

## **SISTEM PENYIMPANAN BAHAN BAKAR BEKAS (SPB3) DENGAN PENDINGINAN KONVEKSI ALAM. TINJAUAN ASPEK KESELAMATAN.**

**E. Susilowati, Saiful S, S. Dibyo**

Pusat Reaktor Serba Guna - BATAN

### **INTISARI**

**SISTEM PENYIMPANAN BAHAN BAKAR BEKAS (SPB3) DENGAN PENDINGINAN KONVEKSI ALAM. TINJAUAN ASPEK KESELAMATAN.** Panas peluruhan yang dibangkitkan oleh bahan bakar bekas masih relatif tinggi, sehingga tetap diperlukan pendinginan dalam penyimpanannya. Dalam kurun waktu 10 tahun, fasilitas ini akan menampung 640 perangkat bahan bakar bekas yang berasal dari kolam penyimpan bahan bakar bekas RSG. Besarnya panas peluruhan dari 640 perangkat bahan bakar bekas tersebut adalah 9223,04 watt. Temperatur air pendingin kolam akan naik secara bertahap dengan kenaikan rerata 0,6°C/hari dan akan setimbang pada 35,87°C. Suhu permukaan bahan bakar bekas 80,24°C. Penguapan air kolam relatif rendah, yaitu sebesar 14,37 l/hari. Hal ini dapat diimbangi dengan pengaliran air tambahan. Dari hasil analisis tersebut dapat disimpulkan bahwa fasilitas SPB3 dapat dioperasikan secara aman dengan pendinginan konveksi alam.

### **Abstract**

**INTERIM STORAGE FOR SPENT FUEL BY NATURAL CONVECTION. SAFETY ASPECT REVIEWING.** Decay heat generated from spent fuel is should be taken into account and it still need a such cooling during its storing. Along 10 years operation, this facility will store 640 spent fuel assemblies. The decay heat of entire spent fuels is 9223.04 watts. Pool water coolant temperatur will gradually increase by 0.6°C/day and reach equilibrium at 35.87°C. The surface temperature of spent fuel element is 80.24°C. Pool water evaporation by 14.3 l/day is counter measured by adding make-up water. Hence, it can be concluded that SPB3 is safely operated just by natural circulation cooling.

### **PENDAHULUAN**

Bahan bakar bekas akan memerlukan pemikiran yang serius di semua reaktor nuklir setelah beberapa tahun reaktor tersebut beroperasi. Sejak bahan bakar mencapai fraksi bakar maksimum, sesuai disainnya, atau setelah masa tinggalnya di dalam teras reaktor habis, bahan bakar bekas dipindahkan ke dalam rak-rak yang berada di kolam penyimpanan bahan bakar bekas yang biasanya terletak berdekatan dengan kolam reaktor. Penyimpanan ini dilakukan dalam jangka waktu tertentu tergantung dari kapasitas penyimpanan rak-rak tersebut. Dengan bertambahnya bahan bakar bekas yang disimpan, perlu dibangun tempat penyimpanan yang lebih besar mengingat bahan bakar bekas masih berpotensi untuk menimbulkan bahaya radiasi.

Saat ini reaktor G.A Siwabessy mempunyai tempat penyimpanan bahan bakar bekas dengan kapasitas penyimpan sebanyak 300 rak. Bahan bakar bekas akan menempati 2/3 dari kapasitas tersebut yaitu sebanyak 200 rak. Dengan menganggap bahwa reaktor akan beroperasi sebanyak 8 siklus/tahun dan setiap siklus reaktor membutuhkan 8 bahan bakar, maka setiap tahun akan ada 64 bahan bakar bekas yang disimpan. Dengan perhitungan seperti tersebut diatas, rak penyimpanan akan penuh selama 2 tahun. Untuk mengantisipasi masalah tersebut saat ini telah dibangun tempat penyimpanan sementara bahan bakar bekas, SPB3, yaitu suatu tempat penyimpanan bahan bakar bekas tipe kolam ukuran 5m x 14m dengan kapasitas penampungan sekitar 1436 perangkat atau sebanyak bahan bakar yang digunakan untuk operasi reaktor

selama 25 tahun. Fasilitas SPB3, yang dipasok oleh AEA Engineering, terletak diantara gedung reaktor dan gedung instalasi radio metalurgi membujur dari barat ke timur. Status saat ini adalah masih dalam tahap konstruksi.

Bahan bakar bekas dengan fraksi bakar sekitar 56% setelah 2 tahun didinginkan di dalam kolam penyimpan bahan bakar bekas dekat kolam reaktor, dipindahkan ke SPB3 melalui suatu kanal penghubung (transfer channel). Bahan bakar bekas disimpan di dalam rak-rak yang terendam di bawah permukaan air bebas mineral dengan kedalaman 4,5 m. Selain berfungsi sebagai media pendingin, air juga berfungsi sebagai penghambat radiasi yang ditimbulkan oleh produk fisi yang terkungkung di dalam matrik bahan bakar. Untuk mengefektifkan pendinginan, kolam penyimpanan bahan bakar SPB3 dilengkapi dengan sistem pendingin yang terdiri dari satu unit alat penukar panas primer dan satu unit alat penukar panas sekunder. Diagram alir sistem pendingin ditunjukkan dalam gambar 1 terlampir.

Direncanakan untuk tahap awal, fasilitas SPB3 akan dioperasikan tanpa mengaktifkan alat penukar panas. Sehingga untuk mendukung rencana tersebut, dalam tulisan ini dihipotesakan pompa sirkulasi gagal sehingga sistem aliran pendingin tidak bisa difungsikan. Panas peluruhan akan dipindahkan ke air kolam secara alamiah. Masalah penting yang harus diperhatikan adalah bahwa suhu bahan bakar akan naik perlahan-lahan dan akibatnya penguapan air kolam dipercepat. Analisis pada kondisi ini ditekankan terhadap aspek keselamatan bahan bakar khususnya ketahanan kelongsong bahan bakar terhadap panas peluruhan yang ditimbulkan.

