

MODEL PERHITUNGAN DISTRIBUSI SUHU SEPANJANG PELAT ELEMEN BAKAR (PEB) U_3Si_2 -Al PADA PENGURANGAN TEBAL DAN WAKTU PEMANASAN

Ghaib Widodo⁽¹⁾, Moch. Setyadji⁽²⁾

1. Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir – BATAN,
Kawasan PUSPIPEK, Serpong 15314
e-mail : ghaibwido@yahoo.com

2. Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan – BATAN
Jl. Babarsari, Kotak Pos 6101YKBB, Yogyakarta 55281
e-mail : mochsetyadji@yahoo.com
(Diterima 1-8-2011, disetujui 29-9 -2011)

ABSTRAK

MODEL PERHITUNGAN DISTRIBUSI SUHU SEPANJANG PELAT ELEMEN BAKAR (PEB) U_3Si_2 -Al PADA PENGURANGAN TEBAL DAN WAKTU. Telah dilakukan penghitungan distribusi suhu terhadap PEB U_3Si_2 -Al pada setiap pengurangan tebal dan waktu sampai proses perolan panas selesai 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, 7,0 mm, 5,6 mm, 2,6 mm and 1,65 mm. Diharapkan dengan adanya rekayasa perhitungan menggunakan transfer panas, namun tetap dalam koridor/kaidah *chemical engineering tools*, memungkinkan secara dini suhu pada setiap posisi pelat proses perolan panas kelak dapat diketahui. Suhu yang terdistribusi secara homogen dapat membantu dalam mempelajari perilaku serbuk U_3Si_2 dalam PEB. Data yang dipakai suhu awal proses perolan pelat 40 °C suhu pemanasan pelat dalam tungku 415 °C selama \pm 30 menit. Hasil perhitungan distribusi suhu pada parameter pengurangan tebal inti elemen bakar (IEB) dan waktu untuk PEB U_3Si_2 -Al hampir merata sepanjang pelat. Suhu pada tiap pengurangan ketebalan dan waktu selisih angka hampir sama.

Kata Kunci: distribusi suhu, PEB U_3Si_2 – Al, IEB (inti elemen bakar), tebal pelat

ABSTRACT

MODEL OF CALCULATION TEMPERATURE DISTRIBUTION ALONG FUEL ELEMENT PLATE (FEP) U_3Si_2 -Al AT DECREASING THICKNESS AND INCREASING TIME. The calculation on temperature of fuel element plate (FEP) U_3Si_2 -Al at every change of position and time until the completion of hot rolling process by using Fourier law mathematical model had been done. During hot rolling process, heat will be transferred throughout the plate beginning respectively from the plate thickness of 8.3 mm, 7.0 mm, 5.6 mm, 2.6 mm and 1.65 mm. It was expected that the engineered calculation by using heat

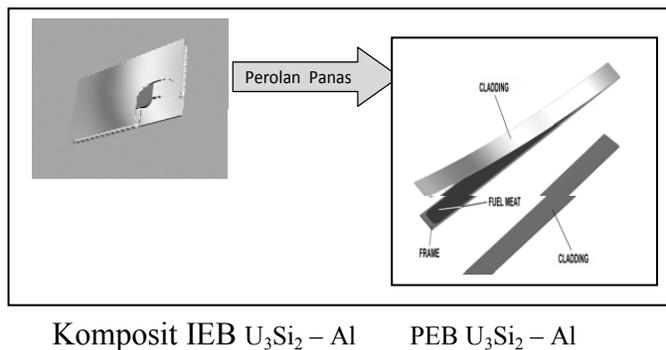
transfer mathematical model, yet complying with the rules of chemical engineering tools, the temperature at any position during hot rolling process could be predicted in advance. Whether or not the predicted temperature was distributed homogenously might be a help in studying the behavior of U_3Si_2 powder in the FEP. The calculation used initial given temperature at $40^\circ C$ and the furnace temperature was considered steady at $415^\circ C$ for ± 30 minutes. The result showed that the temperature distribution was practically homogenous along the plate length with decreasing thickness of fuel element core (FEC). The temperature at decreasing thickness and increasing time intervals indicated similar difference value.

