

**ANALISIS KESELAMATAN ELEMEN BAKAR
DALAM KOLAM BAHAN BAKAR BEKAS
SAAT TERJADI KECELAKAAN PINTU KOLAM**

Oleh ALIM TARIGAN

ABSTRAC

Safety Analysis of Fuel Element In Spent Fuel Storage At Stop Gate Accident. It was carried out capability of primary coolant for fuel elements in spent fuel storage it done stop gate accident. The calculation was using ORIGEN code and NATCON. The result showed that the highest decay heat of fuel element is 63 kW and highest temperature of that is 51,75 °C hence much lower than fuel element melting point.

ABSTRAK

ANALISIS KESELAMATAN ELEMEN BAKAR DALAM KOLAM BAHAN BAKAR BEKAS SAAT TERJADI KECELAKAAN PINTU KOLAM REAKTOR. Telah dilakukan perhitungan kemampuan pendingin elemen bahan bakar dalam kolam penyimpan sementara (SFS) saat terjadi kecelakaan pintu kolam reaktor bocor. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan paket program ORIGEN dan NATCON. Hasil menunjukkan bahwa panas peluruhan bahan bakar tertinggi adalah 63 KW dan suhu tertinggi elemen bahan bakar adalah 51,75 C dan masih jauh dibawah batas titik leleh..

PENDAHULUAN

Setiap kegiatan di dalam kolam reactor yang memerlukan penurunan air kolam reactor, maka semua elemen teras reaktor harus dipindahkan terlebih dahulu ke kolam penyimpanan bahan bakar sementara. Setelah batas kolam reaktor dengan kolam penyimpanan ditutup dengan pintu (stop gate) yang diberi tekanan udara 1,2 bar kolam reactor dapat dikosongkan.

Diasumsikan bahwa reactor beroperasi selama 25 hari pada daya 30 MW kemudian 2 hari setelah shut down seluruh elemen bakar dan elemen kendali dipindahkan ke kolam penyimpanan sementara (SFS). Kemungkinan terjelek yang mungkin timbul adalah terjadinya kerusakan pada pintu penahan air kolam penyimpanan sementara (SFS), sehingga air kolam pada SFS tersebut tinggal 1,33 meter, yang mengakibatkan pendinginan elemen bakar menjadi berkurang (perhatikan gambar 1).

Pada keadaan ini, pendinginan hanya berlangsung secara sirkulasi alam.

Untuk mengetahui kemampuan pendingin elemen bakar dalam kolam SFS saat terjadinya kecelakaan, maka perlu dilakukan analisis keselamatan elemen bakar tersebut.

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan dua buah paket program komputer yaitu ORIGEN-2^[4] dan NATCON^[3]. Program ORIGEN-2 digunakan untuk menghitung panas peluruhan elemen bakar sebagai fungsi lama reaktor padam dan program NATCON untuk menghitung suhu elemen bakar dan pendingin sebagai fungsi panas peluruhan yang dibangkitkan oleh elemen bakar.

Panas peluruhan yang dihasilkan oleh elemen bakar tertinggi pada kondisi daya nominal selama 25 hari operasi dan setelah 2 hari reaktor padam diperoleh sebesar 63 KW. Suhu tertinggi elemen bakar diperoleh 51,75 C, suhu kelongsong sebesar 51,70C dan suhu pendingin sebesar 49,8 C.

Dengan demikian keselamatan elemen bakar tetap terjamin walaupun terjadi kebocoran pada pintu penahan air kolam SFS.

TEORI

Paket Program ORIGEN-2

Pada dasarnya paket program ORIGEN-2 digunakan untuk menghitung penyusutan dan peluruhan radionuklida dengan menggunakan perhitungan satu kelompok energi neutron dan satu daerah.

Paket ini telah dilengkapi pustaka yang terdiri dari konstanta peluruhan radioaktif, tampang lintang serapan neutron, banyaknya foton tiap peluruhan dan sebagainya.

Secara teoritis jumlah suatu radionuklida dalam reactor selalu berubah sebagai fungsi waktu ($\frac{dX}{dt}$), sebagai akibat dari proses penyusutan karena pembelahan, proses aktivasi maupun peluruhan. Secara matematis perubahan ini dinyatakan dalam suatu bentuk

persamaan diffrensial non homogen orde pertama,yang memenuhi hubungan sebagai berikut :

$$\frac{dX_i}{dt} = \sum_{j=1}^N l_{ij} \lambda_j X_j + \bar{\Phi} \sum_{k=1}^N f_{ik} \sigma_k X_k - (\lambda_i + \bar{\Phi} \sigma_i) X_i \dots\dots\dots(1)$$

- Lij = fraksi peluruhan dari nuklida-j ke nuklida I
- J = konstanta peluruhan nuklida -j
- Xj = konstanta nuklida j
 - = fluks netron rerata
 - = fraksi absorpsi netron dari nuklida k yang membentuk nuklida I
 - = tampang lintang absorpsi mikroskopis nuklida I pada netron rerata.

