

KAJIAN ULANG DESAIN TERMOHIDROLIKA RSG-GAS MENGUNAKAN PROGRAM COOLOD-N

Jaja Sukmana, A. Mariatma, Mashudi, Abd. Aziz RH

ABSTRAK

KAJIAN ULANG DESAIN TERMOHIDROLIKA TERAS RSG-GAS DENGAN MENGGUNAKAN PROGRAM COOLOD-N. Telah dilakukan kajian ulang terhadap data desain termohidrolika teras RSG-GAS dengan menggunakan program Coolod-N. Kajian ulang bertujuan untuk memverifikasi ulang program Coolod-N dalam perhitungan desain. Data keluaran termohidrolik yang diperoleh diantaranya: fluks massa rata-rata = 3763 kg/m²s, temperatur permukaan plat = 144 °C, temperatur maksimum meat bahan bakar 146 °C, pembangkitan panas = 8205,4 W/cm³, dan margin keselamatan = 3,67. Perbedaan hasil perhitungan ini terhadap hasil program lain disebabkan adanya kesalahan data masukan, yaitu hasil perhitungan mekanik dari dimensi teras dan bagian-bagiannya serta pemilihan formula-formula terkait program itu sendiri. Dari kegiatan ini diharapkan dapat menambah kompetensi sumber daya staf PRSG dalam menggunakan program komputer untuk menganalisis suatu desain maupun perubahan terhadap desain awal.

ABSTRACT

RE-ASSESSMENT OF THE RSG-GAS CORE TERMOHIDROLIC DESIGN USING COOLOD-N CODE. *Re-assessment of thermohydrolic design for the RGS-GAS core has been done using Coolod-N code. Re-assessment purposed to applied Coolod-N code on design calculation. The thermohydrolic output data obtained include: flux mass average of 3763 kg / m²s, surface plate temperature of 144 °C, maximum meat fuel temperature of 146 °C, generation heat of 8205,4 W/cm³, and safety margin of 3,67. The difference between this calculation and other computer code because of difference of data input reflected on mechanical data of core dimension and selection of certain formula to execute the program. It is expected by exercising this a such measure is able to enhance the capability of the operator in the light of analyzing of design modification or early design either using computer code.*

PENDAHULUAN

Desain teras reaktor dan tindakan korektif dari sistem pengendalian dan proteksi reaktor, menjamin bahwa kerapatan puncak panas lokal (*peak local power*) tidak akan menyebabkan kerusakan elemen bakar selama operasi normal atau operasi transien. Kondisi tersebut juga tidak akan menyebabkan kerusakan pada pelat elemen bakar akibat kecelakaan terparah yang dipostulasikan.

Tabel 1 menyajikan desain neutronik, termohidrolika, dan mekanik RSG-GAS. Beberapa dari data tersebut dapat ditinjau ulang menggunakan program komputer Coolod-N. Coolod-N dipublikasikan oleh JAERI yang disusun oleh Masanori Kaminaga (1987), dipasang pada VAX8550 (1989) (pengembangan dari Coolod oleh S.Watanabe, 1984), kemudian dimodifikasi ke dalam mesin AXP oleh Kurnia Putranta (1996) dengan ditambahkan persamaan untuk menghitung para-

meter pelepasan gelembung (Eta) sesuai dengan persamaan yang digunakan oleh Interatom. Pada tahun 2004, program ini dikonversikan pada komputer PC. Saat ini program Coolod-N versi PC bisa dijalankan pada komputer yang menggunakan *operating system Windows-2000/ NT/XP*.

Tujuan kajian ulang dengan Coolod ini adalah melakukan verifikasi terhadap data termohidrolika teras RSG-GAS dengan paket program komputer yang sebenarnya telah digunakan oleh staf PRSG yang saat ini telah dipindahkan ke Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir (PTRKN). Diharapkan dengan pengkajian ulang staf PRSG mampu memverifikasi secara mandiri terhadap keselamatan dalam pengendalian keselamatan operasi reaktor.