Free Terms: temperature distribution, FEP $U_3Si_2 - Al$, FEC (fuel element core), plate thickness

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Bahan bakar tipe pelat elemen bakar (PEB) yang diproduksi oleh PT. Batan Teknologi mempunyai spesifikasi $700\text{ mm} \times 65\text{ mm} \times 1,65\text{ mm}$ ^[1]. Pelat elemen bakar (PEB) itu berasal dari proses produksi komposit inti elemen bakar (IEB), komposit IEB untuk menjadi PEB senantiasa dan selalu melewati 5 tahapan kegiatan fabrikasi, yaitu^[1-3]: (1) perolan PEB, (2) pelurusan PEB, (3) pemotongan dimensi, (4) Pemolesan, (5) pencucian kimia/*pickling*.



Gambar 1. Komposit IEB dikenai perolan panas menjadi PEB^[1-3]

Makalah ini hanya 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^[1-3]: setelah komposit dilas, segenap komposit dimasukkan ke dalam tungku sirkulasi udara dengan suhu pemanasan sekitar $415^\circ C$ selama ± 30 menit, cukup membuat komposit mencapai suhu platisnya. Bersamaan dengan

pemanasan komposit, mesin rol juga dioperasikan dan permukaan rol dipanaskan pada suhu ± 40 °C. Laju putar rol diatur sekitar 20 putaran per menit. Komposit dirol panas dalam 4–6 tahapan menjadi PEB.

Sebagai contoh 4 tahapan rol adalah sebagai berikut : diawali tebal 8,3 mm, 7,0 mm, 5,6 mm, 2,6 mm dan 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. Pada Gambar 1., dapat dilihat gambaran komposit IEB setelah dilakukan perolan panas sampai diperoleh lembaran, pemotongan sampai diperoleh PEB.

Model matematika distribusi suhu pada pelat ini bertujuan untuk mengetahui distribusi suhu setiap titik ketebalan IEB hingga sepanjang pelat elemen bakar selama proses perolan panas yang dimulai dari ketebalan awal/tertentu yaitu 8,25 mm hingga menyusut ketebalannya sampai diperoleh pelat elemen yang memenuhi syarat sebagai bahan bakar sebesar 1,65 mm.

1.2. Teori Penghitungan

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 suhu PEB pada ketebalan tertentu. Pelat elemen bakar dapat dianalogikan sebagai pelat datar (bentuk slab) dan akan dicari distribusi suhu di dalam pelat sebagai fungsi pengurangan tebal dan waktu.

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

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

dengan :

- q : jumlah panas yang ditransfer tiap satuan waktu, kal detik⁻¹
- k : konduktivitas panas, $W m^{-1}K^{-1} = kal cm^{-1} detik^{-1} °C^{-1}$
- A : luas bidang transfer, m²
- T : suhu, °K
- x : tebal, cm

Untuk memanaskan massa sebesar m g massa dengan kenaikan suhu sebesar ΔT , diperlukan panas tiap satuan waktu sebesar :

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

dengan :