Persamaan (1) dapat ditulis dalam bentuk matriks sebagai berikut:

$$[X_i] = [A][X_i] \dots\dots\dots(2)$$

Penyelesaian persamaan tersebut tidak sederhana mengingat besarnya matriks yang ada dan juga terdapat beberapa konstanta yang jangkawanya amat lebar, misalnya data konstanta peluruhan. Hal ini memerlukan penyelesaian dengan cara cara tertentu, misalnya dengan melakukan penderetan dengan deret Mc Laurin (4), sehingga persamaan menjadi lebih sederhana dan dapat diselesaikan secara numeric,penyelesaian persamaan tersebut ialah :

$$X(t) = \left[\sum_{m=0}^{\infty} \frac{(A \cdot t)^m}{m!} \right] \cdot X(0) \dots\dots\dots(3)$$

Dengan memanfaatkan data kepustakaan yang ada di ORIGEN2, dapat dibuat bentuk keluaran, yaitu :

- a. Komposisi masing-masing radionuklida.
- b. Massa (gram, gram atom).
- c. Radioaktivitas nuklida (Ci).
- d. Daya thermal (watt, MeV/det).
- e. Toksisitas, dan unsur kimia (konsentrasi larutan dalam tiap m³ air).
- f. Laju serapan neutron dan laju pembelahan.
- g. Emisi neutron baik dalam bentuk pembelahan spontan maupun dari reaksi (,n).
- h. Banyaknya emisi photon.
- i. Bahang total (watt).

Dalam analisis ini, paket program ini digunakan hanya untk menghitung bahang yang dibangkitkan oleh elemen bakar dalam kolam SFS.

Data yang diberikan sebagai input dalam kasus ini adalah :

- Massa U-235 dalam elemen bakar yang ada dalam SFS dalam gram.
- Lama operasi reaktor dalam hari.
- Daya operasi reaktor dalam MW.
- Waktu peluruhan dalam hari.

Paket Program NATCON

Paket program ini digunakan untuk analisis termohidrolik elemen bakar jenis plat untuk reaktor penelitian yang didinginkan secara konveksi alam.

Program ini dapat menghitung laju aliran pendinginan, distribusi suhu air pendingin, suhu pada permukaan dan garis tengah plat elemen bakar, titik terjadinya pendidihan inti (Onset of Nuclear Boiling; ONN) dan daya pada awal ONB.

Dalam suatu kolam berisi air bila dipanaskan akan terjadi gaya apung yang besarnya adalah :

$$FB = (\bar{\rho}_c - \rho_{AMB}) A_c L_c$$

dimana:

$\bar{\rho}_c$ = densitas rerata kolam yang besarnya

$$= \frac{1}{L_c} \int_0^{L_c} \rho_c(x) dx$$

ρ_{AMB} = densitas pendingin didalam tangki

A_c = luas tampang lintang kanal pendingin

L_c = panjang kanal pendingin yang dipanaskan.

Gaya apung ini ditahan oleh gaya gesek yang dihasilkan oleh pressure drop, sedangkan kecepatan alir akan mencapai suatu harga dimana kedua gaya ini sebanding. Besar gaya gesek itu sendiri adalah :

$$F_F = \frac{(\rho v)^2 in}{2g} A_c \left[\frac{i}{2\rho in} + \sum_{i=1}^n \frac{f \Delta z_i}{\rho i D_H} + \frac{1}{\rho out} \right]$$

dimana:

ρ = densitas pendinginan pada mode pengamatan

v = kecepatan pendingin masukan

g = percepatan gravitasi

f = faktor gesekan

Δz_i = jarak tetap node pada kanal pendingin

DH = diameter hidrolik kanal pendingin

Kecepatan pendingin inlet diinterasi hingga diperoleh keseimbangan antara gaya apug dan pressure drop. Bila kecepatan alir diketahui, maka koefisien perpindahan panas, suhu pendingin pada pada keadaan mantap, suhu kelongsong dan elemen bakar dapat dihitung.

