



3  
11/2

heat transfer  
in pile loop  
heat elements

**KARAKTERISTIK SISTEM PENGATUR TEKANAN**

**FASILITAS PWR/PHWR IN-PILE LOOP**

S 2 2

temperature control

Sarwani, Hendro P, Suwoto, dan Sutrisno

pressure control

p 14 - 22

5 refs, 1 tab,  
4 figs.

**ABSTRAK**

**KARAKTERISTIK SISTEM PENGATUR TEKANAN FASILITAS PWR/ PHWR IN-PILE LOOP.** Fasilitas PWR/PHWR In-pile Loop adalah fasilitas yang berfungsi untuk mengiradiasi berkas elemen bakar pada kondisi yang sesuai dengan kondisi operasi reaktor daya. Untuk mensimulasi kondisi operasi tersebut, fasilitas PWR/PHWR in-pile loop didisain pada tekanan operasi 150 bar dan suhu 350°C. Salah satu komponen utama fasilitas ini adalah sistem pengatur tekanan yang berfungsi sebagai pengatur dan pembangkit tekanan operasi. Sistem pengatur tekanan adalah suatu tangki yang di dalamnya terdapat 6 elemen pemanas (30 KW) sebagai pembangkit uap untuk menaikkan tekanan dan dilengkapi dengan penyemprot air untuk penurunan tekanan serta dilengkapi monitor suhu dan tekanan. Pengujian karakteristik sistem pengatur tekanan telah dilakukan dengan mengoperasikan 2 elemen pemanas (10 KW). Dari hasil pengujian diperoleh bahwa dengan daya 10 KW sistem pengatur tekanan masih mampu menaikkan tekanan sampai 160 bar dalam waktu 27 jam. Saat tekanan nominal operasi tercapai ( $P \approx 160$  bar dan  $T \approx 349$  °C) sistem pengatur tekanan berada dalam keadaan mantap (steady state) dimana besar tekanan dan suhunya tetap dari waktu ke waktu.

**ABSTRACT**

**CHARACTERISTICS OF PRESSURE CONTROL SYSTEM ON PWR/ PHWR IN-PILE LOOP FACILITY.** PWR/PHWR In-pile loop facility is used for testing of fuel element bundle which is correspond to the condition of power reactor operation. So, this facility is designed at 150 bar of pressure and 350°C of temperature. Pressure control system is one of the components of the facility and it is equipped with 6 electrical heaters (30 KW), water spray, pressure and temperature monitors. The characterization test of pressure control system has been carried out with operating of 2 electrical heaters (10 KW). The result shows that with the power of 10 KW, the pressure in the pressure control system can be increased to 160 bar within 27 hours. After the system pressure reached the nominal pressure, the pressure control system was in the steady state condition.

**PENDAHULUAN**

Fasilitas PWR/PHWR in-pile loop adalah sebuah fasilitas iradiasi yang terpasang pada reaktor serba guna GA. Siwabessy yang digunakan untuk simulasi iradiasi berkas elemen bakar bentuk mini dari reaktor daya jenis PWR atau PHWR. Dalam fasilitas PWR/PHWR in-pile loop terdapat pendingin sistem primer dan sistem sekunder. Pada pendingin sistem primer tekanan dan suhu yang terjadi disesuaikan dengan kondisi operasi reaktor daya. Untuk mensimulasi kondisi operasi tersebut maka sistem pendingin primer fasilitas tersebut didisain pada tekanan operasi 150 bar dan suhu 350°C. Untuk menjaga tekanan operasi maka pada sistem pendingin primer dipasang suatu

sistem pengatur tekanan yang berfungsi juga untuk membangkitkan tekanan operasi.

Sistem pengatur tekanan adalah suatu tangki yang di dalamnya terdapat 6 elemen pemanas dengan daya listrik masing-masing elemen 5 KW sebagai pembangkit uap untuk menaikkan tekanan sistem dan dilengkapi juga penyemprot air untuk menurunkan tekanan. Sistem pengatur tekanan mempunyai kapasitas 0,79m<sup>3</sup> dan didisain sampai mampu menahan tekanan 180 bar. Pada saat akan beroperasi, sistem pengatur tekanan diisi air terlebih dahulu sampai terisi 70 % dari kapasitasnya. Pada saat beroperasi ada sebagian air yang berubah menjadi uap, tetapi level air di dalam sistem pengatur tekanan

tetap karena dikontrol oleh make up water pump.