q : jumlah panas yang ditransfer tiap satuan waktu, kal detik⁻¹

m : massa zat yang dipanaskan, g

c : kapasitas panas, kal g⁻¹ C⁻¹

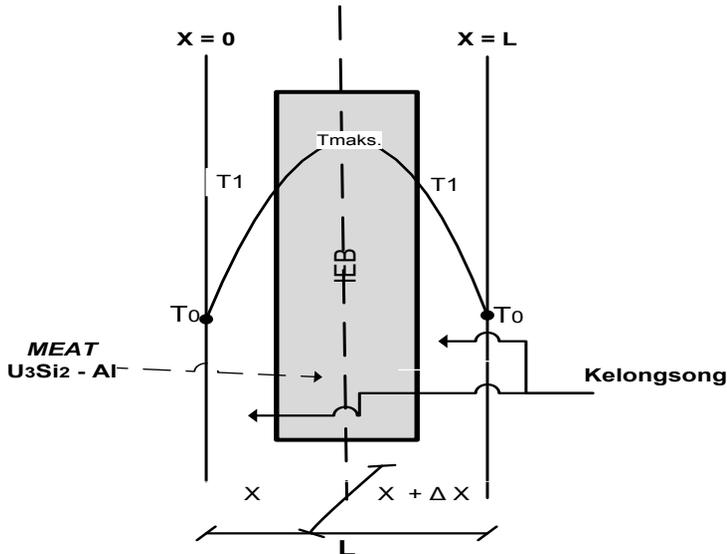
T : Suhu, °K

t : waktu, detik

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

Panas yang masuk – panas yang keluar = panas yang terakumulasi

Apabila diketahui ketebalan pelat adalah L , yang terletak antara $x = 0$ dan $x = L$, suhu awal T_1 , maka suatu saat suhu kedua permukaan diubah menjadi T_0 . Sifat-sifat bahan dianggap konstan terhadap suhu, maka neraca panas pada elemen volume setebal Δx dan seluas A , seperti dilukiskan pada Gambar 2., yang memperlihatkan potongan komposit IEB yang ditinjau dan mempermudah dalam pejabaran rumus [5]



Gambar 2. Potongan Inti Elemen Bakar (IEB) [5]

Dari persamaan (1) dan (2) dapat ditulis, menjadi persamaan (3) berikut :

$$\left\{ -k.A. \frac{\partial T(x,t)}{\partial x} \right\} - \left\{ -k.A. \frac{\partial T(x+x,t)}{\partial x} \right\} = m.c. \frac{\partial T(x,t)}{\partial t} \quad (3)$$

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

$$\frac{\frac{\partial T(x+x,t)}{\partial x} - \frac{\partial T(x,t)}{\partial x}}{\Delta x} = \left(\frac{\rho.c}{k} \right) \frac{\partial T(x,t)}{\partial t} \quad (4)$$

Jika Δx mendekati 0, maka diperoleh

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) = \left(\frac{\rho.c}{k} \right) \frac{dT}{dt} \quad (5)$$

$$\frac{dT^2}{dx^2} = \left(\frac{\rho.c}{k} \right) \frac{dT}{dt} \quad (6)$$

Initial condition :

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

Boundary conditions :

$$T(x,\infty) = T_1, T(0,t) = T_1, \text{ dan } T(L, t) = T_1$$

Persamaan deferensial (PD) di atas dapat diselesaikan secara analitik maupun numerik^[4-9].

Persamaan akhir yang diperoleh adalah (7) menjadi (8) berikut :

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

$$T(x, t) = T_1 + \frac{2}{\pi} (T_0 - T_1) \sum_{n=1}^{\infty} \left(1 - (-1)^n \frac{1}{n e^{(-a \frac{n^2 \pi^2}{L^2 t})}} \frac{1}{\sin \frac{n\pi x}{L}} \right) \quad (8)$$

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 di- lapangan/fabrikasi yang dikehendaki 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^[1-3]. Dan disajikan dalam Tabel 1. dan Tabel 2 (Lampiran)

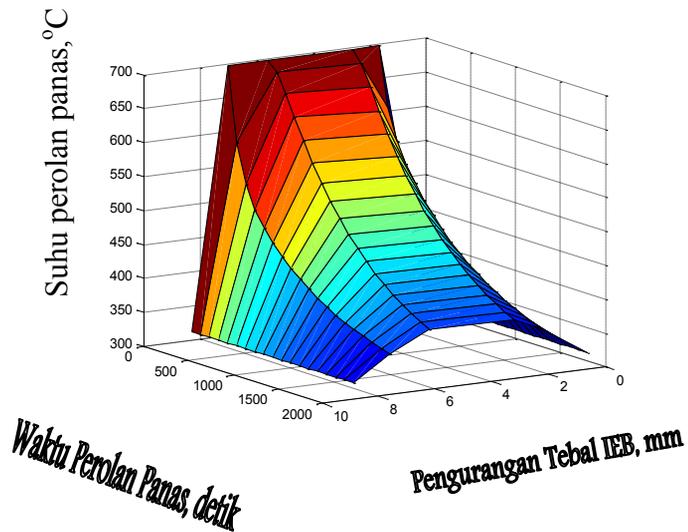
Untuk melihat perilaku distribusi suhu sepanjang PEB U₃Si₂-Al pada pengurangan tebal dan waktu dilakukan hingga 17 (tujuh belas) titik interval percobaan tetap (pengurangan tebal) yaitu 0,4175 mm. Dengan kondisi ini diharapkan hasil lebih lengkap dan baik dengan beberapa asumsi seperti dijelaskan pada metodologi sehingga distribusi suhu sepanjang PEB U₃Si₂-Al pada pengurangan tebal dan waktu, perhitungannya menjadi lebih jelas dan sederhana.