TEORI

Desain RSG-GAS

Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-

GAS) merupakan reaktor jenis *MTR (Material Testing Reactor)* pertama di dunia yang dioperasikan langsung dengan menggunakan elemen bakar pengkayaan Uranium rendah, *LEU (Low Enriched Uranium)*. Pada saat rancang bangun RSG-GAS dilaksanakan, hanya tersedia elemen bakar *LEU* jenis oksida (U_3O_8-Al) yang dapat digunakan untuk memenuhi spesifikasi yang ditentukan. Oleh karena itu RSG-GAS menggunakan bahan bakar oksida dengan densitas Uranium dalam *meat* sebesar $2,96 \text{ g/cm}^3$ dengan pengkayaan ^{235}U sebesar 19,75%. Parameter desain neutronik dan termohidrolik RSG-GAS telah disajikan mengacu pada SAR (safety analysis report) RSG-GAS Rev.7 dan LAK (laporan analisis keselamatan) RSG-GAS Rev.10. Program komputer yang digunakan untuk menghitung neutronik dan termohidrolik pada SAR rev. 7 adalah COBRA-IIIC sedangkan di LAK rev.10 digunakan BATAN-FUEL dan BATAN-2DIFF. Parameter termohidrolik RSG-GAS disajikan seperti tabel berikut ini.

Tabel 1. Parameter Desain Termohidrolika dan Mekanik RSG-GAS

Parameter Desain Termohidrolika	SAR Rev.7	LAK Rev.10
<u>Aliran Pendingin</u>		
Total laju alir sistem primer, kg/s	860	860
Nilai desain laju alir minimum, kg/s	800	800
Laju alir efektif untuk pendinginan pelat elemen bakar, kg/s	618	618
Luas aliran efektif untuk perpindahan panas, m ²	0,1643	0,1643
Kecepatan rata-rata pendingin sepanjang pelat elemen bakar, m/s	3,7	3,7
Kecepatan massa rata-rata di dalam teras reaktor, kg/m ² s	3761	3761
Penurunan tekanan di dalam teras reaktor, bar	0,50	0,50
<u>Suhu Pendingin</u>		
Suhu masuk nominal, °C	40,5	40,5
Kenaikan suhu rata-rata di dalam teras reaktor, °C	10,0	10,1
Suhu rata-rata di keluaran teras reaktor, °C	50,5	50,6
Suhu maksimum di keluaran kanal panas, °C	74,4	75,3
<u>Perpindahan Panas</u>		
Luas permukaan pelat elemen bakar, m ²	72,29	72,29
Fluks panas rerata, W/m ²	$41,5 \times 10^4$	$41,5 \times 10^4$
Fluks panas maksimum untuk operasi normal, W/m ²	$221,7 \times 10^4$	$221,7 \times 10^4$

Tabel 1. lanjutan

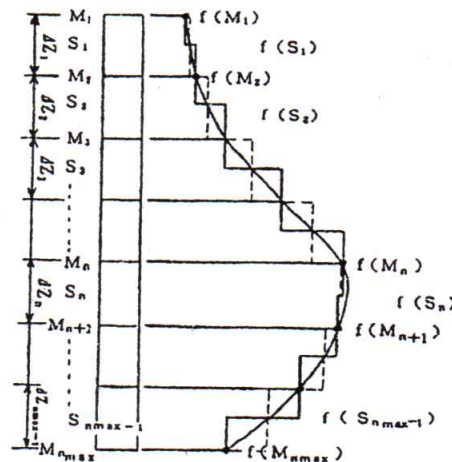
Parameter Desain Termohidrolika	SAR Rev.7	LAK Rev.10
Suhu Pelat Elemen Bakar		
Suhu maksimum permukaan pelat, °C	145	146
Suhu maks di tengah bahan bakar pada daya nominal (awal siklus), °C	175	154
Suhu maks di tengah bahan bakar pada daya nominal (akhir siklus), °C	200	187
Suhu maksimum di tengah bahan bakar pada daya lebih (akhir siklus), °C	207	192
Stabilitas Aliran		
Marjin keselamatan min. pada daya nominal	3,38	3,01
Marjin keselamatan min. pada daya lebih	2,67	2,31
Marjin keselamatan min. untuk desain transien dan transien yang telah diantisipasi	1,48	1,48

