

## ANALISIS PENINGKATAN EFISIENSI ALAT PENUKAR KALOR (APK) REAKTOR KARTINI

Suyamto

PPNY-BATAN, Jl. Babarsari Kotak Pos 1008 Yogyakarta 55010

### ABSTRAK

*ANALISIS PENINGKATAN EFISIENSI ALAT PENUKAR KALOR (APK) REAKTOR KARTINI.* Telah dilakukan analisis peningkatan efisiensi alat penukar kalor tipe cangkang dan pipa reaktor Kartini, setelah diadakan perubahan aliran dari searah ke berlawanan. APK kemudian diuji dengan mengoperasikan reaktor pada daya 100 kW sampai suhu air pendingin mencapai kondisi tunak. Analisis efisiensi dan besaran-besaran APK yang lain dilakukan dengan menggunakan metode "SIMULTAN". Dari pengujian APK diketahui bahwa suhu air pendingin primer masuk dan keluar APK serta suhu air pendingin sekunder masuk dan keluar APK berturut-turut adalah  $T_i = 38^\circ\text{C}$ ,  $T_o = 35^\circ\text{C}$ ,  $t_i = 32^\circ\text{C}$  dan  $t_o = 33^\circ\text{C}$ . Dari perhitungan dan analisis diperoleh efisiensi  $\eta = 45,5\%$  pada  $U_a = 674,79\text{ W/m K}$ ,  $LMT = 3,27$  dan  $NTU = 0,835$ . Dari analisis dapat disimpulkan bahwa dengan sistem aliran berlawanan, efisiensi APK lebih besar 2,5 % dibandingkan dengan bila alirannya searah dan ber-kurang 6,7 % bila dibandingkan dengan efisiensi APK tahun 1994 sesaat setelah APK dibersihkan.

### ABSTRACT

*ANALYSIS OF THE EFFICIENCY IMPROVEMENT OF THE KARTINI REACTOR'S HEAT EXCHANGER.* Analysis of the efficiency improvement of the shell and tube type of the Kartini reactor's Heat Exchanger (HE) have been carried out after the flow direction system was modified from the parallel flow to the counter flow system. The HE was tested by operating the reactor at the power level of 100 kW, until the temperature of the water coolant reached the steady state condition. The efficiency and other HE's parameters was investigated by using the "SIMULTAN" method. From the experiment it is known that the inlet and outlet primary and secondary water coolants are  $T_i = 36^\circ\text{C}$ ,  $T_o = 35^\circ\text{C}$ ,  $t_i = 32^\circ\text{C}$ , and  $t_o = 33^\circ\text{C}$  respectively. The investigation and analysis show that the HE's efficiency is  $\eta = 45.5\%$  due to  $U_a = 674.79\text{ W/m K}$ ,  $LMT = 3.27$  and  $NTU = 0.835$ . From the analysis can be concluded that the increase of the HE's efficiency is 2.5 % compared to parallel flow and the decrease is 6.7 % compared to the HE's efficiency as soon as after having been cleaned in 1994.

### PENDAHULUAN

Alat Penukar Kalor (APK) merupakan suatu perangkat yang sangat penting dalam menunjang keselamatan beroperasinya reaktor nuklir. APK digunakan untuk menjaga agar parameter-parameter termohidrolika dari komponen yang ada di dalam teras reaktor nuklir tidak melewati batasan operasi yang diijinkan. Untuk itu pengamatan dan analisa terhadap APK perlu dilakukan terus menerus agar suhu air pendingin tidak melampaui batas yang telah ditetapkan.

Seperti telah diketahui bahwa besarnya suhu air pendingin reaktor keluar dan masuk APK dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain lama dan daya operasi reaktor, kondisi APK dan suhu lingkungan. Analisis peningkatan efisiensi ini

dilakukan setelah sistem arah aliran air pendingin di dalam APK diubah dari sistem aliran searah (*parallel flow*) ke sistem aliran berlawanan, (*counter flow*). Pengujian APK dilakukan dengan mengoperasikan reaktor pada daya 100kW dan suhu air pendingin dalam keadaan tunak (*steady state*).