Untuk mengetahui kemampuan sistem pengatur tekanan dalam membangkitkan tekanan dan menjaga kondisi tekanan operasi maka dilakukan penelitian karakteristik sistem pengatur tekanan berdasarkan kemampuannya dalam membangkitkan dan mempertahankan tekanan sistem pendingin primer. Pengujian dilakukan dengan mengoperasikan 2 elemen pemanas atau setara dengan daya 10 KW.

**TEORI**

Sistem pengatur tekanan adalah suatu alat yang berguna untuk menimbulkan tekanan

dan menjaga kondisi tekanan sistem dimana sistem tersebut terpasang. Tekanan pada sistem pengatur tekanan yang dibangkitkan berasal dari tekanan uap air yang ditimbulkan dari pemanasan air oleh pemanas listrik..

Daya yang diberikan pada awal operasi digunakan untuk memanasi air dan setelah tercapai suhu saturasi, akan terjadi penguapan sehingga tekanan di dalam sistem pengatur tekanan terus naik. Setelah mencapai keadaan mantap ( Steady State) pada tekanan operasi yang diinginkan, daya yang masuk ke pemanas hanya digunakan untuk mengatasi rugi bahang yang keluar dari sistem pengatur tekanan agar suhu dan tekanannya dapat tetap terjaga.

$$Q_{\text{masuk}} = Q_{\text{yang terpakai}} + Q_{\text{yang hilang}} \dots\dots\dots(1)$$

Daya pemanas yang digunakan untuk pemanasan, mengikuti persamaan sebagai berikut:

$$P_{\text{in}} = m \cdot C_p \cdot \frac{dT}{dt} + U \cdot A \cdot dT \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

$P_{\text{in}}$  = Daya pemanas yang digunakan untuk pemanasan ( Watt )

$m$  = Massa fluida dalam sistem pengatur tekanan ( Kg )

$C_p$  = Panas jenis fluida dalam sistem pengatur tekanan ( Joule/Kg °C )

$U$  = Koefisien perpindahan panas total sistem pengatur ( Watt/m<sup>2</sup> °C )

$A$  = Luas penampang luar sistem pengatur tekanan ( m<sup>2</sup> )

$DT$  = Selisih suhu fluida di dalam sistem pengatur tekanan dengan udara lingkungan ( °C )

$\frac{dT}{dt}$  = Kecepatan perubahan suhu pada interval waktu  $dt$  ( °C )

Pada keadaan mantap dapat dihitung pengatur tekanan dengan menggunakan koefisien perpindahan panas total dari sistem persamaan :

$$P_{\text{in steady state}} = U \cdot A \cdot ( T_{\text{in}} - T_{\text{out}} ) \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

$P_{\text{in steady state}}$  = Daya saat sistem pengatur tekanan pada kondisi mantap (≈ 5000 Watt)

$T_{\text{in}}$  = Suhu di dalam sistem pengatur tekanan saat kondisi mantap (≈ 349°C)

$T_{\text{out}}$  = Suhu di sekitar sistem pengatur tekanan saat kondisi mantap (≈ 33°C)

Dengan menggunakan persamaan (3) diperoleh harga  $U \cdot A = 15,82$  (Watt/°C)

Daya yang masuk dalam sistem pengatur tekanan digunakan untuk dua keperluan, yaitu untuk menaikkan suhu air sistem pengatur tekanan sampai terjadi penguapan dan untuk mengatasi rugi-rugi akibat bahang yang hilang ke lingkungan. Sehingga :

$$P_{\text{yang hilang}} = U \cdot A \cdot (T_{\text{in}} - T_{\text{out}}) \dots \dots \dots (5)$$

Dimana :

$P_{\text{yang hilang}}$  = Daya yang hilang ke lingkungan (Watt)

$T_{\text{in}}$  = Suhu di dalam sistem pengatur tekanan (°C)

$T_{\text{out}}$  = Suhu lingkungan sistem pengatur tekanan (°C)

Sehingga dengan menggunakan persamaan (4), daya yang digunakan sistem pengatur tekanan dapat dihitung untuk setiap selang waktu tertentu.

