

PENGARUH KEHILANGAN PENDINGIN SEKUNDER TERHADAP KINERJA TERMOHIDROLIKA TERAS RSG G.A. SIWABESSY

Endiah P.H., Kurnia Putranta.

Pusat Reaktor Serba Guna-Badan Tenaga Atom Nasional.

ABSTRAK

PENGARUH KEHILANGAN PENDINGIN SEKUNDER TERHADAP KINERJA TERMOHIDROLIKA TERAS RSG G.A. SIWABESSY. Uji kehilangan aliran sekunder di analisis. Pengujian dilakukan dengan cara mengoperasikan reaktor pada tingkat daya 22 MW, dan selanjutnya mematikan pompa-pompa sekunder. Karakteristik sistem-sistem reaktor dan watak suhu elemen bakar, yang diukur oleh IFE yang ditempatkan di kanal terpanas, diukur selama pengujian. Pengukuran menunjukkan bahwa reaktor di *scram* oleh RPS pada saat 156 detik setelah pompa-pompa sekunder dimatikan. Pada waktu tersebut, suhu pendingin masukan teras dan suhu maksimum permukaan plat adalah sebesar 42,3°C dan 90,44°C. SAR menunjukkan bahwa suhu maksimum pendingin masukan kolam reaktor yang diperkenankan adalah 44°C.

ABSTRACT

INFLUENCE OF LOSS OF SECONDARY COOLER ON THERMOHYDROLOGICS PERFORMANCE IN G. A. SIWABESSY MULTIPURPOSE REACTOR. A loss-of secondary-flow test of the RSG G.A. Siwabessy was analysed. The test was done by operating steadily the reactor a power level of 22 MW and then turning off the secondary pumps. The characteristics of reactor system and fuel element temperatures measured by Instrumented Fuel Element (IFE) located in the hottest place were measured during the test. The measurements showed that the reactor was *scrammed* by RPS ("Reactor Protection System") at the time of 156 seconds after the secondary pumps were off. At the time, the coolant inlet temperature and the hottest fuel cladding surface temperature were 42.3°C and 90.44°C, respectively. The safety analysis report (SAR) mentioned that the maximum permissible temperature of the coolant entering the reactor pool was 44°C.

PENDAHULUAN

Panas hasil reaksi fisi di dalam teras reaktor harus diambil oleh suatu sistem pembuang panas. Pada operasi normal, panas ini diambil oleh sistem pendingin primer dan pendingin sekunder. Kehilangan pendingin sekunder tersebut akan mengakibatkan suhu elemen bakar naik. Hal ini disebabkan karena panas yang diambil dari teras reaktor tak dapat dibuang ke sistem pendingin sekunder. Panas terakumulasi di dalam sistem pendingin primer sehingga menyebabkan suhu pendingin primer/suhu pendingin masukan teras reaktor naik yang pada akhirnya menyebabkan suhu elemen bakar naik. Kenaikan suhu elemen bakar menyebabkan nilai batas keselamatan yang terjadi menjadi lebih rendah. Pada pengujian ini dilakukan suatu simulasi kehilangan pendingin akibat kegagalan sistem sekunder. Reaktor dioperasikan pada daya tinggi (22 MW) selama ± 2 jam, lalu pompa-pompa sekunder dimatikan. Karena pompa sekunder mati, maka suhu pendingin primer naik, dan akhirnya sistem RPS (Reactor

Protecting System) akan *menscram* reaktor karena harga suhu yang di set pada JEO1 CT811/CT821/CT831 dilampaui. JEO1 CT811/CT821/CT831 adalah transduser yang mengukur suhu pendingin masukan kolam reaktor.