- Koefisien perpindahan panas dihitung dengan menggunakan persamaan

$$h = \frac{k}{D_H} Nu$$

dimana :

k = termal konduktifitas air

- Suhu dinding ke I arah aksial dihitung dengan menggunakan persamaan

$$Tw_i = \frac{Tc_i + Q_i}{h_i A_i}$$

dimana :

Tc = suhu pendingin

Q_i = panas total yang dibangkitkan pada node ke i seluas A_i

- Suhu dipusat elemen bakar dihitung dengan menggunakan persamaan

$$TCL_i = Tw_i + q \left(\frac{t_c}{k_c} + \frac{t_f}{2k_f} \right)$$

dimana :

q_i = fluks panas per unit area pada node ke i

t_f = tebal elemen bakar

t_c = tebal kelongsong

k_f = termal konduktivitas elemen bakar

k_c = termal konduktivitas kelongsong

selain itu fluks panas, pressure suhu saturasi pada setiap titik aksial juga dihitung, sedangkan suhu pada saat ONB terjadi dihitung dengan menggunakan persamaan bergless-rohsenow

$$\frac{q}{A} ONB = 15,60 p^{1,156} (T_w - T_s)^{2,30} / p^{0,0234}$$

dimana :

$$\frac{q}{A} = \text{fluks panas Btu/hr.ft}^2$$

$$p = \text{pressure lbf / in}^2 \text{ abs}$$

$$Ts = o_F$$

Untuk melakukan perhitungan dengan paket program ini terlebih dahulu harus diukur distribusi daya aksial elemen bakar, dan di sini diambil 11 titik, kemudian data ini digunakan sebagai input data.

Distribusi daya aksial bahan bakar diambil pada posisi terpanas yaitu posisi D5 diteras reaktor dan dibagi ke dalam 11 titik seperti pada tabel 1. Data input lain yang digunakan dalam program ini dapat dilihat pada tabel 2.

PERHITUNGAN

1. Bahang termal yang dibangkitkan oleh elemen bakar sebagai fungsi waktu lama reaktor padam dihitung dengan menggunakan paket program ORIGEN-2. Dalam perhitungan panas thermal elemen bakar tersebut diasumsikan bahwa reaktor beroperasi selama 25 hari pada daya 30 MW (operasi daya penuh)
2. Dibuat grafik antara panas termal sebagai fungsi lama reaktor padam .
3. Suhu elemen bakar dan pendingin sebagai fungsi bahang yang dibangkitkan oleh elemen bakar dihitung dengan menggunakan paket NATCON
4. Dibuat grafik suhu pendingin dan elemen bakar sebagai fungsi panas thermal yang dibangkitkan elemen bakar.
5. Awal terjadi ONB dalam elemen bakar diperoleh dari hasil perhitungan NATCON.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil perhitungan paket program ORIGEN-2 dapat diperoleh bahang yang dibangkitkan oleh elemen bakar sebagai fungsi lama waktu reaktor padam. Hasil yang diperoleh ditunjukkan dalam gambar 2 dan 3.

Dari kedua gambar tersebut dapat dilihat bahwa panas peluruhan elemen bakar berdasarkan 25 hari operasi pada daya 30 MW setelah 2 hari shut down diperoleh 63 KW.

Hasil program NATCON ditunjukkan dalam gambar 4. Suhu tertinggi elemen bakar, kelongsong dan pendingin dalam kolam SFS pada daya 63 KW saat terjadinya kecelakaan adalah sebesar 51,75⁰C, 51,7⁰C dan 49,80⁰C.

Pendidihan elemen bakar dapat terjadi apabila jumlah panas yang dibangkitkan elemen bakar dalam kolam SFS sebesar 735 KW.

KESIMPULAN

Dari hasil yang diperoleh dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- Besarnya bahang yang dibangkitkan elemen bakar dalam kolam SFS tertinggi diperoleh 63 KW, suhu tertinggi pada elemen bakar adalah 51,75 oC. Dengan demikian keselamatan elemen bakar dalam kolam SFS saat terjadi kecelakaan tetap dapat terjamin..

DAFTAR PUSTAKA

1. Safety Analisis Report, SAR Rev 7 tahun 1989.
2. American National Standar for Decay Heat Power in Light Water Reactor, ANSI/ANS5-1979.
3. A Compter Code, NATCON, for The Analyses of Steady-State Thermal-Hydraulics and Safety Margins Plate-Type Research Reactors Cooled by Natural Convection R.S. Smith and W.L. Woodruff,
4. ORIGEN-2 Program

Tabel 1. Data distribusi aksial elemen bakar pada posisi D5 teras reaktor.