Model Perhitungan dengan Coolod-N

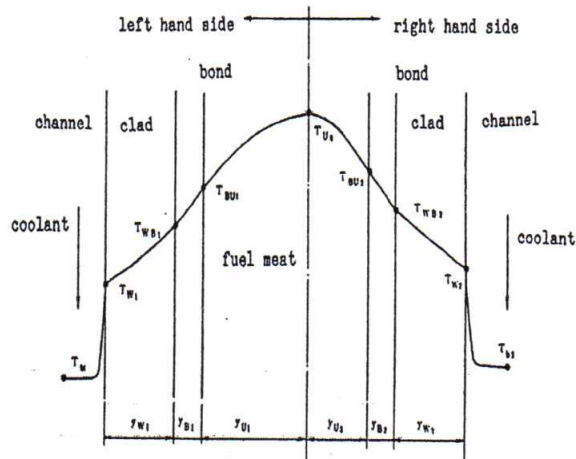
Program perhitungan komputer (code) Coolod-N adalah suatu program komputer yang dipergunakan untuk perhitungan distribusi suhu dua dimensi, yaitu arah radial (y, arah ketebalan meat dan pelat) dan arah aksial (z, arah panjang atau tinggi pelat). Perhitungan dilakukan dengan cara mengasumsikan pembangkitan panas di dalam meat bahan bakar konstan ke arah radial ($Q = q''y_U = \text{konstan}$) atau hanya terjadi konduksi panas satu dimensi. Adapun distribusi suhu pelat bakar arah aksial dihitung dari suhu *bulk* pendingin lokal dan distribusi daya aksial (faktor aksial) seperti tertera pada Gambar 1. Sedangkan Gambar 2, menunjukkan model perhitungan distribusi suhu di dalam pelat bakar, yaitu dari arah luar (pendingin) ke dalam (pelat dan meat).

Jika kondisi pendinginan antara sisi kanan dan kiri pelat bahan bakar berbeda, maka code komputer Coolod-N akan menghitung suhu maksimum meat bahan bakar sampai suhu maksimum meat bahan bakar tersebut sama antara sisi kanan dan kiri dengan mengubah lokasi titik suhu maksimum. Tetapi jika kondisi pendinginan sisi kanan

dan kiri dari pelat bahan bakar sama, maka suhu maksimum bahan bakar akan terletak di tengah meat bahan bakar.



Gambar 1. Contoh distribusi daya aksial (faktor aksial) yang digunakan di dalam code Coolod-N

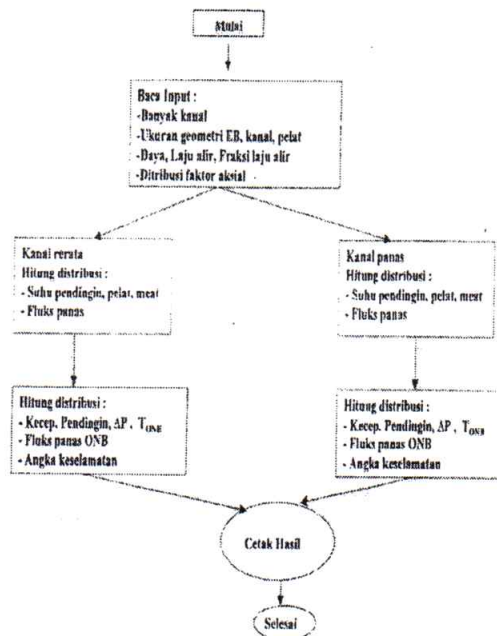


Gambar 2. Model perhitungan pelat bahan bakar

Di dalam code Coolod-N, terdapat beberapa paket perhitungan perpindahan panas (*heat transfer package*) yang dapat dipergunakan untuk analisis termohidrolika reaktor riset. Adapun beberapa persamaan yang digunakan di dalam perhitungan untuk analisis reaktor RSG-GAS yang menggunakan pendinginan sirkulasi paksa (*forced convection*) dengan arah aliran dari atas ke bawah (*downward flow*) disajikan dalam lampiran.

METODOLOGI

- a) Studi literatur desain RSG-GAS pada SAR rev.7, LAK rev.10,
- b) Pelatihan menggunakan paket program Coolod-N *under* Windows.
- c) Menyiapkan *inputan* data Coolod-N, yaitu parameter desain teras, elemen bakar, dan pendingin.
- d) Menjalankan program Coolod-N. Alur pemrograman ditunjukkan seperti diagram alir berikut ini.
- e) Menghitung distribusi suhu dan margin keselamatan menggunakan Coolod-N dan hasil-hasil lainnya.
- f) Membuat kesimpulan.