TEORI

Proses perpindahan panas ketika terjadi kehilangan pendingin sistem sekunder masih berlangsung dengan cara konveksi paksa. Pengambilan panas dari elemen bakar oleh sistem pendingin primer berlangsung dari atas ke bawah (aliran downward). Persamaan-persamaan perpindahan panas yang digunakan di sini merupakan persamaan empiris yang digunakan antara lain untuk menghitung : suhu curah pendingin, suhu permukaan luar elemen bakar, harga koefisien perpindahan panas, pembangkitan panas di elemen bakar, *onset of nucleate boiling* (ONB) dan OFIR.

a. Suhu curahan pendingin : T_b .

$$T_b = T_{in} + F_b (1/G.A. Cp. 3600). Q(Z)dz \quad (1)$$

b. Suhu permukaan luar elemen bakar : T_w .

$$T_w = T_b + F_1 q/h \quad (2)$$

c. Koefisien perpindahan panas untuk aliran downward.

$$Nu = (h \cdot De)/k = 4,0$$

untuk aliran laminar ($Re < 2000$) (3)

$$Nu = 0,023 Re_{b,0,8} Pr_{b,0,4}$$

untuk aliran turbulen ($Re > 2500$) (4)

(Korelasi Dittus-Boelter).

d. Perpindahan panas pendidihan inti/ONB.
(Korelasi Bergles-Rohsenow).

$$q = 911 P^{1,156} (9/5 (T_{ONB} - T_s))^{2,16} P^{0,0234} \quad (5)$$

e. Fluks panas pada saat terjadinya ketidakstabilan aliran/onset of flow instability.
(Whittle and Forgan).

$$(T_{out} - T_{in}) / (T_s - T_{in}) = 1 / (1 + nDH/LH) \quad (6)$$

T_{in} = Suhu pendingin masuk ke teras ($^{\circ}C$).

F = Faktor kenaikan suhu, dengan indeks :

b = Suhu curah (bulk)

f = Suhu film

W = Suhu kelongsong (wall)

G = Laju aliran massa (kg/m^2 detik)

A = Luas aliran (m^2)

C_p = Panas spesifik ($kcal/kg^{\circ}C$)

Q = Laju pembangkit panas ($kcal/jam$)

Z = Jarak dari masukan kanal (m)

q = Fluks panas ($kcal/m^2$ jam)

h = Koefisien perpindahan panas ($kcal/m^2$ jam $^{\circ}C$)

y = tebal elemen bakar (m)

k = konduktivitas termal ($kcal/m$ jam $^{\circ}C$)

DH = Diameter hidraulik yang dipanaskan (m)

LH = Panjang yang dipanaskan (m)

n = Buble detachment = 25

TATA KERJA

Syarat awal Pengujian

Ada beberapa syarat yang harus dipenuhi sebelum dilakukan pengujian, yaitu :

1. Elemen bakar berinstrumentasi (IFE) RI-10 dan RI-11 telah dipasang, diposisi elemen bakar terpanas, dan telah dihubungkan dengan rekorder multikanal.
2. Kanal-kanal pengukuran suhu untuk mencatat pendingin masuk dan keluar serta suhu penukar panas (HE) telah terhubung.
3. Reaktor siap untuk dioperasikan pada daya tinggi (22 MW).

4. Faktor koreksi sebagai data masukan kalibrasi daya telah diukur.

Prosedur Kerja :

1. Semua rekorder dihidupkan dengan kecepatan gerak 12 cm/jam.
 - Sistem pendingin primer dan sekunder dihidupkan.
 - Reaktor dioperasikan pada tingkat daya 22 MW.
 - Reaktor dipertahankan setimbang pada tingkat daya 22 MW selama ± 2 Jam.
2. Sistem pendingin sekunder dimatikan sedangkan sistem pendingin primer tetap beroperasi.
 - Laju gerak kertas rekorder dipercepat menjadi 12 cm/menit.
 - Semua kertas rekorder diberi tanda sinyal waktu.
 - Kedua pompa pendingin sistem sekunder dimatikan.
 - Blower dimatikan satu persatu.
3. Suhu terukur yang ditampilkan pada rekorder diamati untuk menentukan langkah penyelamatan bila *Reactor Protection System* (RPS), tidak bekerja.
4. Pengamatan suhu elemen bakar dilakukan sampai ± 1 jam setelah reaktor padam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji kehilangan pendingin pada sistem sekunder dilakukan pada daya termal 21,48 MW.