Di dalam makalah ini efisiensi APK dihitung dengan menggunakan metode simultan dimana parameter-parameter APK dihitung secara serempak dalam satu kali perhitungan dengan cara iterasi.

### TEORI

Analisis suatu APK dapat dilakukan dengan menggunakan bermacam-macam metode seperti

metode beda suhu rata-rata logaritmis (*Logarithmic Mean Temperature Difference*) atau LMTD, metode efektivitas-jumlah satuan perpindahan bahang atau  $\epsilon$  - NTU (*Number of Transfer Unit*), metode simultan atau serempak dan lain-lain. Metode simultan pada prinsipnya adalah merupakan penggabungan dari metode LMTD dan  $\epsilon$ -NTU, dimana besaran unjuk kerja APK seperti jumlah satuan perpindahan bahang (NTU), efektivitas ( $\epsilon$ ), efisiensi ( $\eta$ ), koefisien perpindahan bahang ( $U$ ), dan daya pengendali suhu (LMTD) dihitung secara serempak dalam satu kali perhitungan.

Efisiensi adalah perbandingan banyaknya bahang yang dapat dipindahkan dengan bahang maksimum yang mungkin dapat dipindahkan, sehingga :

$$\eta = Q_a / Q_{\text{mak}} \quad (1)$$

$$Q_{\text{mak}} = C_{\text{min}} (T_i - t_i) \quad (2)$$

$$Q_a = MC(T_i - T_o) \quad (3)$$

(untuk  $mc > MC$  dan  $C = MC$ )

Bila persamaan 2 dan 3 disubstitusikan ke persamaan 1 maka :

$$\eta = (T_i - T_o) / (T_i - t_i) \quad (4)$$

di mana :

$\eta$  : efisiensi APK

$Q_a$  : perpindahan bahang yang terjadi, W

$Q_{\text{mak}}$  : perpindahan bahang maksimum yang mungkin terjadi, W

$t_o$  : suhu air pendingin sekunder keluar dari APK, °C

$t_i$  : suhu air pendingin sekunder masuk ke APK, °C

$T_o$  : suhu air pendingin primer keluar dari APK, °C

$T_i$  : suhu air pendingin primer masuk ke APK, °C

$m$  : laju aliran air pendingin sekunder, kg/dt

$M$  : laju aliran air pendingin primer, kg/dt

$c$  : panas jenis air pendingin sekunder, J/kg K

$C$  : panas jenis air pendingin primer, J/kg K

Dari persamaan 4 terlihat bahwa secara cepat dan sederhana, efisiensi dapat dihitung apabila  $T_i$ ,  $T_o$  dan  $t_i$  diketahui.

Seperti diketahui bahwa di dalam APK terdapat pertukaran bahang antara sisi primer dan se-kunder. Dalam keadaan setimbang, bila perpindahan bahang tersebut dihitung dari berbagai

cara atau rumus, harus dihasilkan harga yang sama besar dimana :

$$\begin{aligned} Q_{a1} &= U_a A_o (LMT) \\ Q_{a2} &= mc(\Delta t) = mc(t_o - t_i) \\ Q_{a3} &= MC(\Delta T) = MC(T_i - T_o) \\ Q_{a4} &= \epsilon Q_{\text{mak}} = \epsilon MC(T_i - t_i) \end{aligned} \quad (5)$$

