

## MODEL DISTRIBUSI TEMPERATUR SEPANJANG PELAT ELEMEN BAKAR $U_3O_8$ -Al PADA PENGURANGAN TEBAL DAN WAKTU

Ghaib Widodo <sup>(1)</sup>, Siti Wardiyati <sup>(2)</sup>

1. Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBN), BATAN

2. Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN), BATAN

Kawasan PUSPIPTEK, Serpong, Tangerang Selatan, 15314

E-mail : ghaibwidodo@yahoo.com

(Naskah diterima : 15-12-2010, diproses : 03-01-2011)

### ABSTRAK

**MODEL DISTRIBUSI TEMPERATUR SEPANJANG PELAT ELEMEN BAKAR (PEB)  $U_3O_8$  - Al PADA PENGURANGAN TEBAL DAN WAKTU.** Perhitungan temperatur terhadap pelat elemen bakar (PEB)  $U_3O_8$ -Al pada setiap perubahan posisi dan waktu sampai proses perolan panas telah dilakukan dengan menggunakan model matematika hukum *fourier*. Selama proses perlakuan perolan panas berlangsung panas pada pelat tersebut akan ditransfer keseluruhan pelat yang diawali berturut-turut dari ketebalan pelat 8,3 mm ke 7,0 mm ke 5,6 mm ke 2,6 mm dan diakhiri 1,65 mm. Diharapkan dengan adanya rekayasa perhitungan transfer panas menggunakan model matematika dan tetap dalam koridor/kaidah *chemical engineering tools*, memungkinkan secara dini temperatur pada setiap posisi pelat proses perolan panas kelak dapat diketahui. Apakah temperatur pelat tersebut dapat terdistribusi secara merata atau tidak sehingga dapat membantu kelakuan serbuk  $U_3O_8$  dalam PEB. Data yang dipakai temperatur awal proses perolan pelat 40°C, temperatur pemanasan pelat dalam ungku 415°C selama  $\pm$  30 menit. Hasil perhitungan distribusi temperatur pada parameter pengurangan ketebalan dan waktu untuk PEB  $U_3O_8$  - Al hampir merata sepanjang pelat. Temperatur pada tiap pengurangan ketebalan dan waktu selisih angka hampir sama.

**Kata Kunci** : Distribusi, PEB  $U_3O_8$  - Al, temperatur, waktu, tebal

### ABSTRACT

**MODEL OF TEMPERATURE DISTRIBUTION ALONG FUEL ELEMENT PLATE (FEP)  $U_3O_8$ -Al AT DECREASING THICKNESS AND INCREASING TIME.** A calculation on temperature of fuel element plate (FEP)  $U_3O_8$  - Al at every change of position and time until the completion of hot rolling process by using Fourier law mathematical model has been done. During hot rolling process, heat will be transferred throughout the plate beginning respectively from the plate thickness of 8.3 mm to 7.0 mm to 5.6 mm to 2.6 mm and ending at 1.65 mm. It is expected that the engineered calculation by using heat transfer mathematical model, yet complying with the rules of chemical engineering tools, the temperature at any position during hot rolling process may be predicted in advance. Whether or not the predicted temperature is distributed homogenously may be a help in studying the behavior of  $U_3O_8$  powder in the FEP. The calculation used initial given temperature of 40°C and the furnace temperature was considered steady at 415°C for  $\pm$  30 minutes. The result shows that the

*temperature distribution is practically homogenous along the plate length with decreasing thickness. The temperature at decreasing thickness and increasing time intervals indicates similar difference value.*