1. Kondisi sistem reaktor pada keadaan tunak (steady state).

laju alir ke dalam teras : 2881 m^3/j .

laju alir HE 1 : 2000 m^3/j .

laju alir HE 2 : 2000 m^3/j .

suhu masuk ke teras
(=suhu keluar dari HE) : 35,10 $^{\circ}C$.

suhu keluar dari teras
(=suhu masuk ke HE) : 42,03 $^{\circ}C$.

Suhu elemen bakar pada kondisi setimbang

RI-11/T1 : 83,24 $^{\circ}C$.

RI-11/T2 : 68,24 $^{\circ}C$.

RI-11/T3 : 64,93 $^{\circ}C$.

RI-10/T4 : 73,61 $^{\circ}C$.

RI-10/T5 : 47,02 $^{\circ}C$.

RI-10/T6 : 36,05 $^{\circ}C$.

2. Kondisi sistem reaktor saat terjadi *scram* (reaktor *scram* karena RPS saat 156 detik setelah pompa sekunder mati).

laju alir ke dalam teras : 2881 m^3/j .

laju alir HE 1 : 0 m^3/j .

laju alir HE 2 : 0 m^3/j .

suhu masuk ke teras : 42,30 $^{\circ}C$.

suhu keluar dari teras	: 43,20 °C.
RI-11/T1	: 90,44 °C.
RI-11/T2	: 75,44 °C.
RI-11/T3	: 72,12 °C.
RI-10/T4	: 80,81 °C.
RI-10/T5	: 47,92 °C.
RI-10/T6	: 43,25 °C.

Suhu elemen bakar sesaat setelah *scram*
(1 detik).

RI-11/T1	: 42,78 °C.
RI-11/T2	: 43,38 °C.
RI-11/T3	: 42,29 °C.
RI-10/T4	: 43,38 °C.
RI-10/T5	: 39,73 °C.
RI-10/T6	: 38,51 °C.

Elemen bakar mencapai suhu minimum ± 12
detik setelah *scram*.

RI-11/T1	: 40,95 °C.
RI-11/T2	: 40,34 °C.
RI-11/T3	: 39,73 °C.
RI-10/T4	: 40,34 °C.
RI-10/T5	: 38,51 °C.
RI-10/T6	: 38,51 °C.

Elemen bakar mencapai suhu setimbang 30
menit setelah *scram*

RI-11/T1	: 40,95 °C.
RI-11/T2	: 39,73 °C.
RI-11/T3	: 39,73 °C.
RI-10/T4	: 40,34 °C.
RI-10/T5	: 39,24 °C.
RI-10/T6	: 39,73 °C.

suhu masuk teras	: 38,88 °C.
suhu keluar teras	: 39,60 °C.

Dari data yang diperoleh saat terjadi *scram*, dilakukan perhitungan untuk mengetahui kondisi rerata dan kondisi terburuk yang mungkin terjadi. Kondisi rerata dihitung dengan menganggap faktor kanal terpanas (Hot Cannel Factor = 1). Hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut :

Suhu masuk kanal pendingin	: 43 °C.
Suhu keluar kanal pendingin	: 53 °C.
Suhu permukaan elemen bakar terpanas :	77,06 °C.

Koefisien perpindahan panas :
2,2698 w/cm² °C.

Panas yang dibangkitkan di permukaan plat sebesar 56,981 w/cm².