**TEORI :**

Prinsip keselamatan yang harus diperhatikan dalam menangani penyimpanan bahan bakar bekas adalah :

- mencegah terjadinya kritikalitas
- mencegah paparan radiasi yang melebihi batas

- mencegah pelepasan zat radioaktif

Untuk mempertahankan prinsip pertama, disain suatu sistem penyimpanan bahan bakar bekas harus dapat menjamin bahwa bahan fisil yang terkandung di dalamnya selalu dalam kondisi subkritis. Sedangkan syarat 2 dan 3 dilakukan dengan cara merendam bahan bakar bekas di bawah permukaan air pada kedalaman tertentu. Selain berfungsi sebagai perisai, air juga berfungsi sebagai media pendingin. Pada awal waktu penyimpanannya, panas peluruhan yang dibangkitkan oleh bahan bakar bekas masih cukup tinggi sehingga sistem pendinginan secara basah, yaitu pendinginan dengan menggunakan air sebagai media pendingin, merupakan suatu alternatif.

Panas peluruhan yang dibangkitkan bahan bakar bekas dihitung dengan paket program ORIGEN2. Pada prinsipnya paket program ini digunakan untuk menghitung pembangkitan dan penyusutan radionuklida serta sifat-sifat lain dari bahan nuklir termasuk di dalamnya hasil aktivasi dan panas peluruhan. Metoda yang digunakan adalah perhitungan satu kelompok dan satu daerah.

Kecepatan perubahan nuklida karena proses pembelahan, peluruhan dan proses aktivasi merupakan fungsi dari waktu dan dijelaskan oleh persamaan differensial non homogen orde satu sebagai berikut :

$$\frac{dX_i}{dt} = \sum_{j=1}^N \lambda_j X_j + \phi \sum_{k=1}^N f_{ik} \sigma_k X_k - (\lambda_i + \phi \sigma_i + r_i) X_i + F_i$$

$$i = 1, \dots, N \quad (1)$$

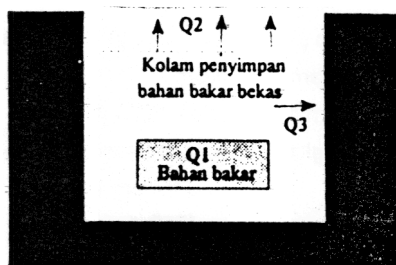
- $X_i$  = konsentrasi nuklida i
- $N$  = jumlah nuklida
- $\lambda_j$  = fraksi peluruhan nuklida j ke nuklida i
- $\lambda_i$  = konstanta peluruhan radioaktif
- $\phi$  = fluks neutron rata-rata
- $f_{ik}$  = fraksi penyerapan neutron dari nuklida k yang membentuk nuklida i
- $\sigma_k$  = tampang lintang penyerapan neutron nuklida k

- = kecepatan penyusutan nuklida  $i$
- $F_i$  = kecepatan pembentukan nuklida  $i$

Paket program ORIGEN2 dilengkapi dengan pustaka data yang memuat data konstanta peluruhan radioaktif, tampang serapan dan banyaknya foton tiap peluruhan. Pustaka data tersebut dikelompokkan menjadi tiga yaitu : aktinida, produk fisi dan produk aktivasi. Untuk melaksanakan suatu perhitungan, paket program ORIGEN2 membutuhkan masukan data berupa : berat awal bahan nuklir, fluks neutron/daya terbangkit dan waktu irradiasi.

Berdasar pada disain yang ditawarkan oleh AEA Engineering, sistem pendinginan SPB3 dilaksanakan dengan mensirkulasikan air kolam melalui satu unit alat penukar panas dengan kecepatan  $6\text{m}^3/\text{jam}$ . Sehingga temperatur air kolam dapat dipertahankan rendah. Pada kondisi sirkulasi air pendingin terganggu, pendinginan bahan bakar akan dilaksanakan secara alamiah. Selain dipindahkan ke air kolam, panas peluruhan akan dipindahkan keluar melalui dinding beton kolam. Temperatur air kolam akan naik perlahan-lahan sehingga mengakibatkan penguapan air dipercepat. Kenaikan suhu air kolam ini harus diperhatikan karena pada suhu yang tinggi, ketahanan kelongsong bahan bakar akan menurun.

Keseimbangan energi pada kondisi tersebut dapat ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut :



Gambar 1. Kolam penyimpanan bahan bakar bekas

$$dQ/dt = Q_1 - Q_2 - Q_3$$

$dQ/dt$  = perubahan jumlah panas di kolam pendingin

$$= m \cdot C_p \cdot (t_{\text{bulk}} - t_{\text{awal}}) \quad \text{cal/jam}$$

$Q_1$  = jumlah panas peluruhan bahan bakar bekas( dihitung dengan ORIGEN2) cal/jam

$Q_2$  = jumlah panas yang dipindahkan dari air kolam ke udara

$$= NA \cdot \lambda + h_1 A (T_{\text{bulk}} - T_{\text{udara}}) + \xi \sigma A (T_{\text{bulk}}^4 - T_{\text{ud}}^4)$$

$NA \cdot \lambda$  = panas penguapan air kolam ke udara cal/jam

$h_1 A (T_{\text{bulk}} - T_{\text{udara}})$  = perpindahan panas dari permukaan kolam ke udara dengan cara konveksi cal/jam

$\xi \sigma A (T_{\text{bulk}}^4 - T_{\text{ud}}^4)$  = perpindahan panas dengan cara radiasi cal/jam