**Key Word** : Distribution, FEP  $U_3O_8 - Al$ , temperature, time, thickness

## PENDAHULUAN

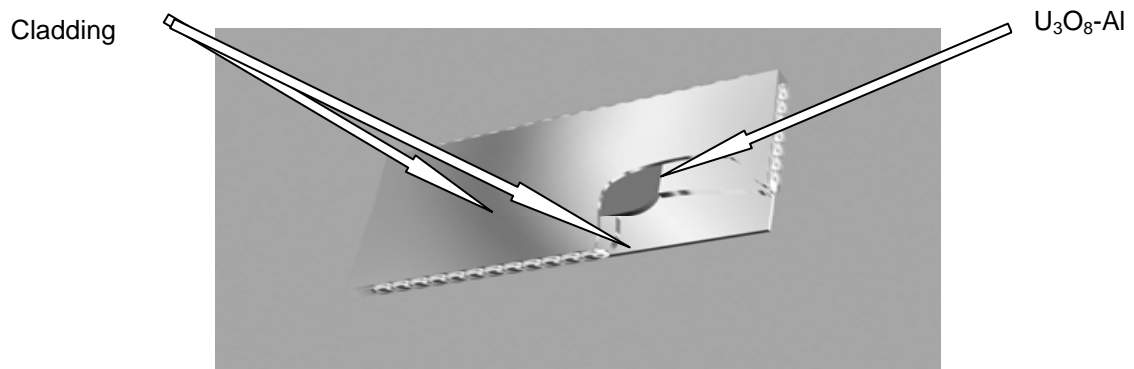
Langkah awal proses produksi bahan bakar yaitu proses kimia, kemudian dilanjutkan proses fabrikasi. Untuk memenuhi spesifikasi sebagai bahan bakar, maka bahan bakar tersebut dilakukan beberapa pengujian baik bahan dasar, produk tengah, maupun produk elemen bakar.

Proses fabrikasi produksi pelat elemen bakar (PEB) yang berasal dari proses produksi komposit inti elemen bakar (IEB) meliputi 5 tahapan kegiatan yaitu<sup>[1-3]</sup> : (1) perolan PEB, (2) pelurusan PEB, (3) pemotongan dimensi, (4) Pemolesan, (5) pencucian kimia/*pickling*.

Dalam makalah ini hanya akan

ditinjau proses fabrikasinya saja, khususnya proses perolan komposit inti elemen bakar (IEB) hingga diperoleh lembaran pelat elemen bakar (PEB). Proses fabrikasi tersebut

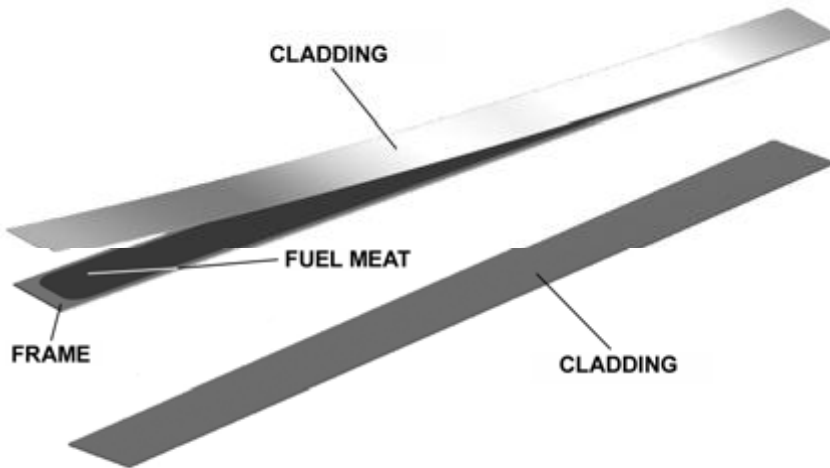
dapat dijelaskan sebagai berikut<sup>[1-3]</sup> : setelah komposit dilas, segenap komposit dimasukkan ke dalam tungku sirkulasi udara dengan temperatur pemanasan sekitar  $415^{\circ}C$  selama  $\pm 30$  menit, cukup membuat komposit mencapai temperatur platisnya. Bersamaan dengan pemanasan komposit, mesin rol juga di-*on*-kan dan permukaan rol dipanaskan pada temperatur  $\pm 40^{\circ}C$ . Laju putar rol diatur sekitar 20 putaran per menit. Komposit dirol panas dalam 4 – 6 tahapan menjadi PEB. Gambar 1 adalah komposit IEB sebelum dilakukan perolan panas.