II. TATA KERJA

Perhitungan distribusi sepanjang PEB dilakukan menggunakan formula (8) dan memasukan data fisik U₃Si₂-Al dapat diselesaikan menggunakan program numerik (program Matlab). Temperatur pelat bahan bakar dihitung dengan beberapa asumsi bahwa (1) panas yang hilang (penurunan suhu) selama pemindahan komposit IEB dari tungku ke mesin rol dianggap nol karena terlalu cepat, (2) panas yang hilang (penurunan suhu) 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 2. adalah skema potongan komposit IEB yang ditinjau dari percobaan guna menunjukkan model perhitungan pelat bahan bakar distribusi suhu.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data fisik U ₃ Si ₂	
Densitas (ρ) ---- (RHO)	= 8,4 g/cm ³
Konduktivitas (Ak), k	= 15 W/m K = 15 kJ/jam m K
	= 15,1000J/(3600 det 100 cm K)
	= 4,1666 J/(cm det K)
Kapasitas panas (AC), c	= 1048 kJ/kg K (untuk 53 % berat U)
(298 – 900°K)	= 169,4 + 2,43 x 10 ⁻³ T – 3,519 x 10 ⁶ T ⁻²
Tebal PEB U ₃ Si ₂ – Al (AL)	= 1,65 mm = 0,165 cm
Suhu awal (T ₀)	= 415 °C = 688 K
Suhu akhir (T ₁)	= 40 °C = 313 K



Gambar 3. Korelasi antara pengurangan tebal terhadap suhu rol panas dan waktu pemanasan data Model Matematika

Dengan catatan dalam perhitungan tersebut diambil jumlah interval panjang PEB $U_3Si_2 - Al$ (N) = 17 dan jumlah interval waktu (SUMDT) = 6 dengan interval (DT) selama 30 menit = 1800 detik. Hasil perhitungan menggunakan rumus/persamaan (8) dengan suhu perolan (NMAX) = 17 ditunjukkan dalam *print out* berikut. Pada Gambar 5 ditampilkan hubungan antara pengurangan tebal (x) pada perolan komposit IEB terhadap waktu proses perolan panas.

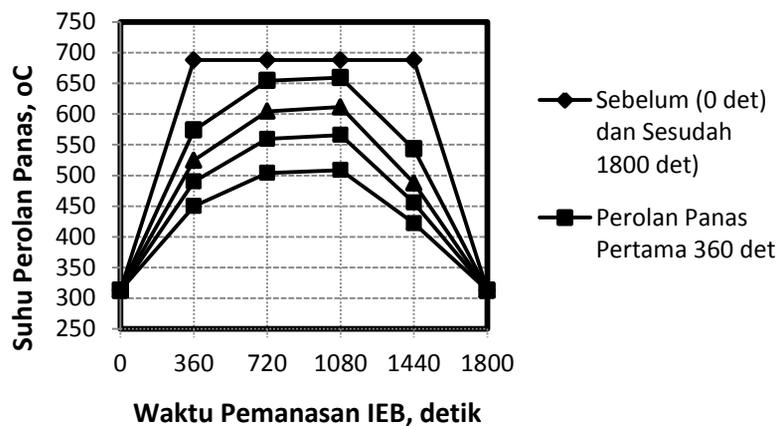
Dalam Gambar 4 dan Tabel 1 (Lampiran) dapat dijelaskan bahwa secara praktis pada saat awal suhu 313 K (40 °C) komposit IEB dipanaskan hingga suhu 688 K (415 °C) yang dikeluarkan dari tungku pemanas (*furnace*), kemudian dilakukan pengukuran suhu dan praktis masih merata sepanjang fisik komposit IEB (PEB $U_3Si_2 - Al$) dan dianggap masih dalam waktu 0 detik. Diketahui pula bahwa pada suhu 688 K tersebut merupakan suhu plastis komposit IEB, sehingga dengan mudah terhadap komposit IEB dapat dilakukan perolan panas.