Posisi (relatif)	Distribusi daya elemen bekas (relatif)
0,0	0,330
0,1	0,940
0,2	0,830
0,3	0,78
0,4	0,77
0,5	0,80
0,6	0,79
0,7	1,01
0,8	1,12
0,9	0,95
1,0	0,74

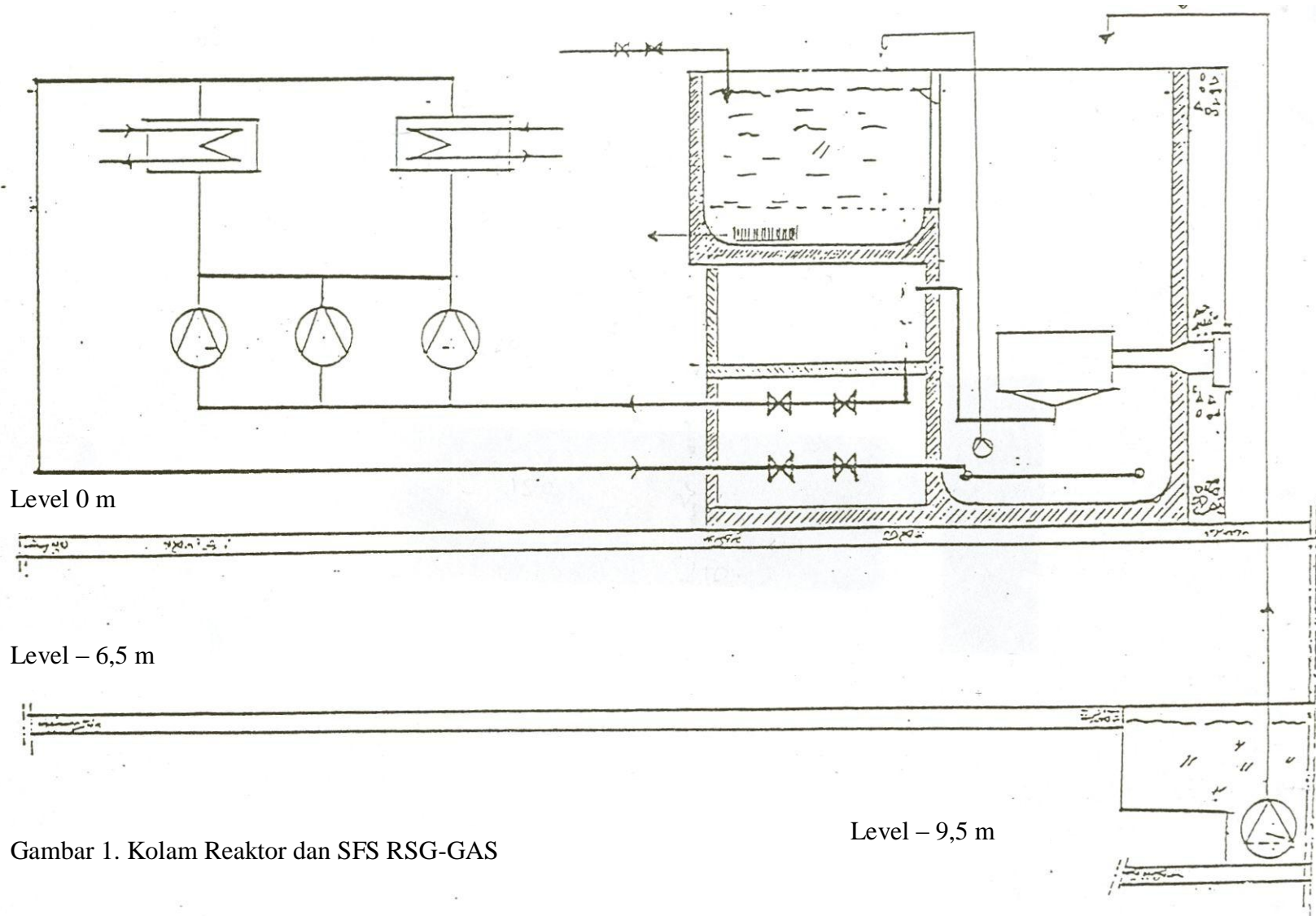
Tabel 2. Input data yang digunakan dalam program NATCON.