Gambar 1 : Foto komposit IEB sebelum dikenai perolan panas

Sebagai contoh 4 tahapan rol adalah sebagai berikut : diawali tebal 8,3 mm ke 7,0 mm ke 5,6 mm ke 2,6 mm diakhiri 1,65 mm. Keberhasilan setiap langkah rol selalu dicek dengan menggunakan kaliper pengukur tebal capaian. Pelat elemen bakar hasil rol seluruhnya dikenai uji *blister* (secara visual) untuk mengetahui keberadaan rongga dalam pelat hasil rol yang disebabkan oleh adanya

udara terjebak. Pelat yang lolos uji *blister* kemudian dikenai cek posisi *meat* nya dengan menggunakan tayangan sinar – X. Perbaikan posisi sekaligus digunakan untuk menyusutkan tebal pelat lebih jauh hingga makin mendekati tebal akhir. Sebagai gambaran setelah komposit IEB dilakukan perolan panas hingga diperoleh lembaran PEB.



Gambar 2 : Foto lembaran pelat elemen bakar (PEB)

Model matematika distribusi temperatur pada pelat ini bertujuan untuk mengetahui distribusi temperatur setiap titik ketebalan IEB hingga sepanjang pelat elemen bakar selama proses perolan panas yang dimulai dari ketebalan awal/tertentu hingga menyusut ketebalannya hingga diperoleh pelat elemen yang memenuhi syarat sebagai bahan bakar.

### TEORI PERHITUNGAN

Dalam proses produksi PEB secara sekilas telah dijelaskan pada pendahuluan, agar proses perolan panas dapat berlangsung lebih baik dan efisien, maka perlu diketahui hubungan antara waktu perolan panas dengan temperatur PEB pada ketebalan tertentu. Pelat elemen bakar dapat dianalogikan sebagai pelat datar (bentuk slab) dan akan dicari distribusi temperatur di dalam pelat sebagai fungsi pengurangan tebal dan waktu.

Untuk perpindahan panas secara konduksi, pendekatan yang sering dipakai adalah hukum Fourier :

$$q = -k \cdot A \cdot dT/dx \quad (1)$$

keterangan :

q : jumlah panas yang ditransfer tiap satuan waktu, kal g<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>

k : konduktivitas panas, W m<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>

A : luas bidang transfer, m<sup>2</sup>

T : Temperatur, °K

X : Tebal, cm

Untuk memanaskan m g massa dengan kenaikan temperatur sebesar  $\Delta T$ , diperlukan panas tiap satuan waktu sebesar :

$$q = m \cdot c \cdot \Delta T / \Delta t \quad (2)$$

Keterangan :

q : jumlah panas yang ditransfer tiap satuan waktu, kal g<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>

m : massa zat yang dipanaskan, g

c : kapasitas panas, kJ kg<sup>-2</sup>

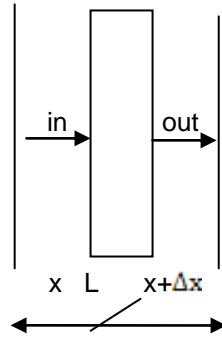
T : Temperatur, °K

t : waktu, menit

Persamaan matematis untuk transfer panas, disusun berdasarkan neraca panas pada elemen volum PEB sebagai berikut :

Panas yang masuk – panas yang keluar = panas yang terakumulasi

Apabila diketahui ketebalan pelat adalah L, yang terletak antara x = 0 dan x = L, temperatur awal T<sub>1</sub>. Suatu saat temperatur kedua permukaan diubah menjadi T<sub>0</sub>. Sifat-sifat bahan dianggap konstan terhadap temperatur, maka neraca panas pada elemen volume setebal  $\Delta x$  dan seluas A, seperti dilukiskan pada Gambar 3<sup>[5]</sup> :



Gambar 3 Potongan Pelat Elemen Bakar

$$\frac{\frac{\partial T(x+\Delta x, t)}{\partial x} - \frac{\partial T(x, t)}{\partial x}}{\Delta x} = \left( \frac{\rho \cdot c}{k} \right) \frac{\partial T(x, t)}{\partial t} \quad (3)$$

Jika  $\Delta x$  mendekati 0, maka diperoleh :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right) = \left( \frac{\rho \cdot c}{k} \right) \frac{dT}{dt} \quad (4)$$

$$\frac{dT^2}{dx^2} = \left( \frac{\rho \cdot c}{k} \right) \frac{dT}{dt} \quad (5)$$

$$\left\{ -k \cdot A \cdot \frac{\partial T(x, t)}{\partial x} \right\} - \left\{ -k \cdot A \cdot \frac{\partial T(x + \Delta x, t)}{\partial x} \right\} = m \cdot c \cdot \frac{\partial T(x, t)}{\partial t}$$