Saat 0 detik (awal) hingga 360 detik mulai dilakukan perolan panas dan di sini mulai terjadi pengurangan tebal. Suhu perolan komposit IEB sudah mulai menurun dari 688 K menjadi 615,14 K dan pengurang ketebalan yang

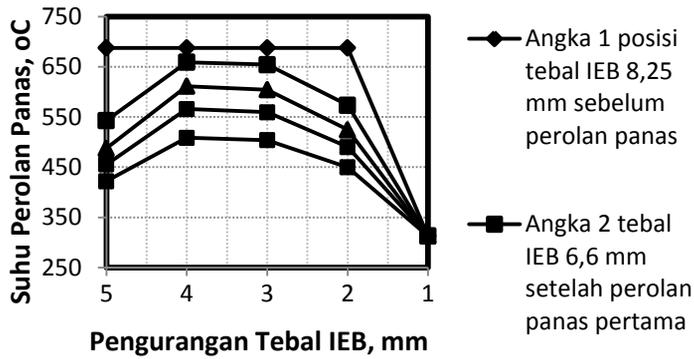
semula 8,25 mm berkurang 0,825 mm menjadi 7,425 mm. Secara terus menerus baik suhu maupun pengurangan ketebalan hasilnya hampir sama, sehingga akhir dari proses perolan panas komposit IEB hingga menjadi lembaran pelat elemen bakar (PEB) suhu sepanjang PEB tersebut berakhir 449,96 K atau 176,96 °C dan tebal akhir IEB menjadi PEB yang diperoleh dalam perhitungan ternyata sesuai dengan tebal praktek lapangan adalah 1,65 mm selama waktu 1800 detik (30 menit) dan suhu PEB telah menurun menjadi 313 K.

Terlihat pada Gambar 3. ketebalan awal 8,25 mm selama waktu 0 detik seterusnya hingga 1800 detik (30 menit) dengan suhu awal dan akhir seluruhnya 313 °C. Dengan demikian, hal ini memberikan informasi yang dapat dipakai sebagai gambaran bahwa dalam desain model menggunakan interval pengurangan yang konstan (0,4175 mm) artinya pendekatan model matematika ini tidak menyalahi aturan pengurangan tebal yang dilaksanakan dalam praktek pembuatan PEB yang telah berlangsung sejak 1988 (sesuai desain pabrik pembuatnya dari Nukem GmbH. Jerman) yaitu tebal akhir PEB 1,65 mm

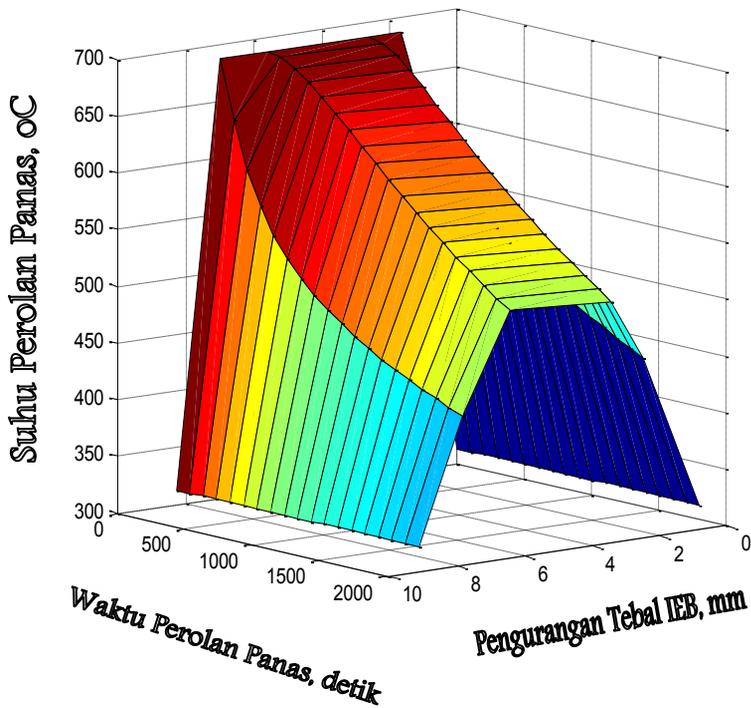
Secara visual hasil perhitungan menggunakan model matematika (solusi matlab) ini dapat diperlihatkan pula pada Gambar 4 dan Gambar 5 (Tabel 2) untuk masing-masing korelasi pengurangan tebal IEB dan waktu terhadap suhu selama proses perolan panas.



