

PREDIKSI ENDAPAN PENGOTOR PENUKAR PANAS TIPE PELAT REAKTOR TRIGA 2000 BANDUNG

Henky P. Rahardjo^{*}, Sobana^{*}, Dudung A. Razak^{*}, Gito Nitowari^{}**
^{*}Puslitbang Teknik Nuklir - BATAN
^{**}Sekolah Tinggi Teknologi Mandala

ABSTRAK

PREDIKSI ENDAPAN PENGOTOR PENUKAR PANAS TIPE PELAT REAKTOR TRIGA 2000 BANDUNG. Pembuangan panas reaktor TRIGA 2000 bergantung pada efektivitas pemindahan panas dari penukar panas sistem pendinginnya. Jika efektivitas pemindahan panas menurun maka pendinginannya juga akan turun. Turunnya efektivitas dapat diakibatkan karena adanya endapan pengotor dari fluida pendingin, sehingga pengendapan pengotor yang terjadi di penukar panas tersebut perlu diteliti supaya dapat diperkirakan waktu pembersihannya. Pada penelitian ini dilakukan pengamatan temperatur, tekanan dan laju alir penukar panas reaktor TRIGA 2000. Dengan data penunjukan temperatur dan laju alir dapat dihitung efektivitas penukar panasnya melalui metode NTU-Efektivitas. Data tekanan digunakan untuk menghitung tebal lapisan pengotor dan digabung dengan perhitungan koefisien perpindahan panas menyeluruh untuk menghitung tahanan pengotor. Dari tahanan pengotor tersebut dapat ditentukan laju pengendapannya, sehingga dapat diperkirakan waktu untuk melakukan pembersihan penukar panas reaktor TRIGA 2000 Bandung. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa setelah reaktor beroperasi 44 bulan temperatur fluida pendingin primer masuk penukar panas akan mencapai 49°C dengan tebal endapan yang terjadi sebesar 0,28 mm di sisi primer dan 2,21 mm di sisi sekunder. Hasil ini menunjukkan bahwa endapan pengotor di sisi sekunder lebih tinggi dari pada di sisi primer, karena fluida pendingin sekunder tidak diolah secara ketat seperti pada sistem pendingin primer. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pembersihan penukar panas reaktor TRIGA 2000 Bandung harus dilakukan sebelum temperatur fluida pendingin masuk penukar panas mencapai 49°C.

Kata Kunci : endapan, pengotor, penukar panas, temperatur, tekanan, laju alir

ABSTRACT :

FOULING DEPOSIT PREDICTION OF PLATE TYPE HEAT EXCHANGER OF THE BANDUNG TRIGA 2000 REACTOR. TRIGA 2000 reactor heat removal is based on the effectiveness of heat exchanger of cooling system. If the effectiveness decreases, hence its heat removal will goes down as well.

Decreases of effectiveness, can be caused by fouling of coolant. Therefore, fouling deposit research in the heat exchanger is required, so that its clean-up time can be estimated. Observation of temperature, flow rate and pressure datas of heat exchanger of TRIGA 2000 reactor is required in this research. From indicated datas of flow rate and temperature, the heat exchanger effectiveness can be calculated by NTU-Effectiveness method. The pressure data is used to calculate deposit thickness and then combined with the calculation of overall heat transfer coefficient for calculating fouling resistance. The deposit rate can be determined from the fouling resistance. Therefore, estimation of time to do cleaning of the heat exchanger of Bandung TRIGA 2000 reactor can be done. The result, after the reactor was operating for 44 month, the temperature of primary cooling fluid inside of the heat exchanger was increased up to 49°C, with the fouling thickness of 0.28 mm in primary side and 2.21 mm in secondary side. Fouling thickness in the secondary side is higher than primary side, because secondary coolant fluid did not processed tightly like primary cooling system. It means that cleaning of the Bandung TRIGA 2000 reactor heat exchanger should be done before the coolant fluid temperatur as input of heat exchanger reach 49°C.

Key Words : deposit, fouling, heat exchanger, temperature, pressure, flow rate

I. PENDAHULUAN

Reaktor TRIGA 2000 Bandung merupakan reaktor hasil *upgrading* dan telah beroperasi sejak pertengahan tahun 2000. Supaya reaktor tersebut beroperasi lama perlu dipikirkan tentang perawatan dan pemeliharaannya, terutama untuk sistem-sistem penting yang menyangkut keselamatan operasi. Salah satu sistem penting tersebut adalah sistem pendingin reaktor. Sistem pendingin reaktor TRIGA 2000 terdiri dari dua sistem, yaitu pendingin primer dan sekunder yang digunakan untuk membuang panas dari teras reaktor. Pembuangan panas tersebut berlangsung melalui pemindahan panas dari teras ke sistem pendingin primer kemudian ke sistem pendingin sekunder melalui penukar panas. Pemindahan panas yang terjadi pada penukar panas bergantung pada efektivitas penukar panas sistem pendingin reaktor TRIGA 2000 yang bertipe pelat. Jika efektivitas pemindahan panas menurun maka pendinginannya juga akan turun. Turunnya efektivitas dapat diakibatkan karena adanya endapan pengotor dari fluida pendingin. Oleh karena itu perlu dijaga kualitas fluida pendingin tersebut. Air yang

digunakan sebagai fluida pendingin khususnya pada sistem primer harus terbebas dari zat pengotor seperti kandungan mineral atau partikel zat padat supaya tidak terjadi pengendapan, paparan radioaktivitas yang tinggi serta untuk menghindari terjadinya korosi. Untuk menjaga kualitas air pendingin, reaktor TRIGA 2000 dilengkapi dengan sistem pemurnian air, yaitu demineralizer pada sistem pendinginan primer, sedangkan pada sistem pendingin sekunder, pengolahan airnya tidak/belum seketat sistem pendingin primer. Keadaan sistem reaktor yang demikian menyebabkan pengendapan pengotor yang paling besar terjadi pada sisi sekundernya. Oleh karena itu, perlu diteliti pengendapan pengotor yang terjadi di penukar panas tersebut supaya dapat diperkirakan waktu pembersihannya. Pada penelitian ini dilakukan pengamatan temperatur, tekanan dan laju alir penukar panas reaktor TRIGA 2000. Menggunakan penunjukan temperatur dan laju alir dapat dihitung efektivitas penukar panasnya melalui metode NTU-Efektivitas, sedangkan data tekanan digunakan untuk menghitung tebal lapisan pengotor. Bila digabung dengan perhitungan koefisien perpindahan panas menyeluruh dapat digunakan untuk menghitung tahanan pengotor. Berdasarkan tahanan pengotor ini dapat ditentukan laju pengendapannya, sehingga waktu untuk melakukan pembersihan penukar panas reaktor TRIGA 2000 Bandung dapat diperkirakan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Tahanan pengotor

Endapan pengotor dapat berasal dari satu atau lebih mekanisme pengotoran, tergantung pada fluida pendingin dan kondisi sistem tersebut. Ada enam macam mekanisme pengotoran antara lain :

1. Kristalisasi

Kristalisasi adalah peristiwa pembentukan partikel-partikel zat padat di dalam suatu fase homogen, sebagai contoh adanya kelarutan senyawa garam pada fluida pendingin yang dapat berubah akibat perbedaan temperatur.

2. Pengotoran partikel

Adanya partikel – partikel zat padat yang berasal dari lingkungan, masuk ke dalam sistem. Sebagai contoh, partikel zat padat (mineral, lempung atau pasir) dapat berasal dari tanah, bebatuan dan debu dari lingkungan.