Gambar 3. Diagram alir perhitungan dengan code Coolod-N.

HASIL

a. Inputan Coolod-N, sebagai berikut:

```

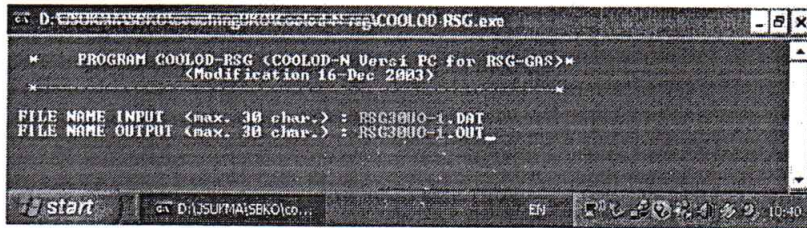
1.                               INPUT DATA CARD IMAGE
2. PERHITUNGAN TERMOHIDROLIKA RSG-GAS
3. C <CARD B1> INFORM
4.                               1
5. C <CARD B2> IAMAX IMAX JMAX NMAX NPLOT KEY(1) KEY(2) KEY(3)
6.                               1   5  13  1   0   1   2   0
7. C <CARD C> QRR(MW) PFLOW   TIN(DEG) DT(DEG) JAMX
8.                               30.0  712.0  40.5  0.0  1
9. C <CARD E1> H1 H2 H3 A B C D ITWC
10.                              0.023 0 0 0.8 0.4 0 0 1
11. C <CARD E2> FRATE   VIN VOUT PRESIN RAMF
12.                              0.87   0.0 0.0 2.036 0.0
13. C <CARD F1> FUEL ELEMENT TITLE
14.                               ELEMEN BAKAR STANDAR
15. C <CARD F2> NPMX NFUEL MA UDENST POROTY IDPMX IDCMX EAREA FRATEN
16.                               1  45.714 2 2.96  0.06  1  1  35.94 1.0
17. C <CARD F22> NUAL TUAL(1) UAL(1) TUAL(2) UAL(2)
18.                               2  60.0 1.07 145 1.07
19. C <CARD F3> FR FCOOL FFILM FHFLX FCLAD FBOND FMEAT
20.                               3.14 1.0  1.0 1.0  1.0  1.0  1.0
21. C <CARD F4> FZ DDZ ZET
22.                               0.0001 5.0 0.0
23.                               0.4400 5.0 0.0
24.                               0.8500 5.0 0.0
25.                               1.2021 5.0 0.0
26.                               1.4722 5.0 0.0
27.                               1.6421 5.0 0.0
28.                               1.7001 5.0 0.0
29.                               1.6421 5.0 0.0
30.                               1.4722 5.0 0.0
31.                               1.2021 5.0 0.0
32.                               0.8500 5.0 0.0
33.                               0.4400 5.0 0.0
34.                               0.0001 5.0 0.0
35. C <CARD F51> FUEL PLATE TITLE
36.                               Elemen Bakar Terpanas
37. C <CARD F52> NPLATE FLOC IDPL KMX IPLOT IOUT
38.                               21  1.0 1 1 0 1
39. C <CARD F53> ICHL(1) NHEAT(1) FRATEC(1) ICHL(2) NHEAT(2) FRATEC(2)
40.                               1  2  1.0
41. C <CARD F6> XA XB XC YA HA HB HC
42.                               0.027 0.027 0.065 6.275 1.25 60.0 1.25
43. C <CARD F74> XCHI YCHI MSFLW
44.                               6.71 0.255 6
45. C <CARD F75> ZETA DH ZLAM HDE AR
46.                               0.5  0.0 0.0  7.1141 50.7947
47.                               0.0  4.95 56.9  7.1141 50.7947
48.                               0.0  4.6  56.9  7.1141 50.7947
49.                               0.329 0.0 0.0  4.78  17.945
50.                               0.0 14.95 64.0  4.78  17.945
51.                               1.0  0.0 0.0  4.78  17.945
52. C <CARD G1> KVELO JUMAX JLMAX IHTC KBFLG NCMAX NATIP
53.                               1  2  4  3  0  0  0
54. C <CARD G4> ((JMSH(NN,NNP,JJ,KK),NNP=1,NPMAX),KK=1,KMAX)
    
```

```

55. 1
56. 2
57. 3
58. 4
59. 5
60. 6
61. C <CARD G6> IDBG
62. 00000 00000 00000 00000 00000
63. 00000 00000 00000 00000 00000
    
```