Gambar 4. Korelasi antara waktu pemanasan IEB terhadap suhu perolan panas



Gambar 5. Korelasi antara pengurangan tebal IEB terhadap suhu perolan panas

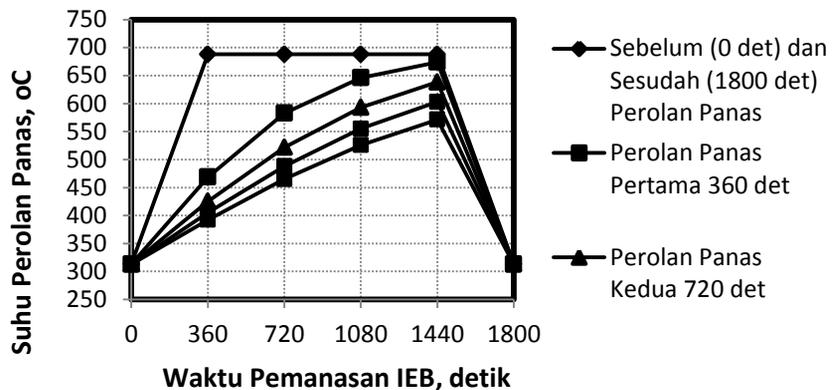


Gambar 6. Korelasi antara pengurangan tebal terhadap suhu rol panas dan waktu pemanasan data Praktek di Lapangan

Gambar 6 dan Tabel 3 menunjukkan korelasi pengurangan tebal komposit IEB, waktu pemanasan IEB terhadap suhu saat perolan panas

berlangsung (Lampiran perhitungan menggunakan Matlab dan hasil *run*-nya). Peristiwa ini merupakan proses fabrikasi praktek lapangan yang dimulai proses perolan panas komposit IEB dari ketebalan awal 8,3 mm berkurang menjadi 7,0 mm seterusnya hingga tebal berakhir 1,65 mm (sebagai PEB) yang dilaksanakan di PT. Batan Teknologi – BATAN, Serpong.

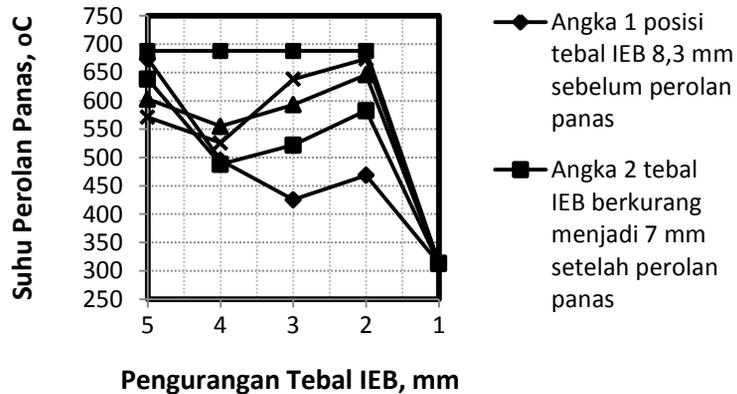
Apabila Gambar 6 dan Tabel 3 ini dibandingkan dengan Gambar 3 Dan Tabel 1 yang merupakan desain pengurangan ketebalan komposit IEB yang dimodelkan, terlihat antara Gambar 3 dengan Gambar 6 tersebut ada sedikit perbedaan yaitu terletak pada interval pengurang tebal komposit IEB yang tidak konstan (lihat Tabel 3) yang dilaksanakan di lapangan. Hal tersebut mengakibatkan suhu pada setiap pengurangan tebal komposit IEB yang terjadi pada Gambar 3 menaik kemudian menurun, sementara Gambar 6 menaik terus. Namun beda suhu yang terjadi dengan bertambahnya waktu keduanya (Gambar 3 dan Gambar 6) tidak jauh.



