingga mudah sekali mengalami penyumbatan. Penyumbatan oleh kotoran akan mengganggu proses perpindahan panas sehingga besarnya panas yang dapat dipindahkan menjadi kecil, dan hilang tekanan pada kanal plat menjadi besar. Gangguan terhadap proses perpindahan panas dapat dipantau melalui suhu keluar dan masuk fluida ke PHE, sedangkan kenaikan hilang tekanan dapat diketahui dari pengukuran tekanan. [5]

Unjuk kerja PHE antara lain dapat dinyatakan dengan efektivitas ϵ , faktor keselamatan C_s dan faktor kekotoran C_f . Besarnya masing-masing faktor ini adalah sebagai berikut:

karena $(MC_p)_1 < (MC_p)_2$

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

$$C_s = Q_f / Q_{req} \quad (1b)$$

$$C_f = U_f / U_c \quad (1c)$$

dengan

$$Q_f = U_f A \Delta T_m \quad (2a)$$

(besar perpindahan panas pada saat PHE kotor)

$$Q_{req} = M C_p \Delta T \quad (2b)$$

(besar perpindahan panas yang diinginkan)

$$(\Delta T_m) = \frac{(T_{i1} - T_{o2}) - (T_{o1} - T_{i2})}{\ln (T_{i1} - T_{o2}) / (T_{o1} - T_{i2})} \quad (3a)$$

$$\Delta T = (T_{o2} - T_{i2}) \quad (3b)$$

$$(\Delta T_i) = (T_{i1} - T_{i2}) \quad (3c)$$

Kecuali besarnya koefisien perpindahan panas U_f , semua faktor yang terdapat pada persamaan 1 sampai dengan 3 dapat dihitung menggunakan data pengukuran debit fluida pendingin dan suhu masuk-keluar PHE. Sedangkan besarnya U_f dapat ditentukan berdasarkan data hilang tekanan yang terjadi pada kanal PHE (ΔP_c) sebagai berikut.

$$U_f = [1/h_1 + 1/h_2 + s/k_w + R_{f1} + R_{f2}]^{-1} \quad (4)$$

Besarnya h_1 dan h_2 pada persamaan 4 sebagai fungsi hilang tekanan pada kanal dapat diperoleh dari Gambar 1, di mana besarnya (ΔP_c) adalah.

$$\Delta P_c = \Delta P_t - \Delta P_p \quad (5)$$

ΔP_t adalah hilang tekanan total yang bekerja pada HE, dan diperoleh dari pengukuran ΔP_p adalah hilang tekanan pada ujung pipa atau *port ducts*.

Besarnya ΔP_p adalah :

$$(\Delta P_p) = (F) \left[1,4 (N_p) \frac{(G_p)^2}{2 \rho g_c} \right] \quad (6)$$