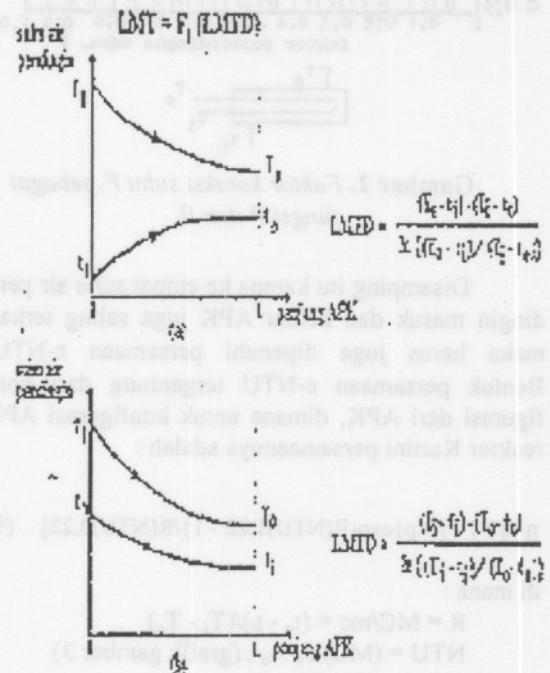
di mana :

$U_a$  : koefisien perpindahan bahang total W/m K

$A_o$  : luas permukaan perpindahan bahang total, m<sup>2</sup>

LMT: perbedaan suhu rata-rata logaritmis

LMT pada rumus 5 adalah suatu besaran yang menunjukkan perbedaan suhu air pendingin primer dan sekunder. LMT juga sering disebut sebagai daya pengendali suhu (*temperature driving force*) yaitu suatu besaran yang menunjukkan kemampuan APK untuk menurunkan suhu. Secara teoritis, LMT suatu APK dengan aliran berlawanan lebih besar dibanding dengan LMT suatu APK dengan aliran searah. Profil suhu dari kedua macam aliran tersebut dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Profil perubahan suhu air pendingin di dalam APK. (a) aliran searah, (b) aliran berlawanan

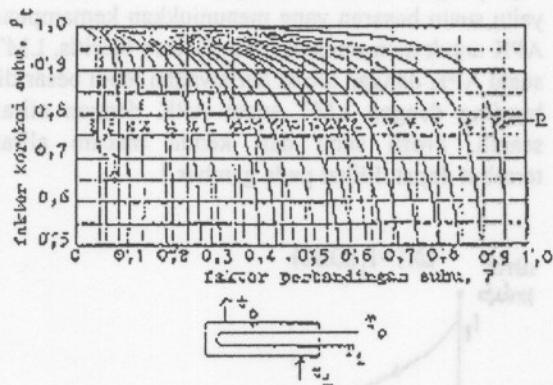
Besarnya LMT adalah :

$$LMT = F_t (LMTD) \quad (6)$$

$$LMTD = \frac{(T_o - t_i) - (T_i - t_o)}{\ln(T_o - t_i) - (T_i - t_o)} \quad (7)$$

$$LMTD = \frac{(T_i - t_i) - (T_o - t_o)}{\ln(T_i - t_i) - (T_o - t_o)} \quad (8)$$

Besarnya faktor koreksi suhu  $F_t$  pada rumus 6 tergantung pada besarnya perbandingan suhu  $P$  dan  $R$ , dapat dicari dari grafik gambar 2.



Gambar 2. Faktor koreksi suhu  $F_t$  sebagai fungsi  $P$  dan  $R$

Disamping itu karena ke empat suhu air pendingin masuk dan keluar APK juga saling terkait maka harus juga dipenuhi persamaan  $\epsilon$ -NTU. Bentuk persamaan  $\epsilon$ -NTU tergantung dari konfigurasi dari APK, dimana untuk konfigurasi APK reaktor Kartini persamaannya adalah :

$$\eta = \epsilon = 1 - [\exp\{\exp(-R(NTU)) - 1\} / R(NTU)]^{0,22} \quad (9)$$

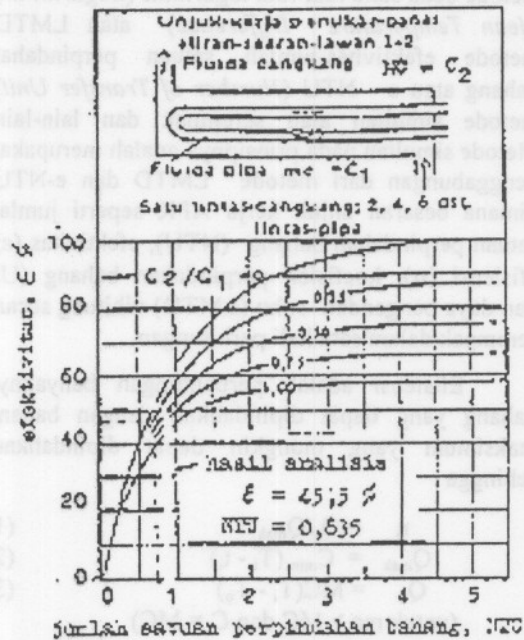
di mana :