3. Aktivitas biologi

Endapan akibat adanya aktivitas biologi dapat dikelompokkan menjadi dua bagian menurut ukurannya, yakni makro dan mikroorganisme. Makroorganisme biasanya dihubungkan dengan binatang dan tumbuhan, sedangkan mikroorganisme dapat berupa bakteri, jamur dan alga.

4. Reaksi kimia

Reaksi kimia dapat terjadi antara satu atau lebih komponen pereaksi yang dapat menghasilkan produk reaksi.

5. Korosi

Korosi dapat terjadi pada penukar panas maupun dalam sistemnya sendiri, dan produk korosi tersebut akan menjadi pengotor bagi fluida pendingin.

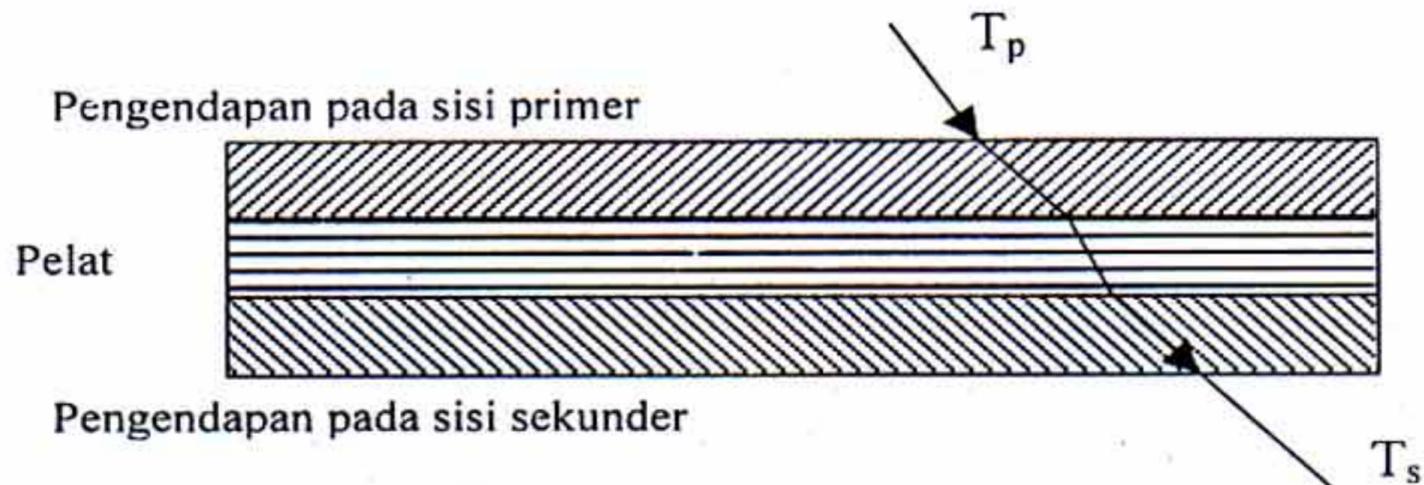
6. Pembekuan

Pengotor akibat pembekuan disebabkan membekunya fluida dengan membentuk butiran-butiran padat karena adanya penurunan temperatur yang melampaui titik bekunya.

Mekanisme pengotoran yang diakibatkan oleh reaksi kimia dan pembekuan dapat diabaikan karena kedua jenis pengotor ini hanya terjadi pada fluida selain air.

Lapisan endapan merupakan hasil akumulasi pengotor yang terdapat pada fluida pendingin dan menempel pada permukaan pemindah panas. Tahanan pengotor berbanding lurus dengan tebal lapisan endapan yang menyebabkan koefisien

perpindahan menyeluruh berkurang. Pengendapan pada pelat penukar panas akibat pengotoran di sisi primer dan sekunder dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 1. Pengendapan pada pelat penukar panas

Tahanan pengotor (R_f) setelah selang waktu tertentu merupakan pengurangan koefisien perpindahan panas menyeluruh pada kondisi kotor (U_f) dengan kondisi bersih (U_c), karena pada kondisi bersih endapan belum terbentuk sehingga tidak melibatkan tahanan panas (R_f) yang diakibatkan oleh pengotor.

$$R_f = 1/U_f - 1/U_c \quad (1)$$

Laju tahanan pengotor dapat dicari berdasarkan laju pelekatan (*deposition rate*, ϕ_d) dan laju pelepasannya (*removal rate*, ϕ_r).

$$dR_f/dt = \phi_d - \phi_r \quad (2)$$

Menurut hasil penelitian Chan yang ditulis oleh Schreier [2], dinyatakan bahwa laju pelepasan merupakan fungsi dari tahanan pengotor (R_f):

$$\phi_r = k_1 R_f^{0,005} \left(\frac{R_e}{10000} \right)^4 \quad (3)$$

R_e merupakan bilangan Reynold dan k_1 merupakan konstanta laju pelepasan (untuk air = $2,34 \cdot 10^{-9} \text{ m}^0\text{C.h/kW}$), sedangkan hubungan antara laju pelekatan dengan laju pelepasan dapat dinyatakan dengan,

$$\phi_d = (R_f/t) + \phi_r \quad (4)$$

di mana t adalah waktu atau lama operasi.

II.2 Metode NTU-Efektivitas

Efektivitas penukar panas didefinisikan sebagai nilai yang menunjukkan kemampuan penukar panas dalam meningkatkan atau menurunkan temperatur fluida dibandingkan dengan kemampuan teoritisnya.

$$\varepsilon = \frac{\text{perpindahan kalor nyata}}{\text{perpindahan panas maksimum yang mungkin terjadi}}$$

Efektivitas untuk penukar panas tipe pelat dengan aliran berlawanan arah adalah,

$$\varepsilon = \frac{\exp\left[\frac{U.A.}{\dot{m}_h \cdot c_h} \left(1 - \frac{\dot{m}_h \cdot c_h}{\dot{m}_c \cdot c_c}\right)\right] - 1}{\exp\left[\frac{U.A.}{\dot{m}_h \cdot c_h} \left(1 - \frac{\dot{m}_h \cdot c_h}{\dot{m}_c \cdot c_c}\right)\right] - (\dot{m}_h \cdot c_h / \dot{m}_c \cdot c_c)} \quad (5)$$

di mana,

m , c dan A berturut-turut adalah laju aliran massa, panas jenis fluida pendingin dan luas perpindahan panas, sedang subskrip h dan c menyatakan sisi panas dan dingin. Didefinisikan jumlah satuan perpindahan panas (*number of transfer unit* atau *NTU*) sebagai,

$$NTU = \frac{U.A}{(m \cdot c_p)} \quad (6)$$

Harga UA merupakan kemampuan suatu penukar panas dalam memindahkan panas, dan harganya dapat dievaluasi menggunakan data ekperimental, sehingga dapat mewakili kondisi penukar panas yang sebenarnya, termasuk keterlibatan kerak pada permukaan pelat.

II.3 Zat pengotor dalam air

Sumber utama air yang mendukung kehidupan di bumi ini adalah laut, dan semua air akhirnya akan kembali ke laut yang bertindak sebagai *reservoir* atau penampung. Perjalanan air mulai dari laut dan kembali ke laut dinamakan "daur hidrologi". Ketika menjalani daur tersebut, air selalu memungut dan menyerap zat-zat yang menyebabkan air tidak murni lagi. Zat-zat yang diserap oleh air alam dapat diklasifikasikan sebagai :

- Padatan terlarut
- Gas terlarut
- Padatan tersuspensi

Bahan-bahan mineral terkandung dalam air terjadi karena kontak a dengan batu-batuan terutama terdiri dari CaCO_3 (kalsium karbonat /batu kapur), MgCO_3 (magnesium karbonat/dolomit), CaSO_4 (kalsium sulfat/gips), MgSO_4 (magnesium sulfat/garam inggris), NaCl (natrium klorida/garam dapur), Na_2SO_4 (natrium sulfat/garam glauber) dan SiO_2 (silika/pasir).