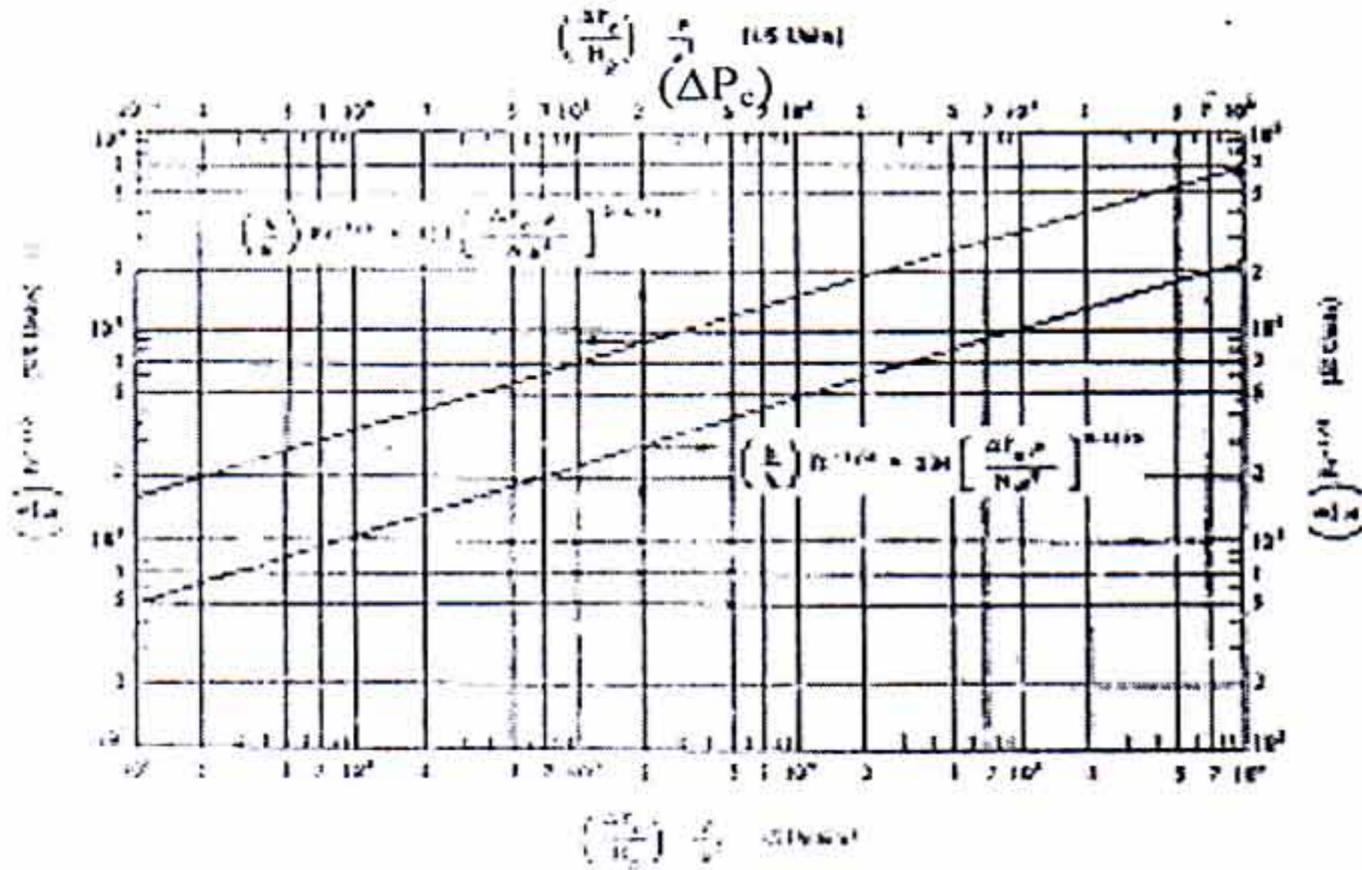
dengan
$$G_p = \frac{4 M}{\pi (D_p)^2}$$

Data eksperimen menunjukkan bahwa ΔP_p lebih kecil dibanding dengan ΔP_t yaitu sekitar 10 %. untuk desain yang baik atau dapat diambil maksimum sebesar 25 % untuk hal yang khusus.

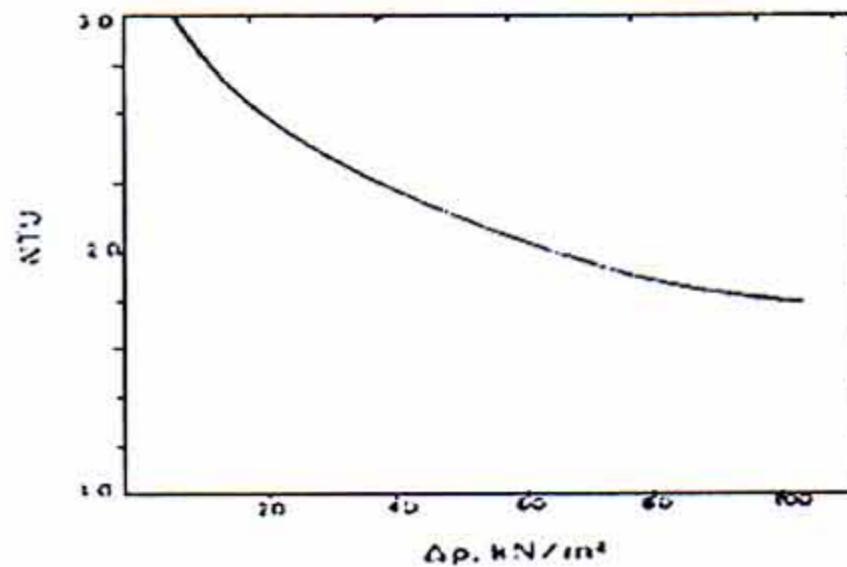
Faktor lain yang dapat dipakai untuk memperkirakan unjuk kerja PHE adalah jumlah satuan perpindahan panas atau NTU (*Number of Transfer Unit*). Pada Gambar 2 ditunjukkan grafik hubungan antara NTU dan hilang tekanan pada kanal. Harga NTU

sebanding dengan $(\Delta P_c)^{1/5}$. Di samping itu, NTU juga dapat dihitung secara matematis menggunakan persamaan (7).