$Q_3$  = jumlah panas yang dipindahkan dari air kolam ke dinding beton cal/jam

$NA$  = kecepatan penguapan air kolam gr/jam

$\lambda$  = panas laten penguapan air kolam cal/gr

$$NA/A = -D_v P (p_{A1} - p_{A2}) / RT p_{Bm} (y_1 - y_2) \quad (3)$$

$A$  = luas permukaan kolam m<sup>2</sup>

$D_v$  = koefisien difusivitas m<sup>2</sup>/jam

$P$  = tekanan total atm

$p_A$  = tekanan parsial uap air atm

$R$  = konstanta gas atm m<sup>3</sup> / gmol °K

$T$  = suhu mutlak °K

$p_{Bm}$  = tekanan parsial rata-rata logaritmik uap air atm

$y_1 - y_2$  = jarak antara dasar kolam ke permukaan m

Untuk menentukan suhu permukaan bahan bakar pada kondisi steady, didekati dengan persamaan :

$$dQ/dt = h \cdot A (t_s - t_{\text{bulk}}) \quad (4)$$

$dQ/dt$  = kecepatan transfer panas

$h$  = koefisien transfer panas secara konveksi

$A$  = luas permukaan transfer panas

$t_s$  = suhu permukaan bahan bakar

$t_{\text{bulk}}$  = suhu air kolam

Harga koefisien transfer panas,  $h$ , ditentukan dengan analisa dimensional.  $h = (Gr, Pr, Nu)$ . Dengan memperhatikan bahwa bahan bakar bekas disimpan dalam rak-rak penyimpan secara vertikal, maka koefisien perpindahan panas  $h$  untuk aliran laminer, dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$h_{\alpha} = 0,41 k/x (Pr \cdot Gr_x)^{1/4} \quad (5)$$

$x$  = jarak dari dasar pemanas

$k$  = konduktivitas termal bahan bakar

$Gr$  = bilangan Grashof

$$= r^2 g \beta (T_s - T_{\text{bulk}}) X^3 / \mu^2$$

$Pr$  = bilangan Prantdl

$$= C_p \mu / k$$

$\beta$  = koefisien muai ruang air

Untuk aliran laminar, ditunjukkan dengan harga bilangan Grashof

$$(Gr) < 10^9,$$

$$h_c = 1/L \int_0^L h_{\alpha} dx = 0,555 k/L (Gr \cdot Pr)^{1/4} \quad (6)$$

$L$  = panjang sumber panas

Untuk aliran turbulen, ditunjukkan dengan harga bilangan Grashof  $(Gr) > 10^9$ ,

$$h_c = 0,13 k/L (Gr \cdot Pr)^{1/3} \quad (7)$$

Harga  $t_s$  (suhu permukaan bahan bakar) merupakan salah satu parameter termik yang harus diperhatikan selama bahan bakar bekas dalam penyimpanan.

#### PERHITUNGAN :

- Jumlah panas yang dibangkitkan :

- Dasar perhitungan :

-fraksi bakar bahan bakar = 56% (waktu iradiasi 175 hari)

-penyimpanan dilakukan secara bertahap dengan selang waktu 1 tahun dan setiap tahun jumlah bahan bakar bekas yang disimpan bertambah 64 perangkat

- pada awal penyimpanan, bahan bakar bekas yang dipindahkan ke SPB3 telah mengalami pendinginan pendahuluan selama 2 tahun

- waktu penyimpanan diasumsikan selama 10 tahun. Hal ini berdasar bahwa diatas waktu 10 tahun, panas peluruhan kecil dan dapat diabaikan.

Dengan menggunakan paket program ORIGEN-2 diperoleh hasil sebagai berikut : panas peluruhan yang ditimbulkan oleh bahan bakar bekas,

tahap I (tahun 1)	= 64 x 64,55 watt
tahap II (tahun 2)	= 64 x 30,55 watt
tahap III (tahun 3)	= 64 x 15,6 watt
tahap IV (tahun 4)	= 64 x 8,96 watt
tahap V (tahun 5)	= 64 x 5,96 watt
tahap VI (tahun 6)	= 64 x 4,57 watt
tahap VII (tahun 7)	= 64 x 3,90 watt
tahap VIII (tahun 8)	= 64 x 3,38 watt
tahap IX (tahun 9)	= 64 x 3,33 watt
tahap X (tahun 10)	= 64 x 3,31 watt
panas total	= 9223,04 watt

Pada 10 tahun pertama, di SPB3 terdapat bahan bakar bekas dengan berbagai tingkat peluruhan, yaitu dari 2 tahun s/d 11 tahun, dengan jumlah panas terbangkit = 9011,84 watt. Masukan dan keluaran hasil perhitungan paket program ORIGEN2 ditunjukkan pada lampiran 2 dan 3.

#### - Analisis suhu air kolam :

Pada pendinginan secara konveksi alam, suhu air kolam penyimpan akan naik secara bertahap. Asumsi yang digunakan dalam menentukan suhu air kolam adalah sebagai berikut:

- Ukuran kolam penyimpan panjang = 14 m, lebar = 5m dan kedalaman air 4,5m

- Suhu air kolam mula-mula = 25°C (= 77°F)

- Panas terbangkit ( $q_1$ ) = 9223,04 watt (= 31480 BTU/jam )  
= 7752,47 kcal/jam

- massa air pendingin = 314.066,13 kg

- tidak ada panas yang dipindahkan ke dinding beton.