Air yang mengandung mineral kalsium dan magnesium dikenal sebagai air sadah karena senyawa-senyawa tersebut relatif sukar larut dalam air dan cenderung untuk memisah dari larutan dalam bentuk endapan yang akhirnya menjadi kerak. Sebagai contoh pada kehidupan sehari-hari adalah air dipakai untuk mencuci yang mengandung senyawa tersebut akan bereaksi dengan sabun membentuk endapan dan mencegah terjadinya busa. Dengan demikian dapat dimengerti bahwa kesadahan merupakan salah satu sifat yang penting dalam penggunaan air sebagai pendingin reaktor.

Silika dalam air terdapat dalam dua bentuk yakni ion dan zat padat. Dalam bentuk ion, silika tidak stabil sehingga akan mudah bereaksi dengan unsur lain membentuk persenyawaan yang bersifat lain bergantung pada unsurnya, sedangkan dalam bentuk padatan tidak akan bereaksi dengan unsur lain. Silika dapat mudah larut

pada pH yang tinggi tidak seperti kebanyakan senyawa garam. Kandungan konsentrasi silika bervariasi dari beberapa ppm sampai 200 ppm.

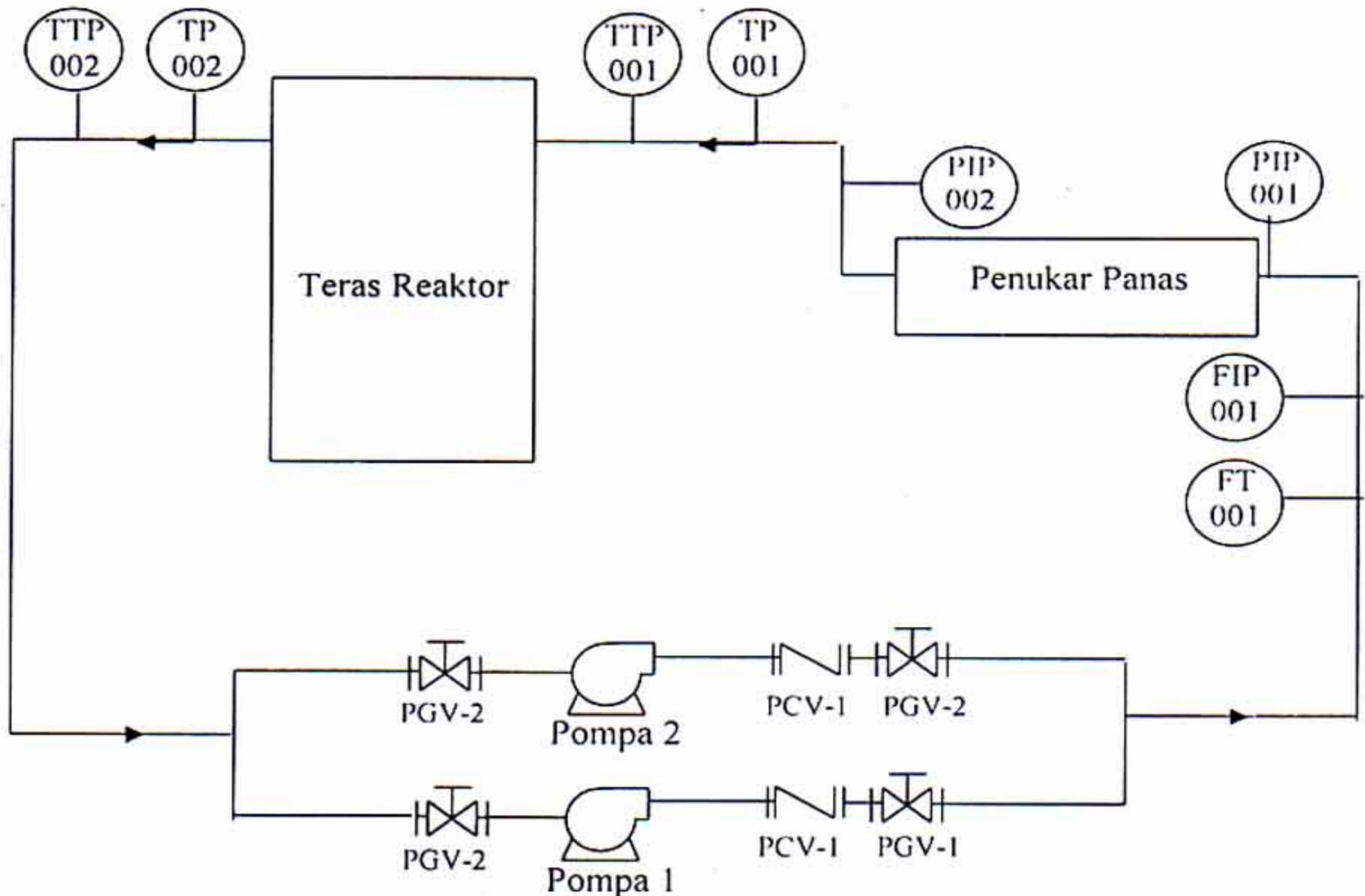
III. ALAT DAN TATA KERJA

Sistem pendingin Reaktor TRIGA 2000 Bandung terdiri dari sistem primer dan sekunder. Sistem tersebut dilengkapi dengan beberapa buah alat ukur seperti alat ukur tekanan, temperatur, laju alir dan konduktivitas listrik air di tangki, seperti ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3

Temperatur fluida yang masuk dan keluar tangki reaktor dapat dibaca melalui alat ukur temperatur TP001 dan TP002, yang ditempatkan pada pipa primer di atas dek reaktor, sedangkan alat ukur temperatur (TS001 dan TS002) untuk sistem sekunder ditempatkan pada pipa sebelum dan sesudah keluar penukar panas. Nilai ke dua temperatur sistem pendingin primer dan sekunder dapat pula dimonitor dari panel konsul oleh operator melalui alat ukur (TTP001 dan TTP002), (TTS001 dan TTS002) serta sensor pencatat konduktivitas listrik air tangki reaktor.

Alat ukur TTP001 dan TTP002 menggunakan sensor RTD yakni tahanan yang peka terhadap perubahan temperatur sebagai bagian perasa. Bagian pengolah sinyal ditempatkan di dalam konsul kendali reaktor yang akan mengubah perubahan harga tahanan menjadi tegangan listrik, dan selanjutnya akan ditampilkan sebagai besaran temperatur pada layar monitor di panel konsul.

Alat ukur TS001 dan TS002 merupakan alat ukur temperatur air pendingin yang berdasarkan prinsip mekanik yang menggunakan bahan bimetal. Perubahan temperatur akan menyebabkan kelengkungan bimetal sehingga sudut jarum penunjuk akan menampilkan besaran temperaturnya.