Dengan  $m = \rho \cdot A \cdot \Delta x$ , kemudian dibagi dengan  $k \cdot A \cdot \Delta x$ , maka diperoleh persamaan sebagai berikut :

*Initial condition :*

$$T(x, 0) = T_0$$

*Boundary conditions :*

$$T(x, \infty) = T_1, T(0, t) = T_1,$$

dan  $T(L, t) = T_1$

Persamaan diferensial (PD) di atas dapat diselesaikan secara analitik maupun numerik [6-9].

$$T = T_1 + \frac{2}{\pi} (T_0 - T_1) \sum_{n=1}^{\infty} \left( 1 - (-1)^n \frac{1}{n e^{(-\alpha \cdot \frac{n^2 \pi^2}{L^2 t})}} \frac{1}{\sin \frac{n\pi x}{L}} \right) \quad (6)$$

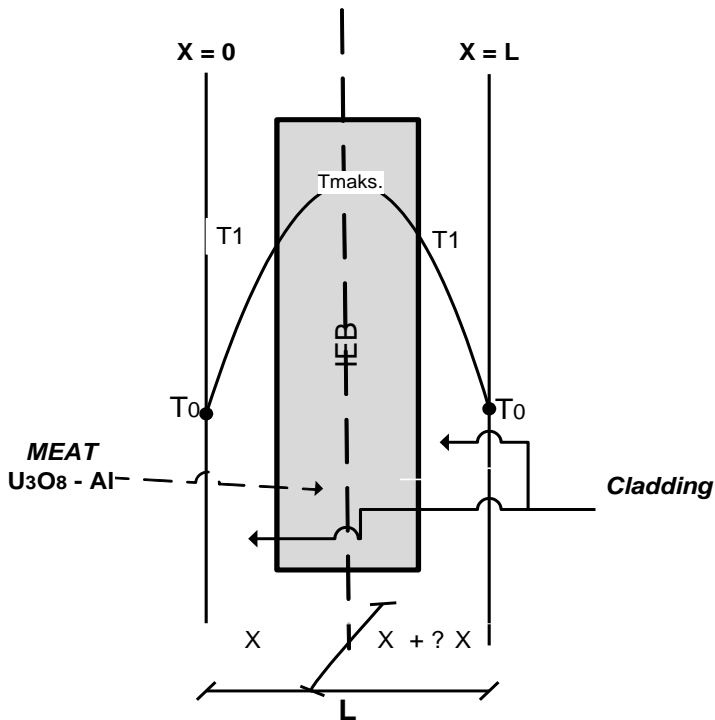
$$T(x, t) = T_1 + \frac{2}{\pi} (T_0 - T_1) \sum_{n=1}^{\infty} \left( 1 - (-1)^n \frac{1}{n e^{(-\alpha \cdot \frac{n^2 \pi^2}{L^2 t})}} \frac{1}{\sin \frac{n\pi x}{L}} \right) \quad (7)$$

## TATA KERJA

Perhitungan distribusi sepanjang PEB dilakukan menggunakan formula (7) dan memasukan data fisik  $U_3O_8 - Al$  dapat diselesaikan menggunakan program numerik (program fortran/Basic). Temperatur pelat bahan bakar dihitung dengan beberapa asumsi bahwa (1) panas

yang hilang (penurunan temperatur) selama pemindahan komposit IEB dari tungku ke mesin rol dianggap nol karena terlalu cepat, (2) panas yang hilang (penurunan temperatur) selama perolan pada silinder rol dianggap nol karena silinder rol dilumasi dengan minyak pelumas, (3) panas yang timbul dalam *meat* bahan bakar adalah konstan sepanjang arah radial dan mempertimbangkan satu dimensi

konduksi panas yang sama. Gambar 4 menunjukkan model perhitungan pelat bahan bakar distribusi temperatur.