## TATA KERJA

Sebelum sistem pengatur tekanan dioperasikan, sistem pendingin primer maupun sekunder pada fasilitas in-pile loop harus sudah terisi air sampai tercapai level air sistem pengatur tekanan 70% dari kapasitasnya. Pengisian air ke dalam sistem pendingin primer maupun sekunder mengikuti prosedur pengoperasian in-pile loop.<sup>1)</sup>

Pemanas listrik sistem pengatur tekanan hanya dioperasikan pada daya 10 KW (2 elemen pemanas dihidupkan dan 4 elemen pemanas dimatikan) dengan maksud untuk menguji kemampuan sistem pengatur tekanan pada daya minimal. Sebelum pemanas dihidupkan catat suhu, tekanan dan level air pada kondisi awal. Selanjutnya setiap waktu 1 jam diamati suhu, tekanan dan daya sistem pengatur tekanan.

Daya yang terpakai = Daya yang masuk - Daya yang hilang (4)

Daya yang masuk didapat dari data hasil percobaan. Dengan menganggap harga  $U \cdot A$  konstan ( $\approx 15,82$  Watt/°C) maka daya yang hilang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

Setelah tercapai keadaan mantap pada tekanan  $\approx 160$  bar dan suhu  $\approx 350^\circ\text{C}$ , dilakukan pengamatan suhu, tekanan dan daya sistem pengatur tekanan sampai didapatkan hasil data yang dianggap konstan yang berarti keadaan mantap benar-benar telah tercapai dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Koefisien perpindahan panas total sistem pengatur tekanan dapat dihitung berdasarkan persamaan (3) dan dengan menganggap harga koefisien perpindahan panas konstan, maka dapat dihitung daya sistem pengatur tekanan yang digunakan untuk menaikkan tekanan berdasarkan persamaan (4).

Selanjutnya dibuat grafik karakteristik tekanan fungsi suhu, karakteristik suhu fungsi waktu dan karakteristik daya yang terpakai fungsi waktu berdasarkan data percobaan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil percobaan dapat dilihat pada Tabel 1 dan dari data hasil percobaan dapat

dibuat grafik karakteristik tekanan fungsi suhu, grafik karakteristik tekanan fungsi waktu dan grafik karakteristik daya sistem pengatur tekanan terpakai fungsi waktu seperti Gambar 1, 2 dan 3. Dari hasil percobaan menunjukkan bahwa dengan daya 10 KW maka untuk mencapai kondisi tekanan operasi  $\approx$  150 bar membutuhkan waktu 27 jam.

Dari grafik karakteristik tekanan sistem pengatur tekanan fungsi suhu dan grafik karakteristik suhu sistem pengatur tekanan fungsi waktu terlihat bahwa saat pertama kali sistem pengatur tekanan beroperasi, bahang dari pemanas digunakan untuk menaikkan suhu air sistem pengatur tekanan sampai mencapai suhu sekitar 100 °C (berlangsung selama  $\hat{u}$  4 jam). setelah suhu mencapai diatas 100 °C, kenaikan tekanan sistem pengatur tekanan naik secara tajam karena air berada pada suhu saturasi sehingga penguapan air semakin besar. Setelah keadaan mantap (setelah  $\hat{u}$  27 jam dari start), suhu sistem pengatur tekanan terjaga konstan. Hasil yang diperoleh ternyata sesuai dengan hubungan antara tekanan uap air dan suhu. (Kern)<sup>4</sup>

Dari grafik karakteristik daya terpakai sistem pengatur tekanan fungsi waktu diperoleh bahwa daya terpakai besar saat pertama kali sistem pengatur tekanan dioperasikan dimana daya pemanas digunakan untuk menaikkan suhu air sistem pengatur tekanan. Setelah tercapai suhu saturasinya ( pada waktu  $\hat{u}$  4 jam ), daya terpakai menurun linier sesuai dengan banyaknya bahang yang digunakan untuk penguapan yang juga menurun seiring kenaikan tekanan. Setelah keadaan mantap daya pemanas hanya digunakan untuk mempertahankan kondisi suhu dan tekanan.