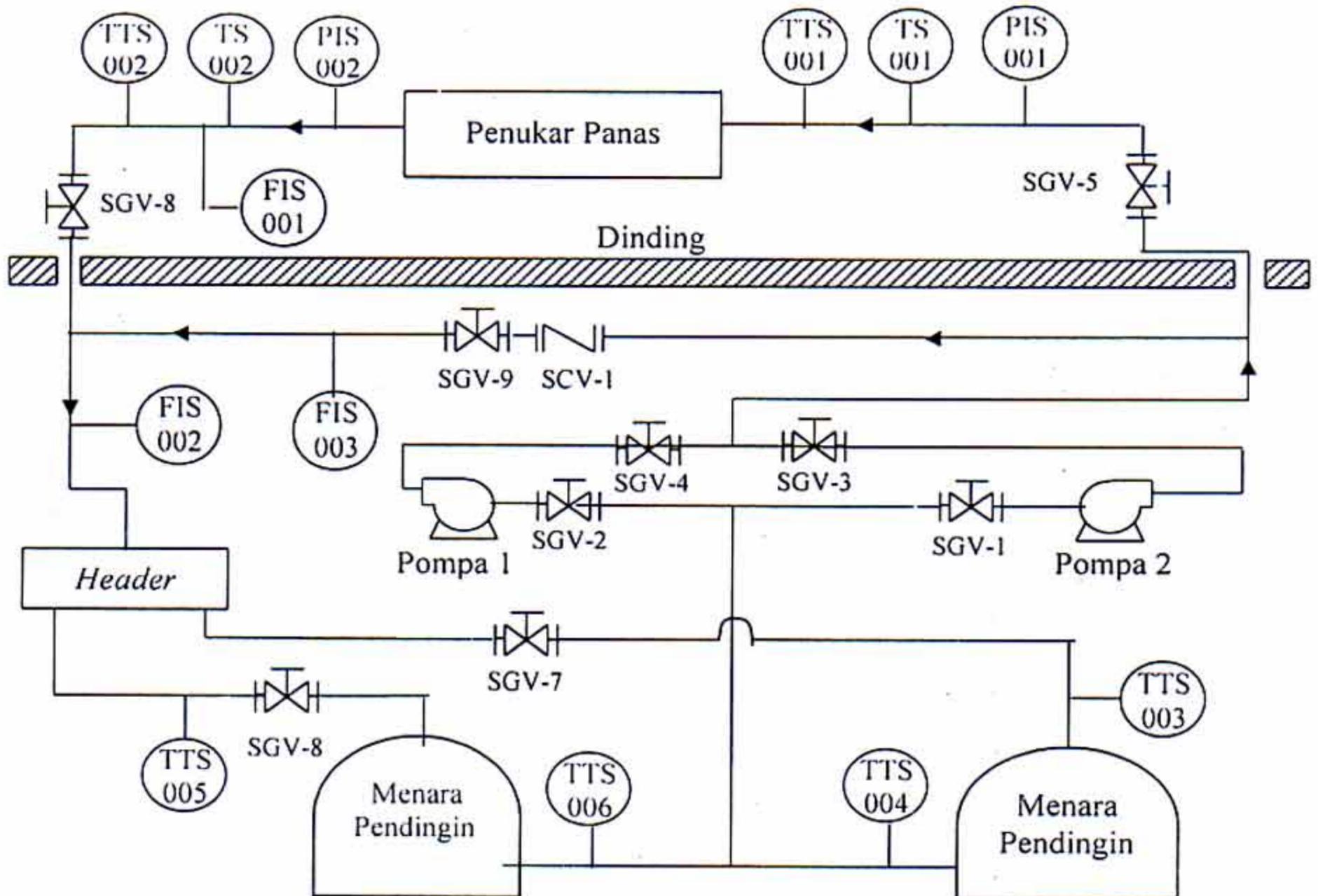
Gambar 2. Skema sistem pendingin primer

Untuk mengetahui besarnya laju alir volumetrik fluida pendingin primer dipasang *flowmeter* yang penunjukannya dapat dibaca di tempat alat ukur (FIP001) dan juga dapat dibaca pada panel konsul melalui alat ukur FT001, sedangkan untuk sistem pendingin sekunder dipasang dua buah *flowmeter* yakni FIS002 dipasang untuk mengukur laju alir total dan FIS001 untuk yang melalui penukar panas.

Tekanan fluida pendingin sebelum dan sesudah penukar panas untuk sistem pendingin primer dan sekunder dipasang manometer (PIP001 dan PIP002) dan (PIS001 dan PIS002) yang bekerja secara mekanik yakni dengan menggunakan pegas sebagai bagian perasa dan dihubungkan dengan jarum penunjuk tekanan.

Data-data yang diperlukan untuk analisis adalah temperatur, laju aliran fluida pendingin dan tekanan fluida pendingin sebelum dan sesudah penukar panas. Data

diambil dari konsul dan pembacaan langsung pada alat ukurnya untuk ke dua sistem pendingin tersebut. Pengamatan dilakukan pada saat penukar kalor masih pada kondisi belum terjadi pengendapan (bersih) dan setelah terjadi pengendapan (kotor).



Gambar 3. Skema sistem pendingin sekunder

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1. Data Pengamatan

Data yang diamati adalah temperatur, laju alir dan tekanan baik untuk sistem primer maupun sekunder. Data yang diperoleh pada saat permulaan operasi disebut data kondisi bersih, sedang data setelah terjadi pengendapan disebut data kondisi kotor.

Pengamatan dilakukan pada saat reaktor operasi rutin, yaitu dengan pengambilan data setelah reaktor beroperasi selama 2 jam untuk mencapai keadaan stabil. Kemudian dicatat setiap satu jam sekali seperti terlihat pada Tabel 1. Pengamatan pada kondisi bersih diambil pada tanggal 29-30 Agustus 2000, hanya untuk tekanan fluida tidak ada datanya, karena pada awal operasi alat ukur tekanannya belum terpasang.

Tabel 1. Data pengamatan penukar panas

Tanggal	Jam	Daya (kW)	Laju alir		Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)			
			Primer (gpm)	Sekunder (l/mnt)	$T_{p,in}$	$T_{p,out}$	$T_{s,out}$	$T_{s,in}$
29-08-00	23.45	1250	757	4700	36,43	29,38	31,8	28
	00.45		768	4700	36,19	29,26	31,7	27,8
30-08-00	12.30		785	4700	37,16	30,18	32,5	28,6
	13.30		794	4700	37,2	30,33	32,6	28,8
29-08-00	01.45	1500	768	4700	38,1	30,63	33,4	28,8
	02.45		767	4700	38,55	30,6	33,3	28,7
30-08-00	09.20		781	4700	38,66	30,82	33,8	29,1
	10.25		795	4700	39,18	31	34,9	29,7
29-08-00	04.30	1750	771	4700	40,49	31,35	34,6	29,2
	05.30		762	4700	40,76	31,67	34,9	29,5
30-08-00	08.20		790	4700	40,68	31,86	35	29,6
	09.20		793	4700	40,64	31,89	34,9	29,7

Pengambilan data kondisi kotor, dilakukan seperti pada saat pengamatan kondisi bersih terutama untuk parameter laju alir fluida pendingin dan daya reaktor harus sama.