Neraca keseimbangan energi :

$$dQ/dt = Q_1 - Q_2 - Q_3$$

$$Q_3 = 0$$

$$dQ = (Q_1 - Q_2) dt$$

$$Q = (Q_1 - Q_2) t_{(jam)}$$

$$m \cdot Cp \Delta T = (31480 - NA \cdot \lambda) t_{(jam)}$$

untuk  $\Delta T = 4^\circ C (=7,2^\circ F)$ , diperoleh harga

$$\rho = 62,15 \text{ lb/Cuft} \quad ^1)$$

$$Cp = 0,9975 \text{ BTU/lb } ^\circ F$$

$$\lambda = 1040 \text{ BTU/lb} \quad ^5)$$

$$NA = 1,31 \text{ lb/jam} \quad ^1)$$

$$t = 169 \text{ jam} = 7 \text{ hari}$$

Pada kondisi temperatur air kolam naik  $4^\circ C$ , kecepatan penguapan air sebesar  $1,31 \text{ lb/jam}$  atau  $14,3 \text{ l/hari}$ . Kenaikan temperatur ini dicapai setelah interval waktu 7 hari.

Dengan cara perhitungan yang sama, pada harga  $\Delta T$  yang berlainan didapat hasil sebagai berikut

$\Delta T, ^\circ C$	t, hari
4	7,0
5	8,8
6	10,5
7	12,5
8	14,3
9	16,1
10	18
11	19,8

#### Analisis suhu permukaan bahan bakar :

Suhu permukaan bahan bakar bekas dianalisis dengan memperhatikan bahwa :

- bahan bakar bekas disimpan dalam rak-rak penyimpan secara tegak
- mekanisme perambatan panas berlangsung secara alamiah (konveksi alam)
- suhu air kolam mula-mula =  $25^\circ C$

Pada kondisi  $t_{bulk} = 35,87^\circ C$ , harga  $t_s$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (4) dan (7) pada teori. Dengan cara iterasi, program

terlampir pada lampiran 4 s/d 5, didapat harga  $t_s = 80,04^\circ C$

#### PEMBAHASAN

Dari hasil perhitungan diatas, dapat dilakukan pembahasan sebagai berikut :

1. Pada tahap penyimpanannya yaitu periode 10 tahun pertama jumlah panas peluruhan yang dibangkitkan oleh bahan bakar bekas adalah sebesar  $9,223 \text{ kwatt}$ . Harga ini relatif kecil bila dibanding kemampuan air kolam dalam menerima panas. ( Massa air kolam adalah sebesar  $2.202.890 \text{ kg}$  ). Sebagai tambahan informasi, perhitungan panas peluruhan yang dihitung oleh pemasok adalah sebesar  $36 \text{ kwatt}$ . Perbedaan ini dikarenakan pihak pemasok mengasumsikan pendinginan awal bahan bakar sebelum dipindahkan ke SPB3 adalah selama 100 hari. Sehingga panas-peluruhan masih cukup besar. Dalam kenyataannya, kolam penyimpan bahan bakar bekas yang terletak disamping kolam reaktor mampu untuk menampung bahan bakar bekas selama 2 tahun operasi. Dengan demikian asumsi yang diambil oleh pihak pemasok terlalu konservatif.
2. Pada kondisi pendinginan dilaksanakan secara konveksi alam temperatur air kolam akan naik secara bertahap dengan kenaikan rata-rata  $0,6^\circ C/hari$ . Dan akan mencapai kesetimbangan pada temperatur  $35,87^\circ C$ . Sedangkan temperatur bahan bakar adalah sebesar  $80,04^\circ C$ . Kecepatan penguapan air kolam sebesar  $14,3 \text{ l/hari}$  dan hal ini dapat diatasi dengan memberikan air make up ke kolam. Ditinjau dari aspek keselamatan bahan bakar, kondisi ini masih sangat baik. Dan selanjutnya bila diantisipasi untuk kondisi kolam penuh, yaitu selama 25 tahun penyimpanan, penambahan beban panas masih dapat diatasi.
3. Hasil perhitungan ini merupakan hasil awal yang masih memerlukan tindak lanjut. Untuk pengkajian yang lebih akurat, diperlukan

- 1 kolam penuh, yaitu selama 25 tahun penyimpanan, penambahan beban panas masih dapat diatasi.
2. Hasil perhitungan ini merupakan hasil awal yang masih memerlukan tindak lanjut. Untuk pengkajian yang lebih akurat, diperlukan metoda numerik yang lebih teliti sehingga dapat diperoleh hasil yang memuaskan.

#### KESIMPULAN

Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa fasilitas SPB3 masih aman dioperasikan dengan pendinginan konveksi alam untuk menyimpan bahan bakar sampai 10 tahun.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Frank Kreith, Arko Prijono " Prinsip-prinsip Perpindahan Panas" Penerbit Erlangga 1986.
2. Preliminary Design of Interim Storage for Spent fuel (ISFSF) United Kingdom, 1992.
3. Holman " Heat Transfer " Mc Graw-Hill International Book Company, 1981.
4. Perry " Hand Book of Chemical Engineering " McGraw-Hill International Book Company, 1984.
5. Kadarusmanto dkk, " Pemanfaatan Paket Program ORIGEN2 " Proceeding Seminar Pendayagunaan Reaktor Nuklir Untuk Kesejahteraan Masyarakat, Bandung 1990.
6. Allen G. Groff, " A User's Manual for The ORIGEN2 Computer Code, ORNL/TM-7175, July 1980.

#### DISKUSI

Pertanyaan : **Suryawati**

Disebutkan bahwa suhu permukaan bahan bakar bekas 80,24 °C. penguapan air kolam relatif rendah yaitu 14, 37 l / hari. Hal ini dapat diimbangi dengan pengaliran air tambahan. Yang ingin kami peroleh informasi apakah ada batasan limit untuk T bahan bakar dan besar penguapan air kolamnya? Serta bila diimbangi dengan pengaliran air tambahan tentunya dengan kondisi ini memerlukan debit air tambahan tertentu dan temperatur tertentu , apakah hal ini masuk dalam tinjauan (perhitungan) ?