$$NTU = (U_f)(A)/(M C_p)_{\min} \quad (7)$$



Gambar 1 : Koefisien perpindahan panas (h) sebagai fungsi hilang tekanan pada kanal



Gambar 2. Grafik NTU sebagai fungsi hilang tekanan pada kanal

TATA KERJA

Untuk mengevaluasi unjuk kerja HE melalui metode hilang tekanan, harus diketahui karakteristik HE pada saat bersih atau pada saat pertama kali dioperasikan dan pada saat HE sudah tidak dapat difungsikan karena mengalami pengotoran. Selain itu juga dilakukan pengamatan unjuk kerja atau karakteristik secara terus menerus dalam jangka waktu dua bulan dengan cara mengamati suhu air tangki reaktor (ATR). Setelah diketahui bahwa suhu ATR terus mengalami kenaikan dan tidak dapat mencapai kondisi tunak pada saat reaktor dioperasikan pada daya 100 kW, maka dapat disimpulkan bahwa unjuk kerja PHE sudah tidak normal dan perlu dilakukan perawatan karena mengalami pengotoran.

Untuk membuktikan bahwa tingkat kekotoran sudah tinggi maka HE di-*overhoul* dan dibersihkan secara total di mana plat-plat HE dilepaskan satu-persatu dan dibersihkan sesuai dengan prosedur perawatan. Setelah perawatan, dilakukan pengujian dengan mengoperasikan reaktor pada daya 100 kW. Pengamatan dilakukan secara berulang-ulang terhadap suhu keluar dan masuk PHE serta hilang tekanan total sampai mendekati kondisi tunak. Agar hasil evaluasi PHE lebih akurat, dilakukan kalibrasi alat ukur debit pendingin primer dan sekunder. Debit pendingin primer M_1 adalah 434,017 L/menit dan debit pendingin sekunder adalah $M_2 = 551,261$ L/menit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data pengujian PHE dalam kondisi kotor yang dilakukan selama 2 bulan dengan mengoperasikan reaktor pada daya 100 kW selama lebih dari 5 jam, dapat diketahui bahwa suhu air pendingin primer masuk ke PHE sudah mendekati 40°C (Tabel 1). Suhu air pendingin primer masuk PHE ini dapat dianggap sama dengan suhu ATR dan sesuai dengan batasan yang telah ditentukan, maka reaktor tidak dapat dioperasikan menggunakan PHE sebelum dilakukan perawatan.

Tabel 1. Suhu fluida pendingin primer dan sekunder masuk dan keluar PHE. sebelum dilakukan perawatan

Pengamatan	Sisi primer		Sisi sekunder	
	T_{i1} ($^{\circ}\text{C}$)	T_{o1} ($^{\circ}\text{C}$)	T_{i2} ($^{\circ}\text{C}$)	T_{o2} ($^{\circ}\text{C}$)
1	38	36	32	33
2	39	36,9	33	34
3	38	36	32	33
4	39	37	32	33,5
5	39,5	37,5	32	33
6	39	37	32	33
7	39,5	37,7	33	34
Rata-rata	38,9	36,9	32,3	33,4

Untuk mengetahui tingkat keberhasilan perawatan juga dilakukan pengujian PHE beberapa saat sebelum dan sesudah dilakukan pembersihan. Pengamatan dilakukan terhadap suhu air pendingin keluar-masuk PHE dan hilang tekanan yang terjadi., hasilnya ditunjukkan pada Tabel 2 dan 3.

Dari Tabel 2 diketahui bahwa pada pengoperasian reaktor pada daya 100 kW selama kurang lebih 5 jam, suhu ATR terus mengalami kenaikan dan tidak dapat mencapai kondisi tunak. Keadaan ini menunjukkan bahwa efektivitas pertukaran panas yang terjadi pada PHE sudah tidak baik.

Setelah pelepasan plat-plat PHE, diketahui bahwa pada sisi plat sekunder mengalami pengotoran yang sangat banyak, sedangkan pada sisi primernya dalam kondisi bersih, kondisi plat PHE dapat dilihat pada Lampiran 2. Hal ini sesuai dengan hasil pengamatan hilang tekanan yang ditunjukkan pada Tabel 3, di mana kenaikan hilang tekanan yang terjadi pada sisi sekunder sangat besar dibandingkan dengan sisi primer.