Hasil pengamatan selama tiga hari berturut-turut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data pengamatan penukar panas

Pada tanggal 4 September 2002

Jam	Primer				Sekunder			
	Konsul		Pembacaan Alat Ukur		Konsul		Pembacaan Alat Ukur	
	$T_{p,in}$ ($^{\circ}C$)	$T_{p,out}$ ($^{\circ}C$)	$P_{p,in}$ (kg/cm^2)	$P_{p,out}$ (kg/cm^2)	$T_{s,out}$ ($^{\circ}C$)	$T_{s,in}$ ($^{\circ}C$)	$P_{s,in}$ (kg/cm^2)	$P_{s,out}$ (kg/cm^2)
10.15	45,33	36,37	1,4	1	35,3	30,1	3,2	1,9
11.15	45,24	36,58	1,4	1	35,6	30,5	3,2	1,9
12.15	46,1	37,25	1,4	1	36,2	31	3,2	1,9
13.15	45,88	36,95	1,4	1	36,2	31,1	3,2	1,9
14.15	45,73	36,74	1,4	1	36,4	31,2	3,2	1,9

Pada tanggal 5 September 2002

Jam	Primer				Sekunder			
	Konsul		Pembacaan Alat Ukur		Konsul		Pembacaan Alat Ukur	
	$T_{p,in}$ ($^{\circ}C$)	$T_{p,out}$ ($^{\circ}C$)	$P_{p,in}$ (kg/cm^2)	$P_{p,out}$ (kg/cm^2)	$T_{s,out}$ ($^{\circ}C$)	$T_{s,in}$ ($^{\circ}C$)	$P_{s,in}$ (kg/cm^2)	$P_{s,out}$ (kg/cm^2)
09.40	44,87	35,84	1,4	1	35,1	29,9	3,2	1,9
10.40	44,72	35,96	1,4	1	35,2	30,1	3,2	1,9
11.40	45,32	36,35	1,4	1	35,6	30,4	3,2	1,9
12.40	45,12	36,42	1,4	1	35,8	30,8	3,2	1,9
13.40	45,06	36,12	1,4	1	36,1	31	3,2	1,9

Pada tanggal 6 September 2002

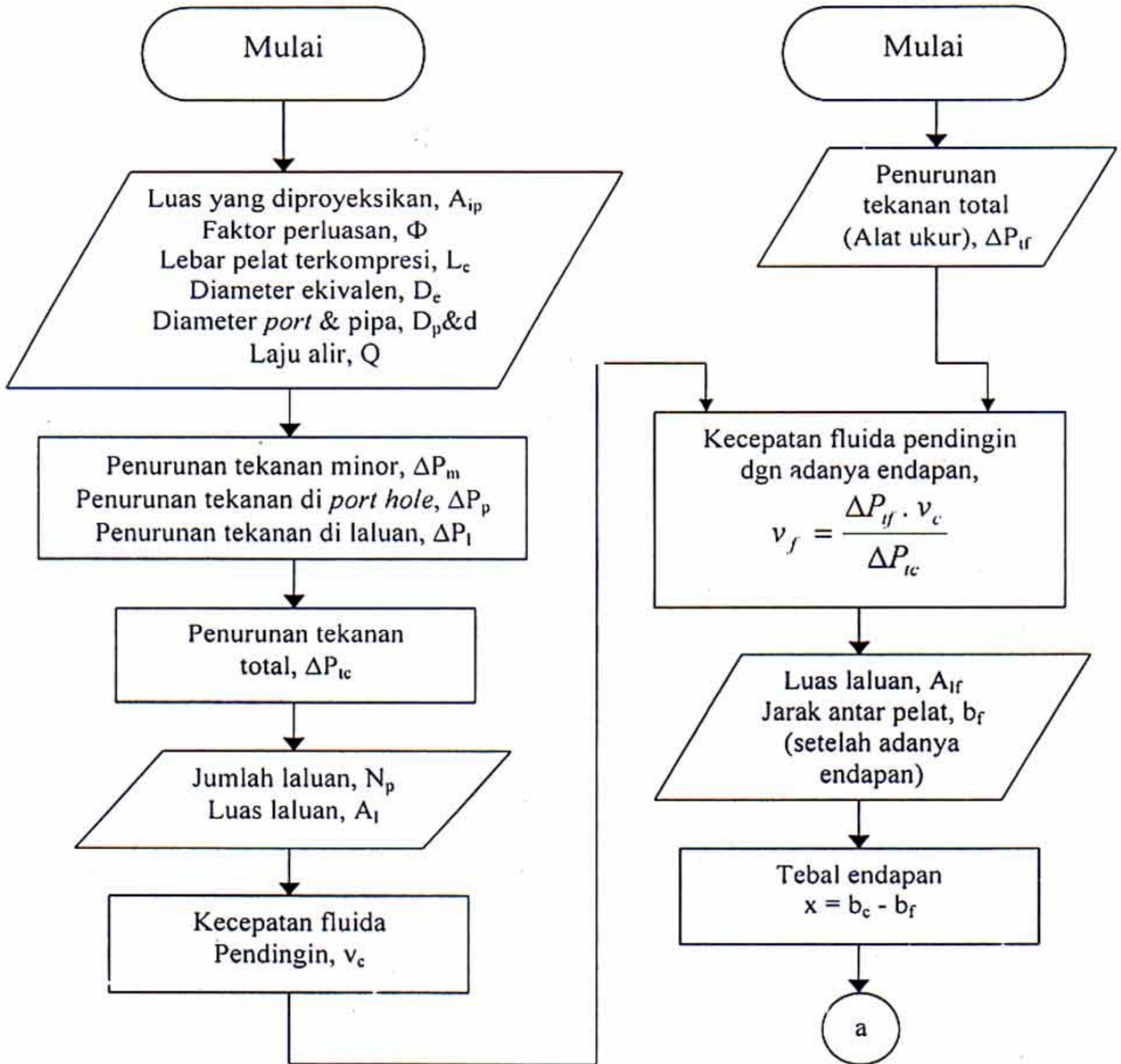
Jam	Primer				Sekunder			
	Konsul		Pembacaan Alat Ukur		Konsul		Pembacaan Alat Ukur	
	$T_{p,in}$ ($^{\circ}C$)	$T_{p,out}$ ($^{\circ}C$)	$P_{p,in}$ (kg/cm 2)	$P_{p,out}$ (kg/cm 2)	$T_{s,out}$ ($^{\circ}C$)	$T_{s,in}$ ($^{\circ}C$)	$P_{s,in}$ (kg/cm 2)	$P_{s,out}$ (kg/cm 2)
09.00	45,35	36,48	1,4	1	35,3	30,2	3,2	1,9
10.00	45,16	36,54	1,4	1	35,5	30,5	3,2	1,9
11.00	45,64	36,72	1,4	1	36,2	31	3,2	1,9
13.00	45,55	36,83	1,4	1	36,6	31,5	3,2	1,9
14.00	45,84	37,07	1,4	1	36,7	31,5	3,2	1,9