Jawaban:

Batasan untuk T bahan bakar dan kecepatan penguapan air selama suhu air kolam itu tidak mempengaruhi keutuhan kelongsong bahan bakar dan juga bahwa air pendingin tidak terjadi perubahan fasa maka kondisi tersebut masih belum membahayakan

Pertanyaan : **Sri Widayati**

Dalam makalah ini sepertinya hanya ditinjau efek panas yang ditimbulkan pada SPB3, bagaimana jika selama penyimpanan 10 tahun atau lebih terjadi korosi pada bahan bakar bekas sehingga terjadi pelepasan zat radioaktif ?

Jawaban :

Memang dalam pengkajian ini saya hanyamemfokuskan pada efek panas , sedangkan efek korosi tidak saya kupas

- 3 Pertanyaan : **Utaja**

Jawaban :

- a. Saya asumsikan bahwa kondisi ini adalah steady state sehingga panas yang dibangkitkan tetap (tak berubah dengan waktu)
- b. Kecepatan penguapan :  
$$\frac{NA}{A} = \frac{-Dv P (PA_1 - PA_2)}{RT PBM (Y_2 - Y_1)}$$

4. Pertanyaan : Heryudo K.

- a. Mengapa asumsi bahan bakar bekas (bbb) yang ditampung dalam sistem penyimpanan bbb adalah 640 buah dan bukannya kapasitas maksimumnya (N1400 buah) ? Apakah untuk 1400 bbb ini pendinginan konveksi alam masih memadai ?
- b. Berapa batasan suhu pendingin dan bahan bakar yang masih dianggap aman dalam sistem penyimpanan bb tersebut ? Pada kapasitas bbb berapa batasan suhu ini tercapai bila digunakan pendinginan dengan konveksi alam ?

Jawaban :

- a. Angka 640 buah adalah jumlah bbb selama 10 tahun. Asumsi ini diambil berdasar bahwa setelah 10 tahun panas peluruhan yang dibangkitkan sangat kecil dan dapat diabaikan.
- b. Selama air pendingin itu tidak terjadi perubahan fasa dan kelongsong masih dapat bertahan maka kondisi tersebut masih dianggap aman. Pada kapasitas penuh batasan tersebut masih akan memenuhi

Pertanyaan : Henky

- a. Suhu bahan bakar  $\pm 80^\circ\text{C}$  itu diketahui dari mana, apa diukur, kalau diukur menggunakan apa?
- b. Dari panas radiasi dan konveksi mana yang lebih dominan dan berapa % kira-kira dominannya?

Jawaban :

- a. Suhu bahan bakar  $80^\circ\text{C}$  dihitung pada kondisi air kolam  $35,8^\circ\text{C}$ .  
$$d\xi / dt = h \cdot A (t_s - t_{\text{bulk}})$$
  
$$h \rightarrow hc = 0,555 \text{ k} (\text{Gr} \cdot \text{Pr})^{1/4}$$
  
$$d\xi / dt = \text{panas terbangkit} \rightarrow t_s \text{ dapat dihitung}$$
- b. Karena perbedaan suhu kolam dan suhu udara kecil sehingga efek tersebut tidak dihitung.

6. Pertanyaan : Tantawi

$$\text{Rumus } dQ/dt = Q_1 - Q_2 - Q_3$$

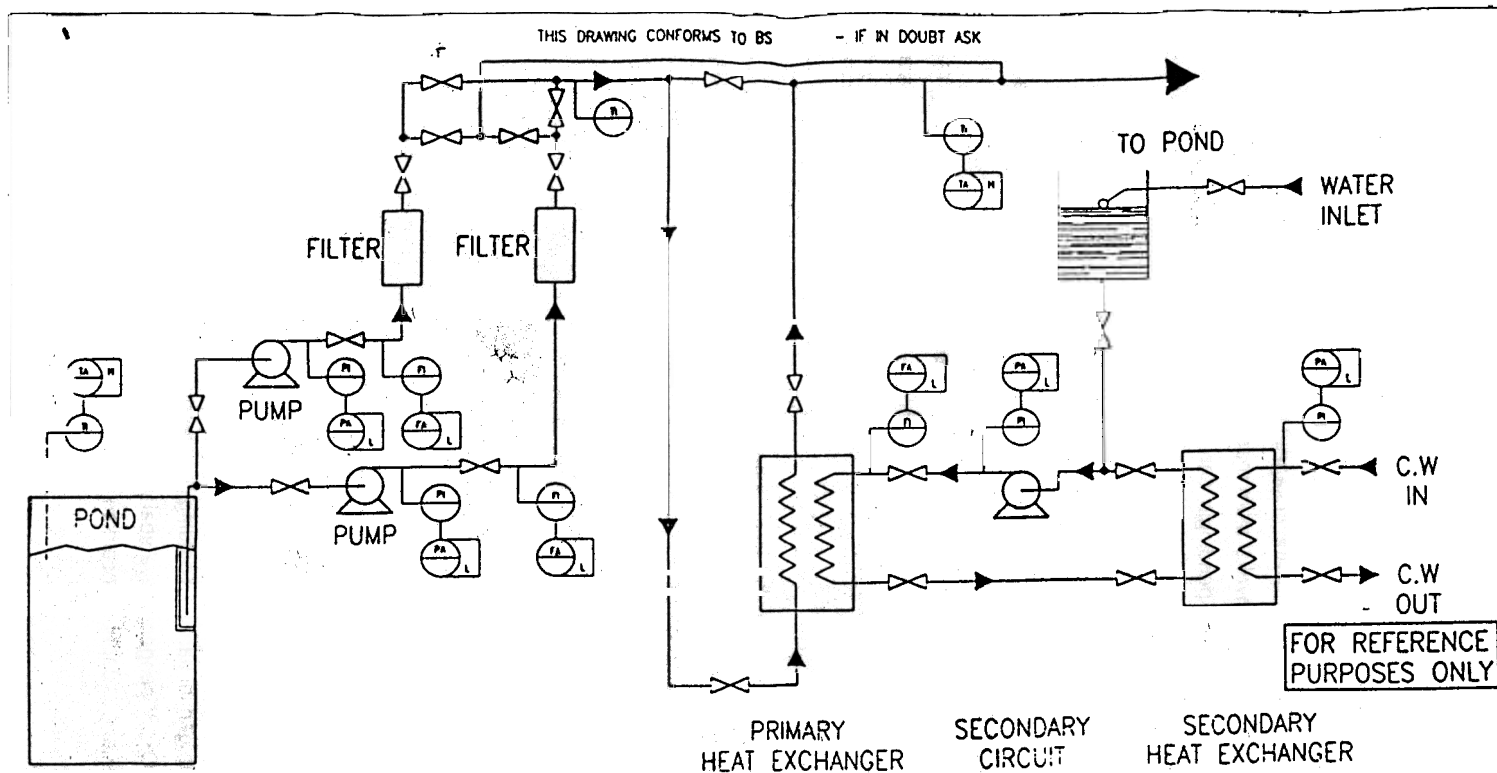
dana  $dQ = (Q_1 - Q_2) dt$ , pengertiannya bagaimana ?