$$R = MC/mc = (t_o - t_i) / (T_i - T_o)$$

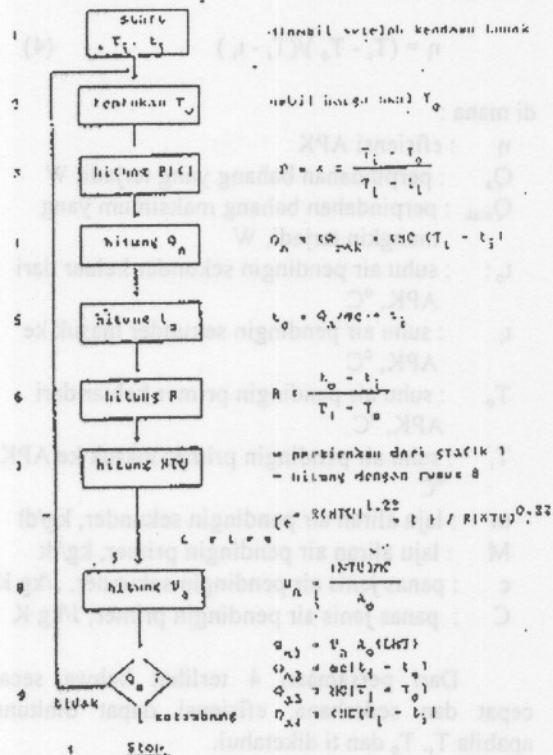
$$NTU = (MC)U_a A_o, \text{ (grafik gambar 3)}$$

$$P = (T_i - T_o) / (T_i - t_i)$$

Agar diperoleh hasil perhitungan yang akurat dan me-menuhi persamaan 1 sampai dengan 9, maka perhitungan dilakukan secara iterasi dan simultan dengan mengikuti langkah-langkah yang ditunjukkan dalam diagram alir pada gambar 4.



Gambar 3. Hubungan antara efektifitas  $\epsilon$  dan  $NTU$



Gambar 4. Diagram alir untuk menghitung efisiensi dengan menggunakan metode simultan

## TATA KERJA

Sebelum dilakukan percobaan, arah aliran air pendingin diubah menjadi aliran berlawanan. Ini dilakukan dengan cara mengubah posisi beberapa elbow dan sistim operasi dari katup (valve). Percobaan untuk mengetahui suhu air pendingin keluar dan masuk APK dilakukan dengan meng-operasikan reaktor pada daya 100 kW dan di-laksanakan dua kali pada waktu yang berbeda. Pengamatan suhu dilakukan satu kali setiap setengah jam setelah reaktor kritis sampai keadaan tunak.

Analisis dilakukan dengan menggunakan metode simultan dimana perhitungan dilakukan dalam satu kali secara serempak dengan cara iterasi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam perhitungan diperlukan konstanta dan dimensi APK, dimana  $A_o = 31,235 \text{ m}^2$ ,  $M = 6,0365 \text{ kg/dt}$  dan  $m = 14,54 \text{ kg/dt}$ . Dari 2 kali percobaan dapat diketahui bahwa suhu air tangki reaktor akan konstan setelah reaktor dioperasikan selama lebih dari 5 jam. Dalam keadaan tersebut suhu air pendingin primer dan sekunder masuk dan keluar APK berturut-turut adalah:  $T_i = 38 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T_1 = 35 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_1 = 32 \text{ }^\circ\text{C}$  dan  $t_o = 33 \text{ }^\circ\text{C}$ . Dari suhu rata-rata air pendingin diperoleh  $C = 4182,82 \text{ J/kg K}$  dan  $c = 4182,62 \text{ J kg K}$ .