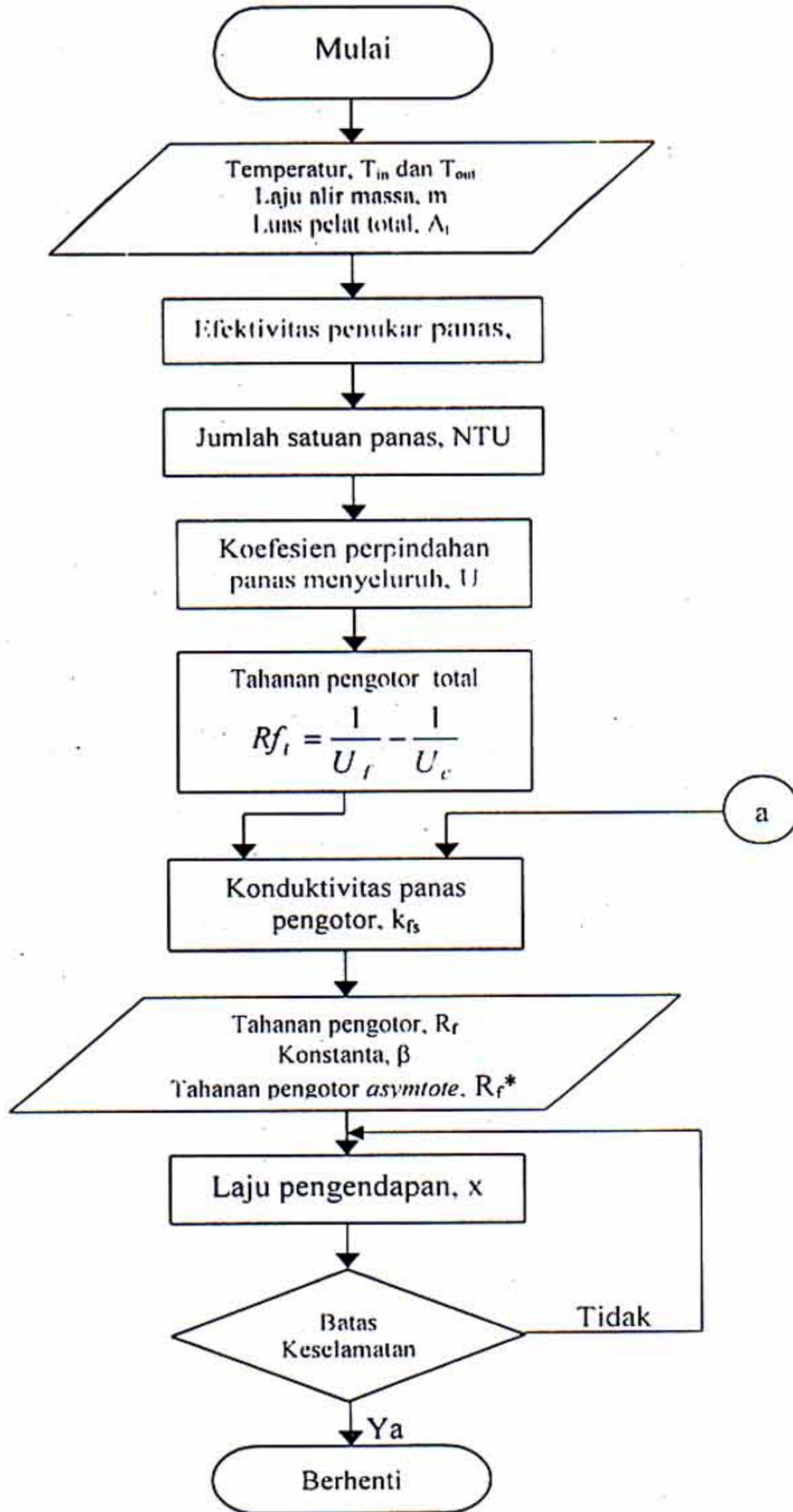
IV.2. Pengolahan Data

Data hasil pengamatan tekanan, temperatur dan laju alir digunakan untuk melakukan perhitungan-perhitungan sebagai berikut :

1. Perhitungan tebal lapisan pengotor menggunakan data tekanan
2. Perhitungan efektivitas penukar panas melalui data temperatur dan laju alir dengan metode NTU-Efektivitas.
3. Perhitungan tahanan pengotor melalui gabungan hasil 1 dan 2 kemudian ditentukan laju pengendapannya.

Untuk jelasnya, langkah pengolahan data dapat dilihat seperti dalam diagram alir Gambar 4, sedangkan hasil perhitungan yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 3. Menggunakan hasil perhitungan ini, kemudian dibuat kurva hubungan antara tebal endapan dengan waktu (Gambar 5), tebal endapan, temperatur keluar tangki reaktor dengan waktu (Gambar 6) dan tebal endapan, efektivitas dengan waktu (Gambar 7).