Jawaban :

Pada perhitungan ini panas ke dinding  $Q_3$  dianggap 0  $\rightarrow dQ/dt = Q_1 - Q_2$

$\Delta Q = ((Q_1 - Q_2) \cdot \Delta t)$  pengertiannya adalah dalam selang waktu tertentu ( $\Delta t$ ) maka perbedaan panas masuk & keluar ( $\Delta t$ ) dapat mencairkan suhu air kolam ( $\Delta t$ )

Lampiran 1



ISSUE		DATE		ISSUE		DATE		BUILDING No		BATAN		DES OFFICE		AEA ENGINEERING (C/M)		HARWELL		THIS DRAWING IS THE PROPERTY OF THE UNITED KINGDOM ATOMIC ENERGY AUTHORITY AND IS LOANED TO YOU FOR USE IN CONNECTION WITH THE WORKS OF THE CONTRACTOR. IT IS NOT TO BE REPRODUCED OR TRANSMITTED IN ANY FORM OR BY ANY MEANS WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF THE CONTRACTOR. THE CONTRACTOR ACCEPTS NO LIABILITY FOR ANY DAMAGE TO THE DRAWING OR TO THE EQUIPMENT TO BE PROVIDED.			
								PLANT No		37331/025		DRAWN BY		GJ BUCKLEY		AEA TECHNOLOGY				TITLE	
								JOB/FILE No		37331/025		CHECKED BY		H GRIFFITHS						TRANSFER CHANNEL & I.S.F.S.F. FOR BATAN	
								SITE/DW		BATAN		APPROVED BY		C VILNOT						FLOW DIAGRAM - POND WATER COOLING	
								SECURITY CLASS -												CURRENT ISSUE	
								USED ON / REF DRAWING						ORIGINAL SCALE		1:1				DRG No	
								CONTRACTOR & REF.												3H /M/ISFSF/52	
MOD BY		CHECKED BY		APPROVED BY		MOD BY		CHECKED BY		APPROVED BY										A	





Lampiran 3

OUTPUT UNIT

PAGE 22

\* IRRADIASI dan PELURUNAN 250 gram U-235 di teras RSG-GAS  
 POWER= 6.56000E-01 MW, BURNUP= 1.14800E+02 MWD, FLUX=7.21E+13 N/CM\*\*2-SEC