Dengan menggunakan diagram alir perhitungan efisiensi pada gambar 4 maka :

1.  $T_i = 38 \text{ }^\circ\text{C}$  dan  $t_i = 32 \text{ }^\circ\text{C}$
2. Diambil  $T_o = 35 \text{ }^\circ\text{C}$
3.  $P = \epsilon = 0,5$
4.  $Q_a = \epsilon Q_{mak} = 75750 \text{ W}$
5.  $t_o = Q_a / mc + t_i = 33,2456 \text{ }^\circ\text{C}$
6.  $R = 0,4152$
7. Dengan memasukkan harga  $\epsilon$  dan  $R$  pada rumus 9 diperoleh  $NTU = 0,6$
8.  $U_a = 485 \text{ W/m}$
9.  $F_1 = 0,97$ .  $LMTD = 3,618$  dan  $LMT = 3,51$
10.  $Q_{a1} = U_a A_o (LMT) = 53171,8 \text{ W}$   
 $Q_{a2} = mc(\Delta t) = mc(t_o - t_i) = 63122,3 \text{ W}$   
 $Q_{a3} = MC(\Delta T) = MC(T_i - T_o) = 63119,8 \text{ W}$   
 $Q_{a4} = \epsilon Q_{mak} = gMC(T_i - t_i) = 63124,8 \text{ W}$

Terlihat bahwa besar  $Q_a$  yang dihitung dengan ke empat cara tersebut hasilnya tidak sama. Untuk itu harus dihitung kembali dari awal dengan

iterasi. Setelah dilakukan perhitungan berulang-ulang diperoleh harga-harga sebagai berikut :

$$\begin{aligned} T_i &= 36 \text{ }^\circ\text{C}, & \eta = \epsilon &= 45,5 \%, & LMT &= 3,27 \\ T_o &= 35,27 \text{ }^\circ\text{C}, & Q_a &= 68876,125 \text{ W}, & NTU &= 0,835 \\ t_i &= 32 \text{ }^\circ\text{C}, & U_a &= 674,79 \text{ W/m K} \\ t_o &= 33,13 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, apabila efisiensi dihitung untuk kondisi aliran searah akan diperoleh

$$\begin{aligned} T_i &= 31,58 \text{ }^\circ\text{C}, & \eta = \epsilon &= 43 \%, & LMT &= 1,987 \\ T_o &= 30,2 \text{ }^\circ\text{C}, & Q_a &= 33704 \text{ W}, & NTU &= 0,63 \\ t_i &= 28,42 \text{ }^\circ\text{C}, & U_a &= 509,28 \text{ W/m K} \\ t_o &= 28,98 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Dari data tersebut terlihat bahwa pada kondisi yang sama, maka APK dengan aliran berlawanan akan mempunyai efisiensi yang lebih besar bila dibandingkan dengan yang alirannya searah. Bila dibandingkan dengan efisiensi APK pada tahun 1994 yaitu sesaat setelah APK dibersihkan, ternyata terjadi penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa faktor pengotor (fouling factor) merupakan hal yang penting dan besar pengaruhnya terhadap efisiensi dan besaran-besaran lain dari APK.

## KESIMPULAN

Dari perhitungan dapat disimpulkan bahwa :

1. Dengan perubahan arah aliran air pendingin diperoleh efisiensi APK sebesar 45,5 %. Apabila dibandingkan dengan efisiensi untuk aliran searah mengalami peningkatan sebesar 2,5 %.
2. Terjadinya penurunan efisiensi sebesar 6,7 % memberikan indikasi bahwa di dalam APK terdapat banyak pengotor setelah 1 tahun dioperasikan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan telah selesainya penelitian ini kami ucapkan terima kasih kepada seluruh staf Subid Teknologi Reaktor yang telah membantu melakukan perubahan arah aliran dari APK.

## DAFTAR PUSTAKA

1. VIJAY GUPTA, J SRINIVASAN, Indian Institute of Technologi, Kanpur, Heat and Mass Transfer. Tata McGraw-Hill Publishing Co, Ltd New Delhi.