Elemen Kontrol

Jumlah	8 buah
Jumlah plat	15 plat

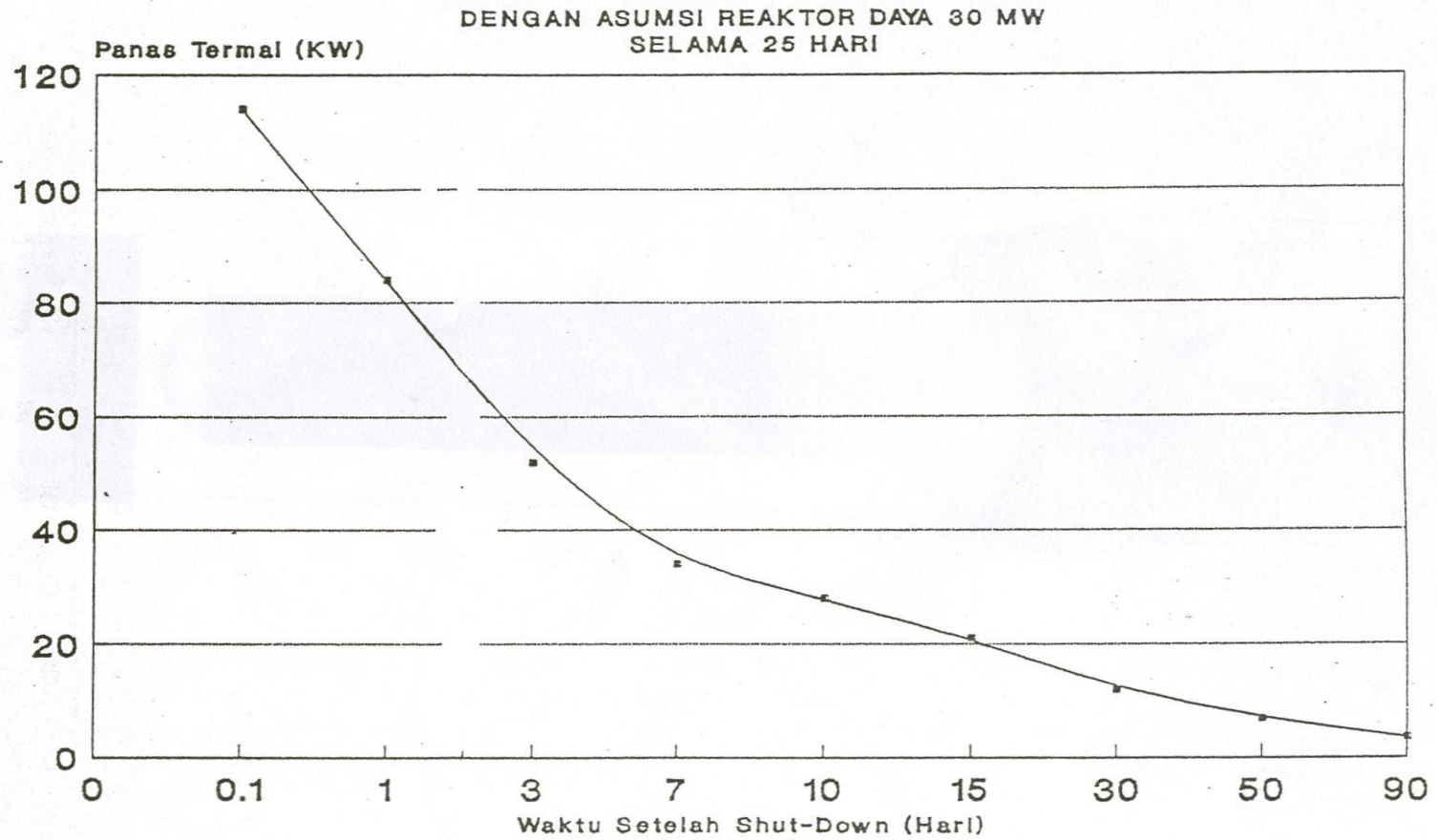
Elemen Bakar

Jumlah	40 buah
Jumlah plat	21 Plat
Dimensi Plat:	
tinggi	0,6 meter
lebar	0,06275 meter
tebal	0,00054 meter
Konduktifitas termal	13,0 W/mk
Tebal kelongsong	0,00054 meter
Termal konduktivitas	13,0 W/mk
Dimensi celah putaran plat	
tinggi	0,625 meter
lebar	0,0671 meter
tebal	0,002557 meter
Ketinggian air dalam kolam SFS	1,35 meter
Suhu awal air pendingin diambil	35 ⁰ C
Radial peaking faktor	2,6
Faktor chanel panas (hot chanel vactors)	
Flow	1,1670
Heat flux	1,200
H.T. coef	1,050



Gambar 1. Kolam Reaktor dan SFS RSG-GAS

Gambar 2. PANAS TERMAL ELEMEN BAKAR SETERLAH SHUT-DOWN SEBAGAI FUNGSI WAKTU



Gambar 3. GRAFIK SUHU VERSUS BAHANG YANG DIBANGKITKAN ELEMEN BAKAR