FISSION PRODUCTS

9 SUMMARY TABLE: THERMAL POWER, WATTS  
 FUEL ELEMENT PENGKAYAAN 19,75% DENGAN KANDUNGAN U-235 250 GR

	175.DD	100.DD	1.OYR	2.OYR	3.OYR	4.OYR	5.OYR	6.OYR	7.OYR	8.OYR	9.7YR	10.
GE	3.218E+01	6.100E+00	6.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
AS	1.482E+32	1.135E-20	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
SE	3.179E+72	3.343E-07	3.343E-07	3.343E-07	3.343E-07	3.343E-07	3.343E-07	3.343E-07	3.343E-07	3.343E-07	3.343E-07	3.343E-07
RR	9.749E+72	2.153E-22	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
KR	1.266E+73	6.255E-02	5.968E-02	5.595E-02	5.244E-02	4.916E-02	4.619E-02	4.321E-02	4.049E-02	3.796E-02	3.491E-02	3.335
RB	2.356E+73	2.890E-04	1.526E-04	7.291E-11	7.939E-11	7.359E-11	7.869E-11	7.969E-11	7.539E-11	7.869E-11	7.899E-11	7.889
SR	1.318E+73	1.764E+01	3.344E-01	3.759E-01	3.641E-01	3.556E-01	3.472E-01	3.390E-01	3.311E-01	3.233E-01	3.154E-01	3.082
Y	2.634E+73	2.779E+01	2.944E+00	1.796E+00	1.739E+00	1.699E+00	1.658E+00	1.619E+00	1.581E+00	1.544E+00	1.483E+00	1.472
ZP	1.141E+03	4.324E+01	2.443E+00	4.671E-02	8.947E-04	1.792E-05	1.170E-10	8.494E-17	5.433E-07	8.432E-07	8.432E-07	8.432
Y9	2.101E+03	6.919E+01	5.022E+00	1.0716E-01	1.949E-03	1.749E-05	1.001E-10	3.437E-17	3.794E-07	4.211E-07	4.876E-07	4.987
YO	5.009E+02	7.755E-10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
TC	5.910E+02	2.418E-05	2.418E-05	2.418E-05	2.418E-05	2.418E-05	2.418E-05	2.418E-05	2.418E-05	2.418E-05	2.418E-05	2.418
QU	5.539E+01	7.654E+00	9.865E-02	9.120E-13	4.529E-03	2.277E-03	1.145E-03	2.755E-04	2.893E-04	1.455E-04	4.519E-05	3.677
RH	5.092E+11	5.135E+00	2.894E+00	1.453E+00	7.305E-01	3.673E-01	1.846E-01	9.283E-02	4.667E-02	2.346E-02	7.290E-03	3.931
IN	3.846E+71	2.376E-07	4.596E-09	2.275E-11	1.272E-12	7.102E-16	4.849E-17	4.471E-17	4.469E-17	4.469E-17	4.469E-17	4.469
SN	1.699E+02	2.452E-02	5.875E-03	3.417E-04	1.245E-04	2.055E-05	4.870E-06	2.236E-06	1.786E-06	1.665E-06	1.614E-06	1.611
SB	7.574E+02	5.284E-02	4.217E-02	3.353E-02	2.611E-02	2.033E-02	1.583E-02	1.233E-02	9.635E-03	7.482E-03	4.895E-03	4.542
TE	9.749E+32	2.717E-01	1.496E-02	3.305E-03	1.825E-05	1.343E-13	1.139E-13	5.816E-04	6.291E-04	4.898E-04	3.204E-04	2.970
I	2.107E+73	5.325E-03	3.323E-08	3.323E-08	3.323E-08	3.323E-08	3.323E-08	3.323E-08	3.323E-08	3.323E-08	3.323E-08	3.323
KE	1.111E+03	1.119E-03	1.933E-10	1.109E-19	5.369E-29	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
CS	1.993E+73	1.156E+00	9.795E-01	7.989E-01	6.676E-01	5.716E-01	5.019E-01	4.462E-01	4.055E-01	3.781E-01	3.478E-01	3.356
BA	1.191E+73	1.502E+00	1.267E+00	1.239E+00	1.219E+00	1.192E+00	1.155E+00	1.126E+00	1.093E+00	1.077E+00	1.036E+00	1.029
LA	2.069E+73	1.091E+00	1.091E+00	8.016E-15	5.235E-15	5.205E-15	5.205E-15	5.205E-15	5.205E-15	5.205E-15	5.205E-15	5.205
CE	4.644E+72	9.182E+00	2.674E+00	1.363E+00	4.361E-01	1.799E-01	1.734E-02	3.15E-02	1.237E-02	5.077E-03	1.117E-03	8.551
PR	5.071E+02	5.578E+01	2.971E+01	1.178E+01	4.936E+00	1.955E+00	8.145E+00	3.340E+01	1.372E+01	5.629E+02	1.239E+02	9.421
MD	5.506E+01	3.671E-12	2.215E-09	2.536E-19	2.974E-29	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	0.000E+00
PM	4.346E+01	6.465E-01	3.488E-01	2.658E-01	2.047E-01	1.567E-01	1.207E-01	9.234E-02	7.092E-02	5.445E-02	3.475E-02	3.210
EU	4.100E+00	8.974E-02	4.740E-02	4.357E-02	4.017E-02	3.685E-02	3.399E-02	3.117E-02	2.869E-02	2.641E-02	2.493E-02	2.237
2.575E+04	2.679E+02	4.921E+01	1.907E+01	1.132E+01	6.675E+00	4.952E+00	4.952E+00	4.177E+00	1.771E+00	3.535E+00	3.259E+00	3.254
TOTAL	2.578E+04	2.409E+02	4.831E+01	1.907E+01	1.132E+01	6.675E+00	4.952E+00	4.177E+00	1.771E+00	3.535E+00	3.259E+00	3.254
CUMULATIVE TABLE TOTALS												
AP+FP	2.565E+14	4.251E+02	1.515E+02	6.454E+01	3.784E+01	1.560E+01	8.954E+00	5.997E+00	4.562E+00	3.887E+00	3.377E+00	3.324
ACT+FP	2.564E+14	2.470E+02	4.932E+01	1.909E+01	1.132E+01	6.413E+00	4.961E+00	4.131E+00	1.773E+00	3.543E+00	3.296E+00	3.252
AP+ACT+FP	2.672E+14	4.250E+02	1.506E+02	6.455E+01	3.755E+01	1.561E+01	8.962E+00	5.961E+00	4.579E+00	3.895E+00	3.385E+00	3.332