Gambar 4, Potongan komposit IEB yang ditinjau dalam percobaan

Data percobaan desain yang dimasukkan dalam perhitungan ini dimulai dari tebal IEB (komposit) : 8,25 mm; 6,60 mm; 4,95 mm; 3,30; dan diakhiri ke tebal 1,65 sesuai tebal PEB yang memenuhi spesifikasi sebagai bahan bakar, sementara data pada praktek lapangan/fabrikasi FEPI/Fuel Element Production Installation (PT. Batan Teknologi) tebal awal 8,30 mm; 7,0 mm; 5,60 mm; 2,60 mm, tebal akhir yang diperoleh sama 1,65 mm. (Tabel 1 dan Tabel 2/Lampiran).

Untuk melihat kelakuan distribusi temperatur sepanjang PEB  $U_3O_8 - Al$  pada perubahan posisi perolan dan waktu dilakukan

hingga 10 (sepuluh) titik interval percobaan ajeg (pengurangan tebal) yaitu 0,165 dengan ini berharap hasil lebih lengkap dan baik dengan beberapa asumsi seperti dijelaskan pada tata kerja sehingga distribusi temperatur sepanjang PEB  $U_3O_8 - Al$  pada pengurangan tebal dan waktu perhitungannya menjadi lebih sederhana.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Data fisik  $U_3O_8$  :

Densitas ( $\rho$ ) ---- (RHO) = 8,4 gr/cc

Konduktivitas ( $A_k$ ) = 28,427 W/m K  
= 679,089 kal /cm K det

Kapasitas panas (AC) = 1048 kJ/kg K (53 % berat U)

(298 – 900°K) = 282,4 + 3,694 x 10<sup>-2</sup>

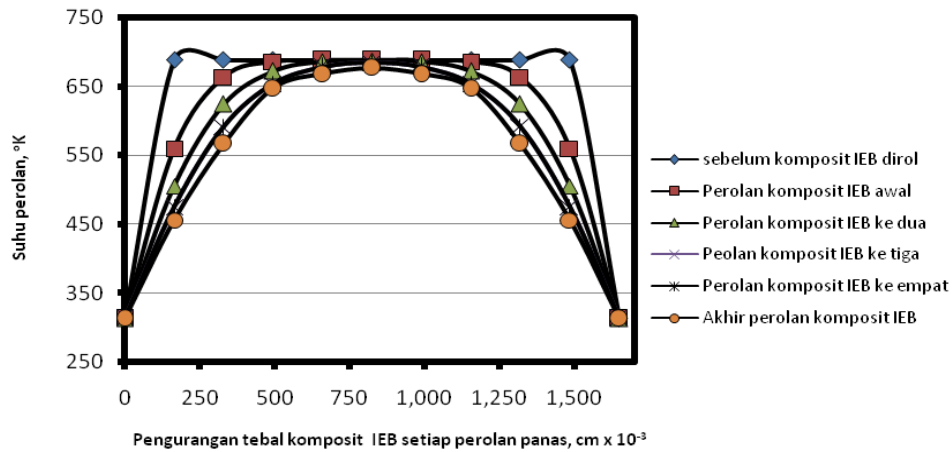
$T - 1,657 \times 10^{-2} T^2$

Tebal PEB  $U_3O_8 - Al$  (AL) = 1,65 mm = 0,165 cm

Temperatur awal ( $T_0$ ) = 415°C = 688°K

Temperatur akhir ( $T_1$ ) = 40°C = 313°K

Dengan catatan dalam perhitungan tersebut diambil jumlah interval panjang PEB  $U_3O_8 - Al$  (N) = 10 dan jumlah interval waktu (SUMDT) = 5 dengan interval (DT) selama 30 menit = 180 detik. Hasil perhitungan menggunakan rumus/persamaan (7) dengan temperatur perolan (NMAX) = 5 ditujukan dalam *print out* berikut. Pada Gambar 2 ditampilkan hubungan antara pengurang tebal pada perolan komposit IEB terhadap temperatur proses perolan panas.