## KESIMPULAN

Dengan daya pemanas 10 KW ( 2 elemen pemanas ) sistem pengatur tekanan masih mampu menaikkan tekanan sistem pendingin primer in-pile loop sampai kondisi tekanan operasi 150 bar dalam waktu 27 jam.

Saat tekanan nominal operasi tercapai, sistem pengatur tekanan berada dalam keadaan mantap dimana besar tekanan dan suhunya tetap dari waktu ke waktu.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Ansaldo, "PWR/PHWR Primary Loop System Operating Manual", Ident. No. 429.05.S0002, 1991.
2. Ansaldo, "PWR/PHWR Service Water System Operating Manual", Ident. No. 420.05.S.0004, 1991
3. Ansaldo, "PWR/PHWR In-pile Loop System Technical Specification", Ident. No. 421.05.S0001, 1989.
4. Kern, D.Q "Process Heat Transfer", Mc Graw Hill, Co. 1983.
5. Tunggul M. Sitompul, Ir.SE.MSc., "Alat Penukar Kalor", PT. Raja Grafinda Persada, edisi 1, 1993.

## PERTANYAAN

Penanya : Usman Sidjadi

### Pertanyaan :

Mengapa asumsi perhitungan proses perpindahan panasnya adalah konduksi steady state harusnyakan konduksi + konveksi?

### Jawaban :

Untuk menghitung daya yang hilang, maka perlu dihitung panas yang keluar dari dinding bagian dalam pressurizer sampai dinding luar

isolasi pressurizer, sehingga perpindahan panas tersebut merupakan perpindahan panas secara konduksi.

Penanya : Yan Bony Marsahala

**Pertanyaan :**

Pada waktu semua elemen pemanas berfungsi, sudah dilakukan analisis disaat komisioning. Sekarang berapa elemen pemanas sudah tidak berfungsi. Yang saya tanyakan kalau sebagian elemen pemanas sudah tidak berfungsi untuk apa dilakukan analisis apa tidak menjadi penelitian yang mubazir?