Gambar 7. Korelasi antara waktu pemanasan IEB terhadap suhu perolan panas.

Begitu pula hasil perhitungan menggunakan model matematika (solusi matlab) juga diperlihatkan pada Gambar 7 dan Gambar 8 (Tabel 4) melengkapi penjelasan selanjutnya, karena untuk masing-masing korelasi pengurangan tebal IEB dan waktu terhadap suhu selama proses perolan panas hasilnya hampir sama dengan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4 dan Gambar 5 Hanya saja terjadi sedikit perbedaan pada masing-masing Gambar tersebut yaitu terletak pada ketebalan awal yang berbeda (8,3 mm dengan 8,25 mm),

pengurangan tebal IEB saat perolan panas yang satu konstan (desain) praktek di lapangan tidak konstan.



Gambar 8. Korelasi antara pengurangan tebal IEB terhadap suhu perolan panas.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penghitungan distribusi suhu sepanjang PEB U_3Si_2 -Al pada pengurangan tebal dan waktu pemanasan menggunakan rumus (8) dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil perhitungan distribusi suhu pada parameter pengurangan tebal dan waktu untuk PEB U_3Si_2 - Al hampir merata sepanjang pelat, rerata suhu pada tiap pengurangan tebal komposit IEB dan waktu yaitu 0 sama ($313\text{ }^{\circ}\text{C}$), tidak menunjukkan perbedaan berarti.
2. Hubungan fungsional antara pengurangan ketebalan tidak berlaku terhadap suhu ketebalan/panjang PEB, karena ketebalan relatif tipis/kecil yaitu 1,65 mm dibandingkan dengan panjangnya PEB U_3Si_2 - Al sampai 700 mm.
3. Rumus transfer panas yang dipakai dalam perhitungan dapat pakai untuk memprediksikan perilaku suhu pada setiap posisi pengurangan tebal IEB hingga menjadi PEB, walaupun ada sedikit perbedaan (suhu,

pengurangan ketebalan) namun tidak berarti karena sangat kecil dan ketebalan akhir menjasi PEB sama yaitu 1,65 mm.

SARAN

Dalam penyelesaian perhitungan menggunakan model matematika banyak asumsi-asumsi hingga masih ada sedikit banyak kekurangan, sehingga hasilnya masih jauh dari baik, maka saran dan inputan sangat penulis harapan. Ke depan berharap penulisan metode yang sama menggunakan model matematika ini dapat diselsaikan lebih sempurna.

V. DAFTAR PUSTAKA

1. Nukem, GmbH (1983). Basic and Detail Engineering Process Element Fabrication Plant for BATAN. 4 (VT-2.0080). Nukem, 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. 10 A, Germany.
4. Widodo, G. dan Wardiyati, S. (2011). Model Distribusi Sepanjang Pelat Eleman Bakar U_3O_8 -Al Pada Pengurangan Tebal dan Waktu”, Buletin Triwulan Daur Bahan Bakar , “URANIA”, PTBN – BATAN, 17 (1), 18 – 24.
5. Singh, S.N. (1971). Temperature Distribution Over Infinite Plate”, Departement of Mathematics. Banaras Hindu University, Varanasi.
6. Sun Pei. (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 Simlation, and Control for Chemical Enginers. 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 Powern 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 *Run* menggunakan Metoda *MatLab*.