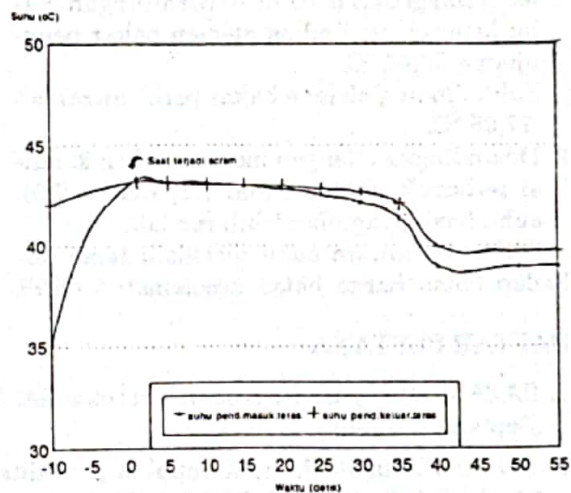
Akan tetapi apabila data hasil pengujian tersebut dihitung dengan menganggap kondisi terburuk yang dapat terjadi (Hot Cannel Factor = 2,6), maka hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut :

Suhu masuk kanal pendingin	: 43 °C.
Suhu keluar kanal pendingin	: 73,31 °C.
Suhu permukaan elemen bakar terpanas :	133,78 °C.

Koefisien perpindahan panas :
2,9667 w/cm² °C.

Panas yang dibangkitkan di permukaan plat sebesar 186,669 w/cm².

Harga kondisi terburuk rasio ketakstabilan aliran (OFIR) mencapai 1,37 pada saat ini awal terjadinya pendidihan titik (ONB) telah terjadi, karena T ONB terjadi pada suhu 128,04 °C. dari Gambar terlihat bahwa setelah terjadi *scram* suhu masuk ke teras melonjak dari 35,10 °C menjadi 42,30 °C. Untuk menaikkan suhu pendingin primer hingga mencapai batas pengesetan RPS diperlukan waktu 156 detik.



Evolusi suhu pendingin masuk dan keluar teras.

Ketika pompa pendingin sekunder mati, sistem pendingin primer mengakumulasi panas yang diambil dari elemen bakar akibat tak terbuang ke HE akan tetapi perpindahan panas masih terjadi secara konveksi paksa. Setelah reaktor padam, sistem pendingin primer hanya mempunyai beban menghilangkan panas peluruhan saja. sehingga suhu menurun terus dan setelah 30 menit suhu masuk ke teras mencapai 38,88 °C. Suhu keluar dari teras hanya mengalami kenaikan relatif kecil (T=1,17 °C), ini tidak mengherankan karena pada kondisi tunak suhu keluar teras telah mencapai 42,03 °C.

Pengamatan watak suhu elemen bakar selama terjadinya proses kehilangan pendingin sekunder sangat penting. Pada keadaan tunak suhu elemen bakar terpanas sebesar 83,24 °C,

akibat naiknya suhu pendingin primer masuk ke teras reaktor, maka suhu elemen bakar sesaat ketika *scram* mencapai 90,44 °C. Setelah reaktor *scram* suhu elemen bakar menurun drastis menjadi 43,38 °C (1 detik setelah *scram*) dan mencapai 39,73 °C setelah 30 menit. Demikian pula halnya dengan suhu kanal pendingin. Pada kondisi tunak suhu pendingin masukan teras adalah 36,05 °C, dan saat *scram* suhu naik menjadi 43,25 °C, selanjutnya menurun terus, dan 30 menit setelah *scram* suhu kanal pendingin sama dengan suhu elemen bakar yaitu 39,73 °C.

Perbandingan hasil pengujian terhadap hasil perhitungan menunjukkan bahwa :

1. Dibandingkan dengan kondisi rerata teras (faktor kanal terpanas=1), suhu kelongsong elemen bakar pengujian sesaat terjadi *scram* lebih tinggi dari pada hasil perhitungan. Suhu kelongsong/dinding elemen bakar pengujian = 90,44 °C.
Suhu dinding elemen bakar perhitungan = 77,06 °C.
2. Dibandingkan dengan menggunakan kondisi terburuk (faktor kanal terpanas = 2,6), suhu hasil pengujian lebih rendah.

Koreksi antara suhu masukan teras terhadap batas harga batas keselamatan OFIR

menunjukkan bahwa pada suhu masuk teras = 36 °C, harga OFIR = 1,49. Apabila suhu masuk teras semakin tinggi, maka harga batas keselamatan semakin menurun.