2. TABOREK, J AND BELL KENNETH, J, Heat Exchanger Design Hand Book 1983, CHAPTER 1 dan 3, Hemisphere Publishing Corporation.
3. ERG ECKERT and ROBERT M. DRAKE JR, Analysis of Heat and Mass Transfer, Mcgraw-Hill, copyright 1972.
4. SUYAMTO, Analisis dan Evaluasi Unjuk Kerja Alat Penukar Kalor (APK) Tipe Cangkang dan Pipa Reaktor Kartini. Presentasi Ilmiah 22 Nopember 1994 di Pusat Penelitian Nuklir, Yogyakarta

## TANYA JAWAB

### Amir Rusli

- Hasil  $\eta=45\%$ , ( $> 2,5\%$  dari aliran searah),
  - a. Ketelitian perhitungan dan equipment
  - b. Dalam simulasi eksperimen, apakah bapak membuat alat baru (APK)
- Pengotor apa saja yang dapat menurunkan efisiensi ( $\eta$ ).

### Suyamto

- Yang dilakukan adalah eksperimen dengan pengukuran kemudian hasilnya dipakai untuk perhitungan
- Tidak, tetapi hanya mengubah sistem alirannya dengan mengubah posisi elbow dan katub
- Yang dominan adalah kerak calcium

### Setyanta

- Perbedaan efisiensi 2,5 % barangkali hanya merupakan kesalahan dari pelaksanaan eksperimen, sehingga bukan lagi merupakan peningkatan akibat arah aliran yang dibalik. Bagaimana komentar anda
- Secara teoritis, bagaimanakah kecenderungan harga efisiensi jika dilakukan perubahan arah aliran

### Suyamto

- Bukan, karena dilakukan berulang-ulang dan dilakukan oleh orang yang berbeda-beda.
- Efisiensi untuk aliran berlawanan lebih baik, dapat dibaca pada referensi 1.

### Amir Hamzah

- Pengukuran yang dilakukan apakah dengan aliran searah atau aliran berlawanan
- Kapan dilakukan pengukuran sehingga efisiensinya berkurang 6,7 % dibandingkan dengan efisiensi APK tahun 1994 sesaat

setelah dibersihkan, dengan demikian dapat diketahui pengurangan pertahunnya

- Pada judul disebut "Analisis Peningkatan Efisiensi APK". Tapi pada pembahasan maupun kesimpulan terdapat "penurunan efisiensi APK" Mohon komentarnya.

### Suyamto

- Pada ke dua macam aliran
- Kira-kira 10 bulan setelah dibersihkan, ya
- Pada kondisi bersih, efisiensinya  $> 6,7\%$ , sedang untuk kondisi setelah 10 bulan terjadi peningkatan 2,5 %

### Y. Sarjono

- Menurut desain, APK reaktor Kartini pakai sistim aliran searah atau berlawanan dan berapa efisiensinya
- Apakah metode yang dipakai untuk mengevaluasi efisiensi APK sama dengan metode yang digunakan untuk desain. Berapa per bedaan efisiensinya .

### Suyamto

- Seharusnya berlawanan karena lebih menguntungkan
- Tidak sama. Untuk desain biasanya dengan LMT, sedang untuk APK yang sudah lama dipakai lebih baik dipakai metode simultan. Perbedaannya tidak dapat dibandingkan karena kondisinya berbeda yaitu kondisi bersih dan kotor

### Heryudo. K

- Mohon dijelaskan tindak lanjut dari analisis saudara. Misalnya dilakukan treatment terhadap air pendingin sekunder agar penurunan efisiensi APK bisa diperlambat
- Untuk memperkecil kesalahan eksperimen, apakah terhadap termometer pengukur suhu dilakukan kalibrasi

### Suyamto

- Selama ini baru dilakukan perubahan intake water. Treatment secara kimiawi masih dalam pemikiran/perencanaan
- Tidak, terima kasih, akan dilakukan