Tabel 2. Suhu fluida pendingin primer masuk dan keluar PHE, sebelum dan setelah dirawat.

Waktu pengamatan	Suhu masuk ($^{\circ}\text{C}$)		Suhu keluar ($^{\circ}\text{C}$)	
	Sebelum dirawat	Setelah dirawat	Sebelum dirawat	Setelah dirawat
08.50	28	-	28	-
09.50	32	34	30	32
10.30	33,7	35	32,6	33
10.50	34,9	36	33,8	34
11.30	35,4	37	34,8	35
11.50	36,8	-	35,5	-
12.20	37,5	37	36,1	35
12.50	38,3	37	36,53	35
13.20	38,8	37	37,1	35
13.50	39,1	37,5	37,5	35,5
14.20	39,7	-	-	-

Tabel 3. Tekanan fluida pada sisi primer dan sekunder, sebelum dan setelah dirawat

Sisi	Tekanan masuk (kg/cm^2)		Tekanan keluar (kg/cm^2)	
	Sebelum dirawat	Setelah dirawat	Sebelum dirawat	Setelah dirawat
Primer	2,1	2,1	1,5	2
Sekunder	3,4	1,75	0,5	0,75

Dengan menggunakan data pengamatan pada Tabel 3 dan data konstanta air pada Tabel 4, dapat dilakukan analisis unjuk kerja PHE dengan menggunakan metode hilang tekanan, dan hasilnya ditunjukkan pada Tabel 5 dan 6.

Tabel 4. Besaran-besaran konstanta air pendingin primer dan sekunder sebelum dibersihkan.

Besaran yang diamati	Hasil pengamatan	Keterangan
T_{i1} ($^{\circ}\text{C}$)	38,86	Suhu rata-rata
T_{o1} ($^{\circ}\text{C}$)	36,87	Suhu rata-rata
T_{i2} ($^{\circ}\text{C}$)	32,29	Suhu rata-rata
T_{o2} ($^{\circ}\text{C}$)	33,36	Suhu rata-rata
k_1 (W/m. $^{\circ}\text{C}$)	0,630	dari suhu air pendingin
k_2 (W/m. $^{\circ}\text{C}$)	0,624	dari suhu air pendingin
μ_1 (kg/cm.dt)	$6,807 \cdot 10^{-4}$	dari suhu air pendingin
μ_2 (kg/cm.dt)	$7,559 \cdot 10^{-4}$	dari suhu air pendingin
ρ_1 (kg/m ³)	992,96	dari suhu air pendingin
ρ_2 (kg/m ³)	994,70	dari suhu air pendingin
Pr_1	4,52	dari suhu air pendingin
Pr_2	5,05	dari suhu air pendingin
C_{p1} (kJ/kg.K)	4,174	dari suhu air pendingin
C_{p2} (kJ/kg.K)	4,174	dari suhu air pendingin

Tabel 5. Besaran-besaran konstanta air pendingin primer dan sekunder serta PHE sebelum dirawat

Besaran yang diamati	Hasil pengamatan	Keterangan
ΔP_{c1} (kg/cm ²)	0,45	dari pengukuran x 75%
ΔP_{c2} (kg/cm ²)	2,175	dari pengukuran x 75%
h_1 (W/m ² °C)	10.503	dari Gambar 1 dan Tabel 4
h_2 (W/m ² °C)	16.968	dari Gambar 1 dan Tabel 4
R_{f1} (°C m ² /W)	0	dianggap bersih
R_{f2} (°C m ² /W)	$5 \cdot 10^{-4}$	Maksimum (sangat kotor)
k_w (W/m ² °C)	17,296	
S (m)	$0,6 \cdot 10^{-3}$	
U_f (W/(m ² ·°C))	1.453,277	dari persamaan (4)
ΔT_m (°C)	5,046	dari persamaan (3a)
ΔT (°C)	1,07	dari persamaan (3b)
ΔT_i (°C)	6,57	dari persamaan (3c)
Q_f (kW)	45,246	dari persamaan (2a)
M (L/menit)	551,261	
A (m ²)	6,17	
Q_{req} (KW)	40,816	dari persamaan (2b)
ϵ	0,3	dari persamaan (1a)
C_s	1,108	dari persamaan (1b)