Gambar 4. Diagram alir laju pengendapan

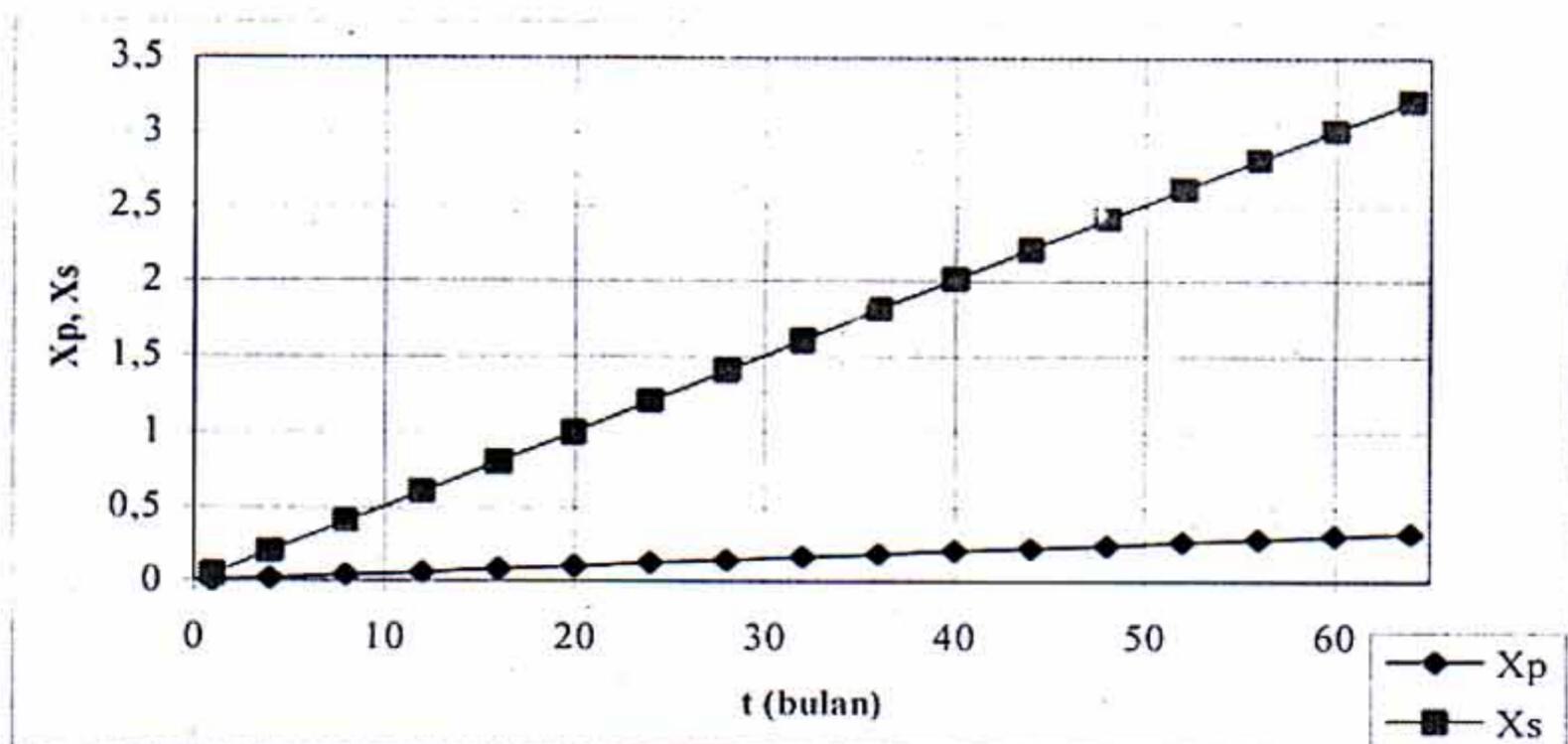
Tabel 3. Hasil perhitungan

Bulan	Tebal endapan sisi primer (Xp) mm	Tebal endapan sisi sekunder (Xs) mm	Temperatur masuk Penukar Panas (Tp,in) °C	Efektivitas (ϵ)
1	0,005117	0,050266	40,9093	0,7968
4	0,020469	0,201066	41,46289	0,7583
8	0,040938	0,402131	42,21247	0,7118
12	0,061406	0,603197	42,97036	0,6702
16	0,081875	0,804262	43,7336	0,6329
20	0,102344	1,005327	44,50052	0,5994
24	0,122813	1,206393	45,27004	0,5692
28	0,143281	1,407458	46,04149	0,5419
32	0,163750	1,608523	46,8144	0,5170
36	0,184219	1,809588	47,58845	0,4942
40	0,204687	2,010653	48,36339	0,4733
44	0,225156	2,211717	49,13906	0,4542
48	0,245625	2,412782	49,91532	0,4365
52	0,266094	2,613846	50,69207	0,4201
56	0,286562	2,814911	51,46922	0,4049
60	0,307031	3,015975	52,24672	0,3907
64	0,327500	3,217039	53,02452	0,3775

IV.3. Pembahasan

Tebal endapan yang terjadi pada penukar panas di sisi primer dan sekunder terhadap waktu operasi reaktor dapat dilihat pada Gambar 5. Pada sistem primer, tebal endapannya jauh lebih kecil jika dibandingkan pada sistem sekunder. Hal ini karena, sistem pemurnian air untuk sistem sekunder tidak seketat sistem primer, yang dilengkapi dengan sistem pemurnian secara intern (*demineralizer*). Air yang digunakan sebagai fluida pendingin primer diambil setelah proses pemurnian tingkat pertama (*softener*). Sebab yang lain adalah adanya zat pengotor dari lingkungan yang masuk ke dalam sistem melalui menara pendingin (*Cooling Tower*) di sistem sekunder. Setelah

reaktor beroperasi 64 bulan kontinu maka dapat diprediksi bahwa tebal endapan pada sisi sekunder telah mencapai 3,21 mm. Seperti diketahui lebar celah laluan penukar panasnya adalah 3,5 mm, berarti hampir seluruh celah laluan penukar panas di sisi sekunder telah tertutup dengan endapan, sedang di sisi primer untuk waktu yang sama tebal endapan yang dicapai jauh lebih kecil yaitu 0,32 mm. Batas *scram* operasi reaktor yang disebabkan kenaikan temperatur pendingin primer, terjadi pada saat temperatur keluar tangki reaktor atau temperatur masuk penukar panas telah mencapai 49 °C. Berhubung hasil perhitungan menyatakan bahwa di sisi sekunder mempunyai tebal endapan yang jauh lebih tinggi dari sisi primer, maka dalam pembahasan ini hanya akan diperhatikan tebal endapan yang ada di sisi sekunder saja.

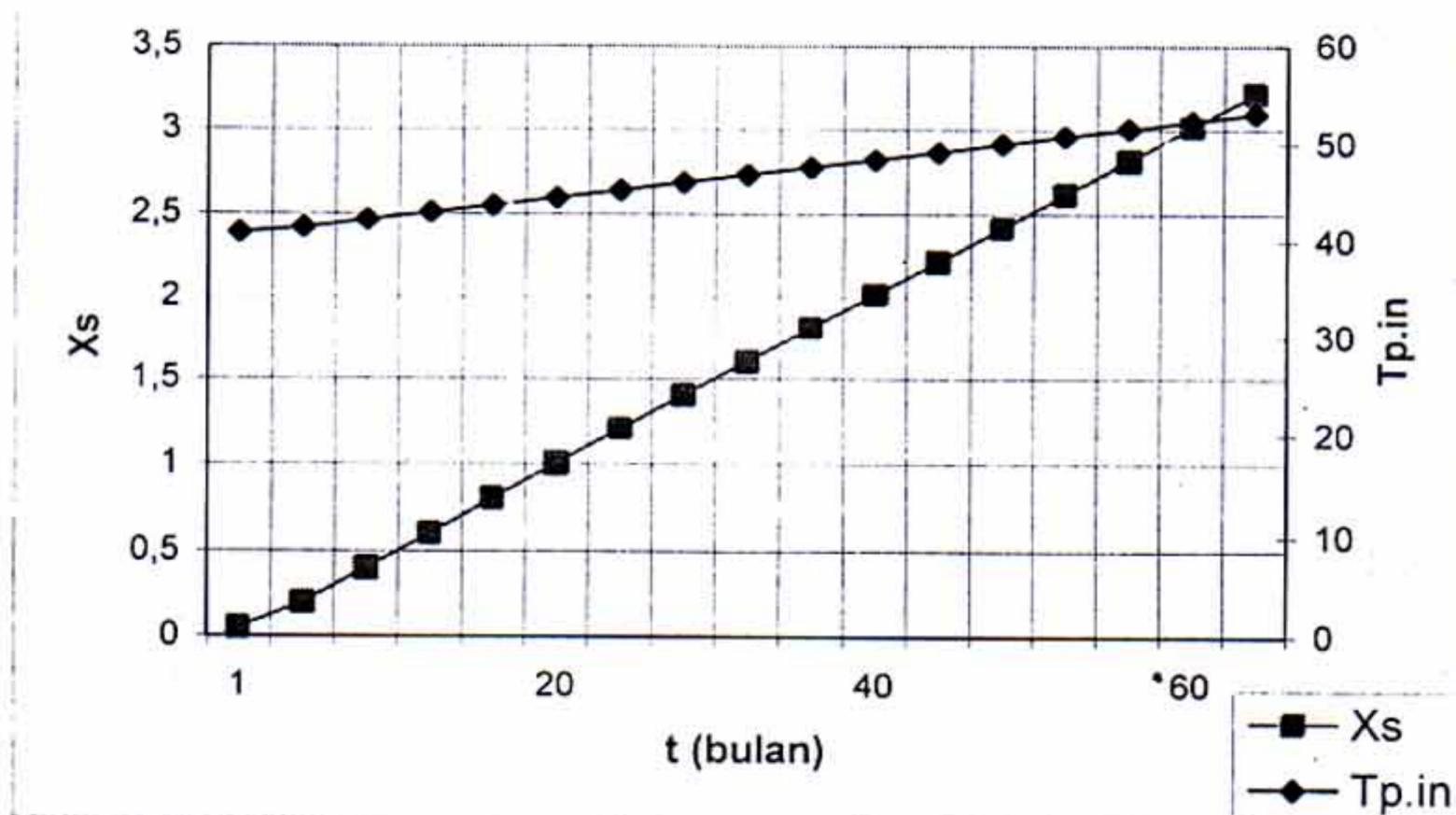


Gambar 5. Tebal endapan terhadap waktu operasi

Endapan baik di sisi primer maupun sekunder akan mempersempit lebar celah atau luas celah laluan penukar panas. Jika terjadi penyempitan lebar atau luas laluan tersebut maka akan mempengaruhi unjuk kerja penukar panas. Hasil pada Gambar 6 menunjukkan bahwa, saat reaktor telah beroperasi 44 bulan kontinu, temperatur fluida pendingin keluar tangki reaktor dapat mencapai 49 °C dengan tebal endapan di sisi