Lampiran 4

```

1          DIM DTB(3000)
10         CALCULATION OF TBULK =====
15         ENERGY BALANCE (CONSERVATION PRICIPLE) =====
20         M=999231! : Q1=31480 : LAMDA=1052 : NA=.046*18 : TAWAL=25 : T=TAWAL
25         AS=14 * 5 * 3.3
30         FOR TIME= 1 TO 1500 STEP 24
40             T=TB : GOSUB 350
43         NA =(.99 * (P/14.7) / (6.5*3.3))* AS
45         NA=AS*(.99*1*14.7/((.73/18*(P)*6.5/.304))) : PRINT"P =" :P
46         DQ=Q1-NA*18*(LAMDA+CL*(T-24)) : PRINT"DQ=" :DQ :DQ=Q1-NA*DTB(TIME)
47         DTB(TIME+1)= DQ*TIME / (M*CL) : DELTA=DTB(TIME+1)-DTB(TIME)
50         TB= DTB(TIME+1) + (TAWAL*1.8+32) : PRINT " DQ=" :DQ
55         TBULK= INT((TB-32)*5/9*100)/100
60         LPRINT " Time=" :INT(TIME/24*10)/10:"Days-- TBULK=" :TBULK:" C - DTB=" :DTB(TIM
E+1)
70         PRINT " DELTA=" :DELTA : IF DELTA<.00001 GOTO 79
71         NEXT TIME
79
80         CALCULATION OF FUEL SURFACE TEMPERATURE
90         ===== INPUT :
100        A=.81*64*4 : Q=31480.133# : L=1.97 : A:Ft2. Q:Btu/hr. L:FT
110        TAWAL= 25 : Initial (bulk) Temp.of coolant
120        ===== ASSUME DT =====
130        DT= 10
140        ITR=1 : TBULK = 35.87
150        ===== CALC. T MEAN =====
160        TS= TBULK +DT : TMEAN=(TS+TBULK)/2
170        T= TBULK : GOSUB 350
180        BETA= 1/TBULK : PR= CL*ML*2.42/KL
190        PRINT " T MEAN. CP. MYU. K. RHO. BETA. PR"
200        PRINT " (F) (btu/LB.J) (cP) (BTU/JFTF) (LB/FT3)(1/F) (-)"
210        GR=RL^2 * 32.1 * BETA * DT * L^3 / (ML*.00067)^2
220        H =.555 * KL/L * (GR*PR)^(1/4) : PRINT " H=" :H
230        NEWDT= Q/(A*H)
240        BAND = ABS(2*(NEWDT-DT)/(NEWDT+DT))
250        IF BAND< .00005 GOTO 280
260        ITR=ITR+1 : PRINT" ITERASI=" :ITR
270        DT = NEWDT : GOTO 160
280        PRINT : PRINT "-----"
285        NEWDT = (NEWDT-32)*5/9 : PRINT " NEWDT=" :NEWDT
290        TSC=(TS) : BULK=TSC- ((NEWDT-32)*5/9)
295        TSC= TBULK + NEWDT
300        PRINT " TSURF=" : INT(TSC*100)/100:"(C) TBULK=" :TBULK:"(C)"
310        PRINT " LATENT HEAT=" : LM : "BTU/LB" : END
320        PRINT "-----"
330        PRINT " BANDING=" :BAND:" <--- TRIAL OKEY ---> ITR=" :ITR : "times
340
350        SUBPROGRAM WATER (T.CL.KL.RL.ML)
360        WATER PROPERTIES AT SAT..JW PALEN HTRI-1987"
370        modified (T C as input ) by...sukmdibyo.juli.93"
380        INPUT " Temp.nva (C) apa (F)":"TEMP
390
400        T = ((T+32)*1.8)+460
410        T = T+460
420        A = 14.47: B=-6998.6: C=-78
430        P = EXP (B/(T+C) + A)
440        T = (B / (LOG(P)-A)) - C
450        PRINT "T=" : T-460:"F=" : T/1.8-273:"C"
460        T IN R
470        PC = 3208: TC = 1165.2

```

Lampiran 5

DELTA= 7.146836E-03  
Time= 62.2 DAYs-- TBULK= 35.85 C - DTB= 19.53628  
DELTA= 7.135391E-03  
Time= 62.2 DAYs-- TBULK= 35.85 C - DTB= 19.54351  
DELTA= 7.232666E-03  
Time= 62.3 DAYs-- TBULK= 35.86 C - DTB= 19.55058  
DELTA= 7.070542E-03  
Time= 62.3 DAYs-- TBULK= 35.86 C - DTB= 19.55782  
DELTA= 7.232666E-03  
Time= 62.4 DAYs-- TBULK= 35.86 C - DTB= 19.56492  
DELTA= 7.104874E-03  
Time= 62.4 DAYs-- TBULK= 35.87 C - DTB= 19.57206  
DELTA= 7.143021E-03  
Time= 62.5 DAYs-- TBULK= 35.87 C - DTB= 19.5792  
DELTA= 7.131577E-03

-----  
NEWDT= 44.3708  
TSURF= 80.24 (C).TBULK= 35.87 (C)  
-----

BANDING= 4.617268E-05 <---TRIAL OKEY ---> ITR= 9 times  
RETURN without GOSUB in 820  
Ok

1LIST 2RUN 3LOAD 4SAVE 5CONT 6.LPT1 7TRON 8TROFF9KEY 0SCREEN

```
500 RHOV=RV
510 MW = 18.02
520 RV = MW*P/ZS/10.73/T
530 RHOL=RL
540 A =57: B =.03337: C =-.00004: D =-838.2
550 RL = A + B*T + C*T ^ 2 + D/(TC + 62 - T)
560 VAP COND=KV
570 A=.00119: B=.000012: C=1E-08: D=0
580 KV=A+ B*T + C*T^2 + D*T^3
590 LIQ COND=KL
600 A=.143: B=0: C=.75: D=1.05
610 TR=T/TC
620 KL=A+B*T+A*((20/3)*(1-D*(1-TR)^C)*(1-TR)^(2/3))
630 VAP VIS=MV
640 A=-.003056: B=.0000226: C=0: D=0
650 MV=A + B*T + C*T^1.5 / (1+D*T)
660 LIQ VIS=ML
670 A=-2.9868: B=-389!: C=1037700!: D=0
680 ML= EXP(A + B/T + C/T^2 + D/T^3)
690 VAP HT CAP=CV
700 A=.138281: B=6.38377E-04: C=-9.6815E-08: D=0
710 CV= A + B*T + C*T^2 + D*T^3
720 LIQ HT CAP=CL
730 A=1.207: B=-.00087: C=5.65E-07: D=.0528
740 CL= A+B*T +C*T^2 +D/(1-TR)
750 LATENT HT=LM
760 LM=A*(TC-T)^B
770 SURE TENS=SG
780 SG = A*(1-TR)^B + C*(1-TR)^2 + D*(1-TR)^3
790 TB = T-460
800
805
810 IF BAND< .0001 AND ITR>2 THEN END
820 RETURN
825 IF BAND< .0001 GOTO 300
830 END
840 IF BAND< .0001 GOTO 300
```