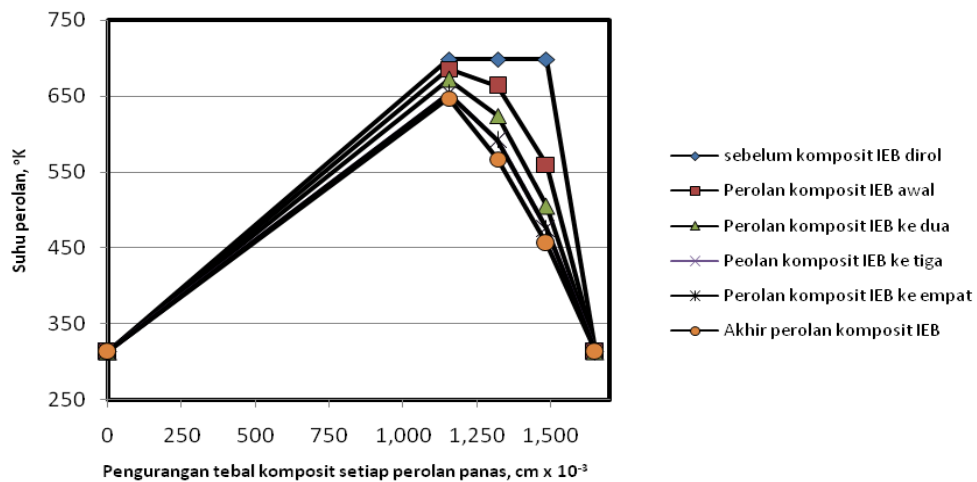


Gambar 5 : Hubungan antara pengurangan tebal komposit IEB setiap perolan panas terhadap distribusi temperatur pada setiap waktu dari 0 detik sampai dengan 180 detik

Dalam Gambar 5 dan Tabel 1 (Lampiran) dapat dijelaskan bahwa secara praktis pada saat awal temperatur 313°K (40°C) komposit IEB dipanaskan hingga temperatur 688°K (415°C) yang dikeluarkan dari tungku pemanas (*furnace*), kemudian dilakukan pengukuran temperatur dan praktis masih merata sepanjang fisik komposit IEB (PEB  $U_3O_8 - Al$ ) dan dianggap masih dalam waktu 0 detik. Diketahui pula bahwa pada temperatur 698°K tersebut merupakan temperatur plastisnya komposit IEB, sehingga dengan mudah komposit IEB dapat dilakukan perolan panas dan melumat.

Saat 0 detik (awal) hingga 36 detik mulai dilakukan perolan panas dan di sini

mulai terjadi pengurangan tebal. Temperatur perolan komposit IEB sudah mulai menurun dari 688°K menjadi 559,22°K dan pengurang ketebalan yang semula 8,25 mm berkurang 0,825 mm menjadi 7,425 mm. Secara menerus baik temperatur maupun pengurangan ketebalan hasil analog, sehingga akhir dari proses perolan panas komposit IEB hingga menjadi lembaran pelat elemen bakar (PEB) temperatur sepanjang PEB tersebut berakhir 441,57°K atau 168,57°K dan tebal akhir IEB menjadi PEB yang diperoleh dalam perhitungan ternyata sesuai dengan tebal praktek lapangan adalah 1,65 mm selama waktu 180 menit.



Gambar 6 : Hubungan antara pengurangan tebal komposit IEB setiap perolan panas terhadap distribusi temperatur pada setiap waktu model matematika/desain

Pada Gambar 6 dan Tabel 2 (Lampiran), mengplotkan antara data hasil desain dengan praktek lapangan yang dilaksanakan di PT. Batan Teknologi – BATAN, Serpong, Pada kenyataannya bahwa desain pengurangan ketebalan komposit IEB yang dimodelkan menggunakan matematika dapat dipakai untuk memprediksikan temperatur sepanjang PEB hingga dapat diperoleh ketebalan 1,65 mm. Ketebalan akhir PEB (0,165 mm) memenuhi spesifikasi bahan bakar. Terlihat pada Gambar 6 ketebalan awal 8,25 mm selama waktu 0 menit seterusnya hingga 180 menit dengan temperatur awal seluruhnya 313°C. Namun hal ini, dapat memberi informasi yang dapat dipakai sebagai gambaran bahwa dalam desain model menggunakan interval pengurangan ajeg (1,65 mm) artinya pendekatan model matematika ini tidak mejalahi aturan pengurangan tebal yang dilaksanakan dalam praktek pembuatan PEB yang telah berlangsung sejak 1988 (sesuai desain pabrik pembuatnya dari Nukem GmbH. Jerman/Tabel 2).