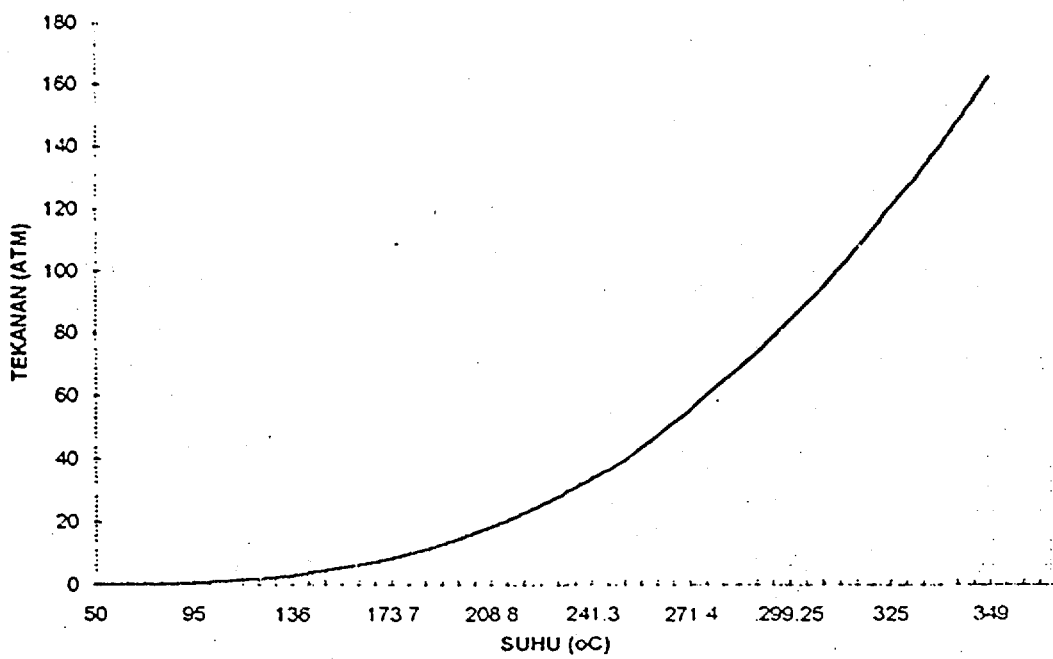
**Jawaban :**

Dengan pengujian tersebut, maka dapat diketahui bahwa pressurizer masih mampu membangkitkan tekanan samapai tekanan operasi 150 bar dalam waktu 27 jam, meskipun hanya dengan menggunakan 2 elemen pemanas (10 kW) yang dapat dioperasikan.

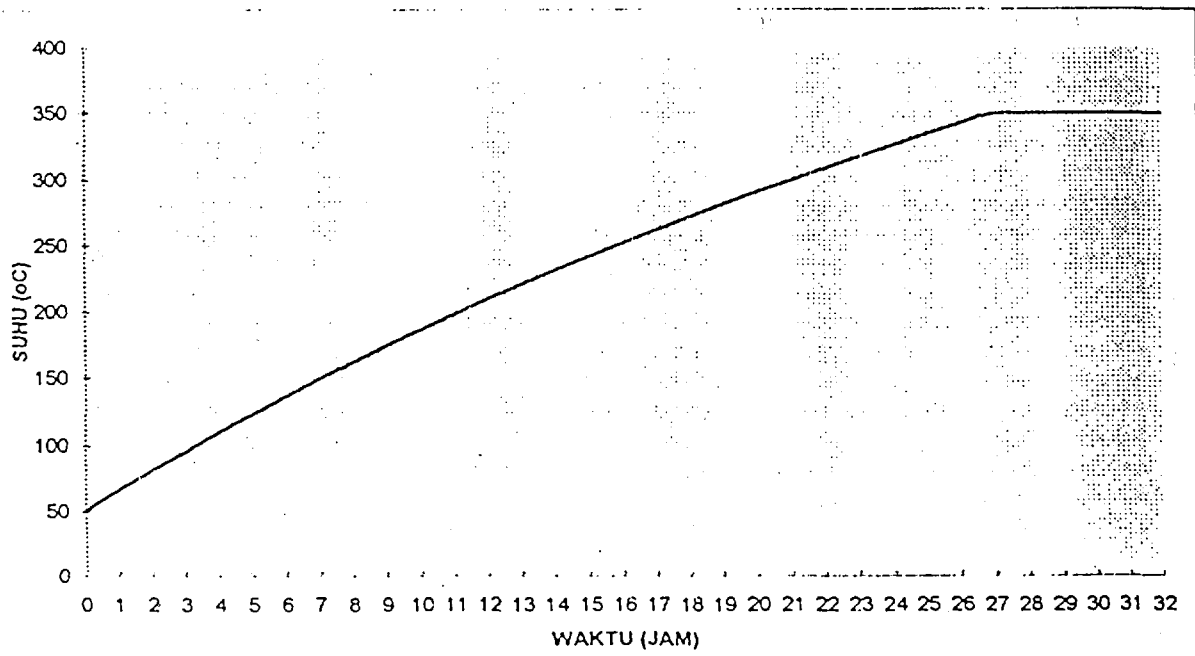
Penelitian ini sangat bermanfaat terutama bila sistem pendingin primer in pile loop akan digunakan untuk penelitian di bidang thermohidrolika.