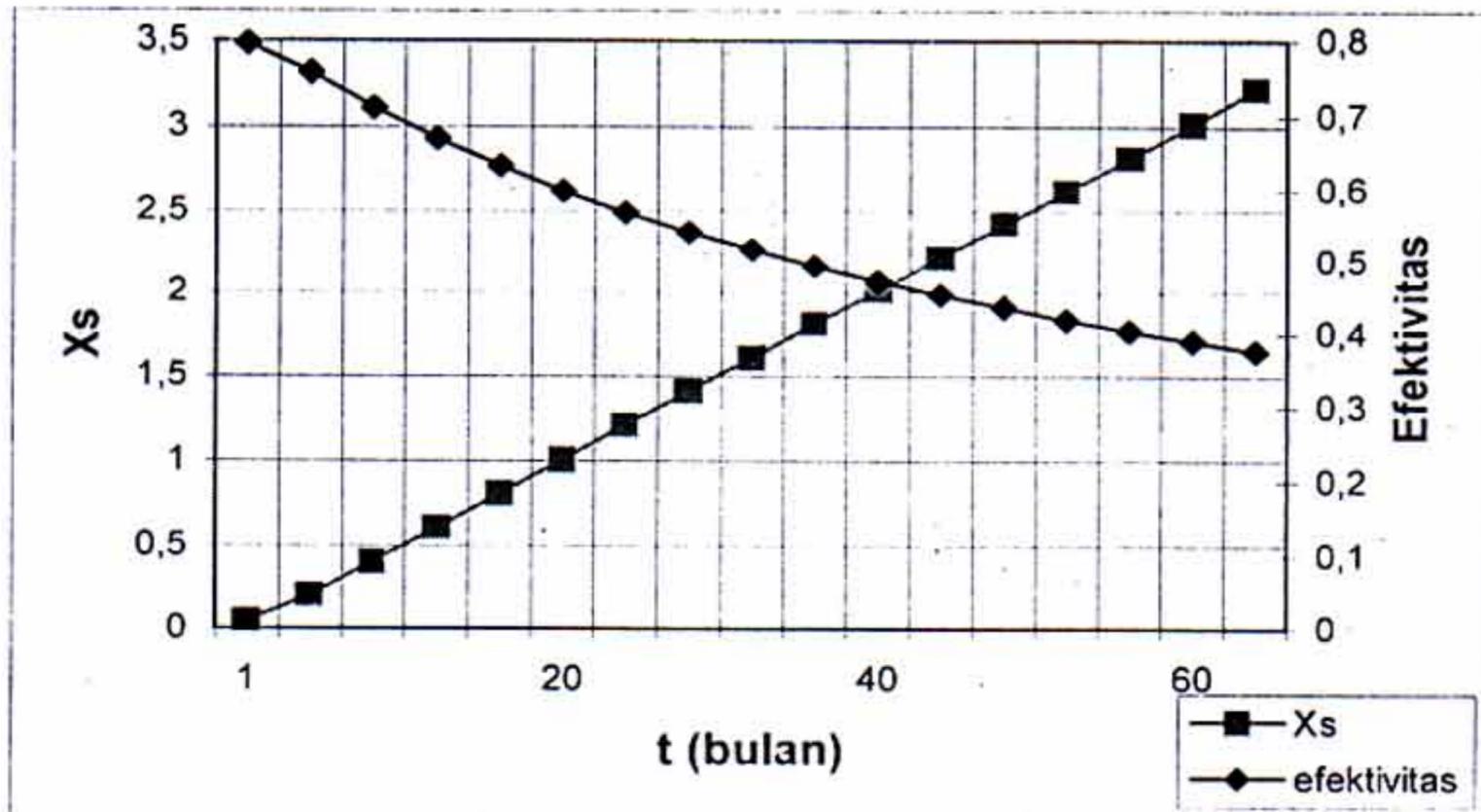
sekunder telah mencapai 2,21 mm. Hal ini menunjukkan bahwa batas kondisi *scram* reaktor telah tercapai, yang berarti pada kondisi tersebut reaktor tidak dapat dioperasikan. Oleh karena itu sebelum kondisi tersebut tercapai penukar kalor harus dibersihkan ($< 48\text{ }^{\circ}\text{C}$) dengan prediksi telah terjadi endapan sekitar 2 mm.

Dari data pengamatan Tabel 2, terlihat bahwa temperatur fluida pendingin keluar tangki sudah mendekati $46\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ini membuktikan bahwa sudah saatnya penukar panas dibongkar untuk dibersihkan.



Gambar 6. Temperatur masuk tangki terhadap waktu

Demikian pula untuk efektivitasnya seperti pada Gambar 7, terlihat bahwa pada saat tercapai tebal endapan 2 mm, efektivitas penukar panas telah turun menjadi 50 %. Padahal pada saat mulai operasi efektivitasnya 80 %. Berarti dengan tebal endapan sebesar 2 mm atau setelah reaktor beroperasi selama 40 bulan, penurunan efektivitasnya sebesar 30 % dan temperatur sudah mendekati $48\text{ }^{\circ}\text{C}$. Oleh karena itu, cukup alasan untuk segera membersihkan penukar panas reaktor TRIGA 2000.



Gambar 7. Efektivitas, tebal endapan terhadap waktu

Sistem pendingin sekunder merupakan sistem sirkulasi terbuka, maka air yang bersirkulasi akan mengandung padatan. Zat padat ini dapat berasal dari korosi pada pipa yang terbuat dari besi karbon. Selain itu, juga berasal dari pertumbuhan biologi, yang dapat dilihat dari hasil pemeriksaan visual di kedua menara pendingin yaitu dengan adanya aktivitas biologi baik makro (lumut) maupun mikroorganisme (jamur), sedangkan padatan yang lainnya merupakan pengotor yang berasal dari udara masuk melalui menara pendingin seperti debu.

Karena reaktor tidak dioperasikan secara terus menerus, maka kemungkinan lain yang dapat terjadi adalah pengendapan akibat gaya gravitasi dari zat padat yang bergantung pada konsentrasi zat pengotor di penukar panas.

Selain itu, zat pengotor biasanya mempunyai muatan listrik statik karena gesekan akan menarik ion-ion negatif dan dapat melekat pada permukaan logam.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Tebal endapan yang terjadi di sisi sekunder jauh lebih tinggi dari pada endapan di sisi primer, karena fluida pendingin sekunder tidak diolah secara ketat seperti pada sistem pendingin primer.
2. Jika temperatur fluida pendingin keluar tangki reaktor TRIGA 2000 telah mencapai 48 °C, maka dapat diprediksi bahwa di dalam penukar panas sisi sekunder telah terjadi endapan setebal 2 mm dengan penurunan efektivitas sebesar 30 % (dari 80 % menjadi 50 %).
3. Karena temperatur fluida pendingin yang keluar tangki reaktor pada saat ini (tahun 2003) telah mendekati 46 °C, maka perlu dipikirkan teknik/cara untuk membongkar penukar panas reaktor TRIGA 2000 agar dapat segera dibersihkan.
4. Dari pengamatan untuk saat ini, diperkirakan bahwa endapan bisa berasal dari lingkungan, aktivitas biologi dan korosi, sedang pengendapannya terjadi secara gravitasi dan adanya muatan listrik antara kotoran dan pelat penukar panas.

V.2. Saran

1. Pembongkaran dan pembersihan penukar panas reaktor TRIGA 2000 Bandung sudah harus dilakukan pada akhir tahun 2003
2. Setiap operasi, amati temperatur fluida pendingin, perubahan tekanan dan laju alir dengan mengambil data sebanyak-banyaknya untuk mendapatkan data yang lebih teliti.
3. Lakukan kalibrasi ulang semua alat ukur temperatur, tekanan dan laju alir.