Untuk menentukan besarnya NTU yang lebih akurat dapat dilakukan dengan mengekstrapolasi kurva pada Gambar 2, hasilnya adalah NTU sebanding dengan $(\Delta P)^{0,2}$. Untuk hilang tekanan di sisi sekunder $\Delta P_{c2} = 220,39$ kPa diperoleh NTU = 0,246. Bila NTU dihitung secara matematis dengan menggunakan persamaan 7 diperoleh.

$$NTU = (U_f)(A)/(M C_p)_{\min} = (1.453,277)(6,17)/(434,07 \cdot 10^{-3}/60)(992,96) (4174) = 0,299$$

Dengan cara yang sama besaran unjuk kerja PHE U_f , ϵ , C_s , C_f dan NTU dapat dihitung pada saat PHE sudah dibersihkan. Sedangkan besaran-besaran konstanta air yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 6. Besarnya h_1 dan h_2 yang diperoleh masing-masing sebesar 5691,3 dan 11.880,97 $W/m^2 K$, sehingga didapatkan $U_f = 2.383,42 W/m^2K$, $\epsilon = 0,34$, $C_s = 1,73$, $C_f = 0,7$ dan $NTU = 0,324$. Perbandingan unjuk kerja HE sebelum dan sesudah dirawat ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 6. Besaran-besaran konstantanta air pendingin primer dan sekunder setelah dibersihkan

Besaran yang diamati	Besar	Keterangan
$T_{i1} (^{\circ}C)$	37	Suhu rata-rata
$T_{o1} (^{\circ}C)$	35	Suhu rata-rata
$T_{i2} (^{\circ}C)$	31	Suhu rata-rata
$T_{o2} (^{\circ}C)$	32	Suhu rata-rata
$k_1 (w/m^{\circ}C)$	0,6275	dari suhu air pendingin
$k_2 (w/m^{\circ}C)$	0,6215	dari suhu air pendingin
$\mu_1 (kg/cm. det.)$	$7,08. 10^{-4}$	dari suhu air pendingin
$\mu_2 (kg/cm. det.)$	$7,78 10^{-4}$	dari suhu air pendingin
$\rho_1 (kg/m^3)$	993,6	dari suhu air pendingin
$\rho_2 (kg/m^3)$	995	dari suhu air pendingin
Pr_1	4,71	dari suhu air pendingin
Pr_2	5,21	dari suhu air pendingin
$C_{p1} (kJ/kg.k)$	4,174	dari suhu air pendingin
$C_{p2} (kJ/kg.k)$	4,174	dari suhu air pendingin
$\Delta P_{c1} (kPa)$	7,6	dari pengukuran x 75 %
$\Delta P_{c2} (kPa)$	76	dari pengukuran x 75 %
$R_{f2} (km^2/10)$	$1,25. 10^{-4}$	25 % x R_{f2}

Tabel 7 : Perbandingan unjuk kerja PHE sebelum dan sesudah dirawat

Besaran yang diamati	Sebelum dirawat	Setelah dirawat	Kenaikan
U_f	1.453,277	2.383,42	930,144
ε	0,3	0,34	0,04
C_s	1,108	1,73	0,622
C_f	0,274	0,7	0,426
NTU	0,299	0,324	0,025
Q_{act}	45,246	65,88	20,635

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa pengotoran dan pengerakan yang sangat banyak pada sisi sekunder menunjukkan telah terjadinya korosi dan erosi terhadap plat. Setelah dilakukan perawatan, unjuk kerja HE mengalami perbaikan dengan indikator adanya kenaikan $\Delta U_f = 930,144$; $\Delta \varepsilon = 0,04$; $\Delta C_s = 0,622$; $\Delta C_f = 0,426$; $\Delta NTU = 0,025$ dan $\Delta Q_{act} = 20,635$ kW

SARAN

Dengan melihat pengerakan yang sangat banyak pada plat sisi sekunder, maka agar PHE dapat berfungsi secara optimal harus dilakukan

1. *Treatment* air pendingin sekunder sebelum masuk ke PHE.
2. Kalau kualitas air pendingin tidak ditingkatkan maka PHE harus sering dibersihkan secara teratur atau periodik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan telah selesainya penelitian ini , kami mengucapkan terima kasih kepada seluruh staf Bidang Reaktor yang telah membantu dalam melakukan pembongkaran, pembersihan, pemasangan dan pengujian HE tipe plat.