Distribusi Suhu Sepanjang PEB U_3Si_2 -Al Untuk Model Desain

Interval	Pengurangan Tebal (x), mm	Suhu/T, °K					
Panjang	Waktu Perolan, det	0	360	720	1080	1440	1800
0	8,2500	313	688	688	688	688	313
1	7,8375	313	646,20	684,37	685,14	635,81	313
2	7,4250	313	615,14	676,65	678,78	596,10	313
3	7,0125	313	591,81	666,27	669,88	566,08	313
4	6,6000	313	573,69	654,39	659,27	543,14	313
5	6,1875	313	558,87	641,88	647,71	525,10	313
6	5,7750	313	546,23	629,21	635,66	510,53	313
7	5,3625	313	534,95	616,76	623,50	498,29	313
8	4,9500	313	524,61	604,54	611,44	487,70	313
9	4,5375	313	515,11	592,70	599,59	478,39	313
10	4,1250	313	506,29	581,28	588,01	470,08	313
11	3,7125	313	497,95	570,17	576,76	462,57	313
12	3,3000	313	490,09	559,53	565,88	455,64	313
13	2,8875	313	482,64	549,29	555,39	449,24	313
14	2,4750	313	475,50	539,46	545,30	443,19	313
15	2,0625	313	468,71	530,04	535,60	437,51	313
16	1,6500	313	449,96	504,01	508,79	422,12	313

Tabel 2

Hasil *Run* Perhitungan menggunakan Metoda *MatLab*.

Distribusi Suhu Sepanjang PEB U_3Si_2 -Al untuk Desain

Interval	Tebal PEB (x), mm	Pengurang an Tebal IEB, mm	Suhu/T, °K					
Panjang	Desain	Waktu rol, det	0	360	720	1080	1440	1800
1	8,25	0	313	688	688	688	688	313
2	6,60	1,155	313	573,69	654,39	659,27	543,14	313
3	4,95	1,320	313	524,61	604,54	611,44	487,70	313
4	3,30	1,485	313	490,09	559,53	565,88	455,64	313
5	1,65	1,650	313	449,96	504,01	508,79	422,12	313

Tabel 3.
Hasil Run menggunakan Metoda *MatLab*.
Distribusi Suhu Sepanjang PEB U_3Si_2 -Al untuk praktek di lapangan/fabrikasi di PT. Batan Teknologi

Interval	Pengurangan Tebal (x), mm	Suhu/T, °K					
Panjang	Waktu Perolan, det	0	360	720	1080	1440	1800
0	8,3000	313	688	688	688	688	313
1	7,9750	313	578,12	667,85	685,23	687,68	313
2	7,6500	313	522,59	635,63	675,46	685,57	313
3	7,3250	313	490,15	606,63	661,33	680,83	313
4	7,0000	313	468,69	582,74	646,10	673,93	313
5	6,6500	313	453,50	563,15	631,25	665,71	313
6	6,4000	313	441,96	546,97	617,42	656,80	313
7	6,0500	313	432,79	533,40	604,74	647,61	313
8	5,6000	313	425,35	521,84	593,12	638,38	313
9	4,8500	313	419,17	511,84	582,48	629,24	313
10	4,1000	313	413,87	503,04	572,68	620,27	313
11	3,3500	313	409,22	495,17	563,61	611,53	313
12	2,6000	313	405,10	488,07	555,15	603,01	313
13	2,3625	313	401,40	481,58	547,20	594,73	313
14	2,1250	313	398,04	475,60	539,70	586,67	313
15	1,8875	313	394,97	470,05	532,58	578,83	313
16	1,6500	313	392,13	464,86	525,80	571,22	313

Tabel 4.
Hasil *Run* perhitungan menggunakan metoda *MatLab*.
Distribusi Suhu Sepanjang PEB U_3Si_2 -Al untuk praktek di lapangan

Interval	Tebal PEB (x), mm	Pengurangan Tebal IEB, mm	Suhu/T, °K					
Panjang	Praktek	Waktu rol, det	0	360	720	1080	1440	1800
1	8,30	0,000	313	688	688	688	688	313
2	7,00	1,300	313	468,69	582,74	646,10	673,93	313
3	5,60	1,400	313	425,35	521,84	593,12	638,38	313
4	2,60	3,000	313	405,10	488,07	555,15	603,01	313
5	1,65	0,950	313	392,13	464,86	525,80	571,22	313