Dalam perhitungan ini dilakukan variasi suhu masuk teras dari 36 °C sampai 45 °C, harga OFIR berkisar dari 1,49 hingga 1,33.

KESIMPULAN

1. Pengaruh suhu masukan teras terhadap suhu elemen bakar menunjukkan bahwa pada suhu masukan teras 42,3 °C, suhu elemen bakar terpanas dari kondisi tunak 83,24 °C mencapai suhu maksimum saat terjadi *scram* 90,44 °C dan kemudian mencapai suhu setimbang 39,73 °C.
2. Harga batas keselamatan menurun dengan meningkatnya suhu masukan teras. Harga batas keselamatan pada RSG G.A. Siwabessy dari hasil pengujian ini menunjukkan bahwa, dengan suhu masukan teras 42,3 °C harga OFIR mencapai 1,37.

UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada Supervisor dan Operator RSG G.A. Siwabessy yang telah membantu melaksanakan pengujian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. BATAN, Multipurpose research reactor GA. Siwabessy safety analysis report Vol. 3, Jakarta (September 1989).
2. Bidang Fisika Reaktor, Kumpulan prosedur eksperimen teras IV RSG GA. Siwabessy, No. 04/PR/TT4/RSGEFT/90, PRSG-BATAN, Serpong (Desember 1990).
3. Bidang Fisika Reaktor, Kumpulan laporan data teras IV RSG GA. Siwabessy, No. 04/LD/TT4/RSGEFT/90, PRSG-BATAN, Serpong (Januari 1991).
4. El Wakil, M. M., Nuclear Heat Transport, The American Nuclear Society La Grange Park, Illinois (1971).
5. Masanori Kaminaga, Cooled-N : A computer code, for the analysis of steady-state thermal-hydraulic in plate-type research, Japan Atomic Energy Research Institute (February 1990).

DISKUSI

P. Ilham Y. :

1. Manakah yang terpenting/lebih penting yang harus diamati dalam penelitian ini, sejarah suhu bahan bakar vs waktu pada saat pendingin sekunder mati sampai *scram* terjadi atau semenjak *scram* terjadi ?
2. Bagaimana perbandingan antara pengukuran dengan perhitungan (dengan program COOLOD_N) ?

Endiah P.H.:

1. Keduanya penting untuk diamati sejak pendinginan sekunder hilang hingga kondisi stabil setelah *scram*, terutama sejarah suhu elemen bakar ketika menuju suhu terpanas yaitu sejak saat pompa mati hingga *scram* terjadi (suhu maksimum).

2. Perbandingan antara pengukuran dan perhitungan. Pada kondisi teras rerata (faktor kanal terpanas = 1) suhu elemen bakar pada saat pengukuran ($90,44\text{ }^{\circ}\text{C}$) lebih tinggi dari hasil perhitungan ($77,06\text{ }^{\circ}\text{C}$). Pada kondisi terpanas (faktor kanal terpanas = 2,6) suhu elemen bakar saat pengukuran ($90,44\text{ }^{\circ}\text{C}$) lebih rendah dari hasil perhitungan ($133,78\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Aliq:

1. Hasil perhitungan tadi dalam bentuk apa/parameternya yang mana yang diamati?
2. Perhitungan dilakukan berdasarkan masukan dari eksperimen. Kira-kira apa tujuannya?

Endiah P. H.:

1. Parameter yang diamati dalam penelitian ini adalah : karakteristik sistem reaktor dan watak suhu elemen bakar karena kenaikan T_{in} ke teras akibat hilangnya pendingin sekunder pada saat reaktor beroperasi pada daya tinggi.
2. Perhitungan dilakukan berdasarkan masukan eksperimen bertujuan untuk bahan verifikasi harga awal ketidakstabilan aliran (OFI = Onset of Flow Instability) yang sesungguhnya terjadi dan harga OFI dari SAR (Safety Analysis Report).