## SIMPULAN

Dari hasil penghitungan distribusi temperatur sepanjang PEB  $U_3O_8$ -Al pada pengaruh posisi dan waktu menggunakan rumus (7) dapat disimpulkan sebagai berikut :

Hasil perhitungan distribusi temperatur pada parameter pengurangan tebal dan waktu untuk PEB  $U_3O_8$ -Al hampir merata sepanjang pelat, rerata temperatur pada tiap pengurangan tebal komposit IEB dan waktu yaitu 0, tidak menunjukkan perbedaan berarti.

Hubungan fungsional antara pengurangan ketebalan tidak berlaku terhadap temperatur ketebalan/panjang PEB, karena ketebalan relatif tipis/kecil dibandingkan dengan panjangnya PEB  $U_3O_8$ -Al.

## PUSTAKA

- [1]. NUKEM, GmbH, (1983), "Basic and Detail Engineering Process Element Fabrication Plant for BATAN", Vol. 4 Nukem VT–No. 2.0080, Hanau.
- [2]. SUPARDJO, (1995). "Teknologi Bahan Bakar Reaktor Riset", Diklat Teknologi Industri Bahan Bakar Nuklir, Pusat Elemen Bakar Nuklir – Pusdiklat – BATAN, Serpong.
- [3]. CAHN, R.W. HAASEN, P., and KRAMER, E.J., (1994). "Materials Science and Technology", Chapter 2, from volume 10 A, Germany.
- [4]. KAMINAGA, M,(1994). "A Computer Code, for the Analyses of Steady-State Thermal-Hydraulics in Research Reactors", Japan Atomic Energy Research Institute Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken.
- [5]. SINGH,S.N., (1971). "Temperature Distribution Over Infinite Plate", Departement of Mathematics, Banaras Hindu University, Varanasi.
- [6]. SUNPEI, (2003). "Conduction Heat Transfer", Experiment 13, The Ohio state University, Chemical Engineering 630, E-mail sump @ Checal Engineering Ohio-State-edu.
- [7]. Levicky, R., (2005). "Select Application of the International Energy Balance to Heat Conduction", E-mail RL 268 @ Columbia-edu.
- [8]. LUYBEN, (1993). "Process Modeling Simulation, and Control for Chemical Engineers", Part one Mathematical of Chemical Engineering System, International student Edition, McGraw-Hill Kogakusha, Tokyo.
- [9]. HANAN, N.A. and SMITH, R.S. (1998). "Analysis of the Effect of Transverse Power Distribution in an Involute Fuel Plate With and Without Oxide Film Formation", argonne, Illinois 60439 – 4815, Reduced Enrichment for Test Reactor Conferene, Sao Paulo, Brazil.

## LAMPIRAN

Tabel 1 : Hasil *print out* distribusi temperatur sepanjang PEB  $U_3O_8 - Al$ 

Interval Panjang	Pengurangan Tebal (x), mm	Temperatur/T, °K					
	Waktu Perolan, det	0	360	720	1080	1440	1800
0	0	313	313	313	313	313	313
1	0,165	688	559,22	504,75	474,76	455,38	441,57
2	0,330	688	663,01	623,63	591,54	566,66	546,94
3	0,495	688	685,27	671,72	653,46	646,63	617,58
4	0,660	688	687,84	684,98	677,84	667,45	655,10
5	0,825	688	687,99	687,21	683,60	676,47	666,45
6	0,990	688	687,84	684,98	677,84	667,45	655,10
7	1,155	698	685,27	671,72	653,46	646,63	617,58
8	1,320	688	663,01	623,63	591,54	566,66	546,94
9	1,485	688	559,22	504,75	474,76	455,38	441,57
10	1,650	313	313	313	313	313	313

Tabel 2 : Hasil *print out* distribusi temperatur sepanjang PEB  $U_3O_8 - Al$  praktek lapangan dan desain

Interval Panjang	Pengurangan Tebal (x), mm		Tebal, mm	Temperatur/T, °K					
	Praktek	Desain	Waktu rol, det	0	360	720	1080	1440	1800
1	8,3	8,25	0	313	313	313	313	313	313
2	7,0	6,60	1,155	688	685,27	671,72	653,46	646,63	617,58
3	5,6	4,95	1,320	688	663,01	623,63	591,54	566,66	546,94
4	2,6	3,30	1,485	688	559,22	504,75	474,76	455,38	441,57
5	1,65	1,65	1,650	313	313	313	313	313	313