**Tabel 1 . Data Hasil Pengujian**

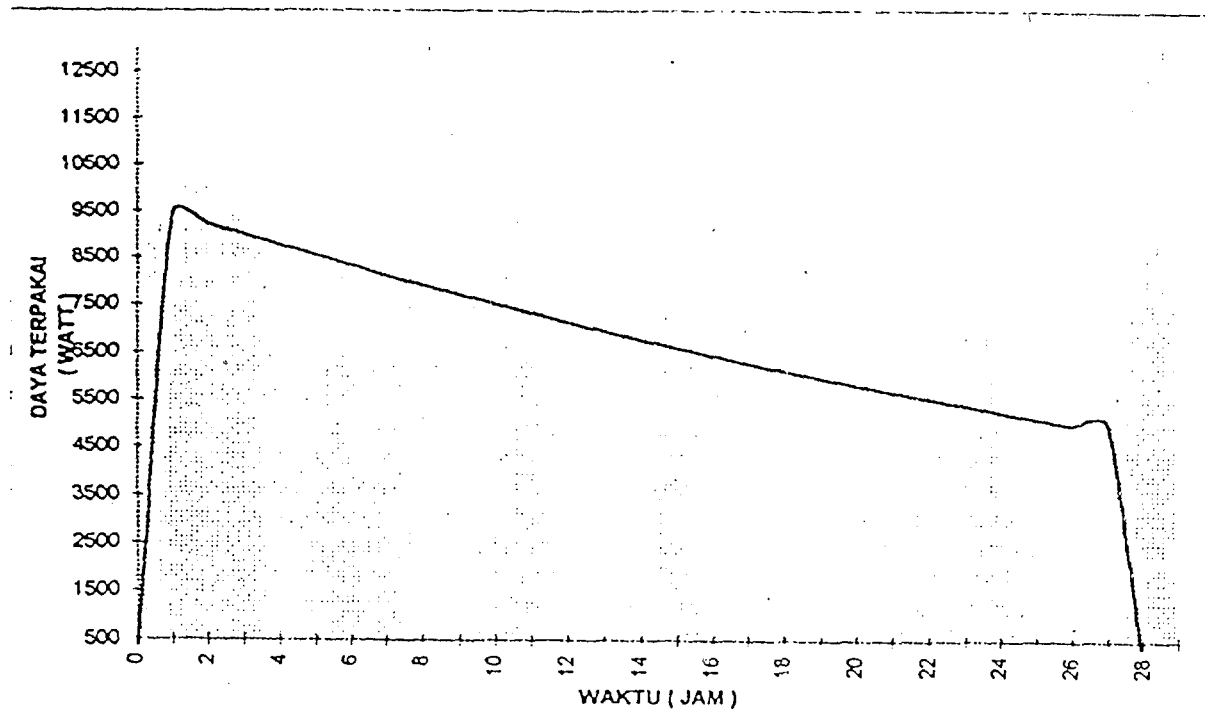
No.	Waktu (Jam)	Daya masuk (Watt)	Suhu (°C)	Tekanan (Bar)	Daya hilang (Watt)	Daya terpakai (Watt)
1.	0	0	50	0,1	0	0
2.	1	10000	66	0,3	552	9448
3.	2	10000	81	0,5	790	9210
4.	3	10000	95	0,9	1022	8978
5.	4	10000	109	1,4	1250	8750
6.	5	10000	122,5	2	1469	9531
7.	6	10000	136	3	1679	8321
8.	7	10000	149	4,5	1895	8105
9.	8	10000	161	6	2100	7900
10.	9	10000	174	8,5	2300	7700
11.	0	10000	186	11	2495	7505
12.	11	10000	197	15	2684	7316
13.	12	10000	209	18,5	2870	7130
14.	13	10000	220	23	3050	6950
15.	14	10000	231	28	3225	6775
16.	15	10000	241	34	3397	6603
17.	16	10000	252	40	3564	6436
18.	17	10000	262	48	3727	6273
19.	18	10000	271	56	3885	6115
20.	19	10000	281	64,5	4040	5960
21.	20	10000	290	74	4191	5809
22.	21	10000	299	84	4337	5663
23.	22	10000	308	95	4481	5519
24.	23	10000	317	107	4620	5380
25.	24	10000	325	120	4756	5244
26.	25	10000	333	133	4888	5112
27.	26	10000	341	147	5008	4992
28.	27	10000	349	160	5015	4985
29.	28	5000	349	160	5000	0



Gambar 1. Karakteristik Sistem Pengatur Tekanan Suhu vs Tekanan



Gambar 2. Karakteristik Sistem Pengatur Tekanan Suhu vs Waktu



Gambar 3. Karakteristik Sistem Pengatur Tekanan Daya Terpakai vs Waktu