Penjelasan mengenai kode dalam program disajikan dalam lampiran 2.

b. Menjalankan program (Running):



c. Data-data hasil eksekusi program:

```

0          *** PRIMARY COOLANT ***
REACTOR INLET TEMPERATURE = 40.50 C
REACTOR OUTLET TEMPERATURE = 50.58 C
PRIMRY TEMPERATURE DIFFERENCE= 10.08 C
PRIMARY COOLANT FLOW RATE = 712.00 KG/S
0          *** REACTOR CORE ****
REACTOR THERMAL POWER = 30.00 MW
AREA OF TOTAL FUEL CHANNELS = 1642.96 CM2

NUMBER OF FUEL ELEMENTS = 45.7 ELEMNTS

AVERAGE HEAT GENERATION = 1537.07 (W/CM3)
AVERAGE MASS FLUX = 3770.266 (KG/M2 SEC)
    
```

AVERAGE CHANNEL TEMPERATURE DISTRIBUTION

```

FLOW CHANNEL AREA = 35.94 CM2
NUMBER OF FUEL PLATES
Elem= 21.0
    
```

TEMPERATURE DISTRIBUTION

J	COOLANT SURFACE (DEG.C)	CLADDING SURFACE (DEG.C)	CLADDING INNER (DEG.C)	F. MEAT OUTER (DEG.C)	FUEL MEAT MAXIMUM (DEG.C)
1	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50
2	40.71	50.14	50.46	50.46	50.69
3	41.34	59.45	60.07	60.07	60.52
4	42.33	67.74	68.62	68.62	69.25
5	43.62	74.41	75.49	75.49	76.26
6	45.12	79.03	80.23	80.23	81.09
7	46.73	81.35	82.59	82.59	83.48
8	48.35	81.30	82.50	82.50	83.36

9	49.85	78.99	80.06	80.06	80.83
10	51.14	74.72	75.60	75.60	76.23
11	52.13	68.69	69.31	69.31	69.76
12	52.75	61.29	61.61	61.61	61.84
13	52.96	52.97	52.97	52.97	52.97

** HOT CHANNEL FACTORS (EXCEPT FZ) **
 F(COOLANT)= 1.000 F(FILM)= 1.000 F(CLAD)= 1.000 F(BOND)= 1.000 F(MEAT)= 1.000

HEAT TRANSFER CONDITION						
J	FZ	TRANSFER		HEAT FLUX		HEAT
		COEFFICIENT (W/CM2.C)	IN PLATE SURFACE (W/CM2)	(KC/M2.HR)	XAA (CM)	GENERATION (W/CM3)
1	0.000	1.9338	0.004	0.35678E+02	0.027	0.154
2	0.440	1.9371	18.260	0.15698E+06	0.027	676.311
3	0.850	1.9469	35.276	0.30326E+06	0.027	1306.510
4	1.202	1.9627	49.888	0.42888E+06	0.027	1847.713
5	1.472	1.9840	61.098	0.52524E+06	0.027	2262.876
6	1.642	2.0095	68.149	0.58586E+06	0.027	2524.024
7	1.700	2.0381	70.556	0.60655E+06	0.027	2613.175
8	1.642	2.0678	68.149	0.58586E+06	0.027	2524.024
9	1.472	2.0967	61.098	0.52524E+06	0.027	2262.876
10	1.202	2.1157	49.888	0.42888E+06	0.027	1847.713
11	0.850	2.1299	35.276	0.30326E+06	0.027	1306.510
12	0.440	2.1390	18.260	0.15698E+06	0.027	676.311
13	0.000	2.1421	0.004	0.35678E+02	0.027	0.154

1 COOLOD-RSG THERMAL HYDRAULIC CALCULATION CASE = (IA- 1 JA- 1)
 CALCULATION DATE 2009- 9-17 PAGE 4

Eleme (elemen bakar standar)

CHANNEL DIMENSION = 6.710 * 0.255 (CM)
 CHANNEL VELOCITY = 383.74 (CM/SEC)

TEMPERATURE DISTRIBUTION					
J	COOLANT (DEG.C)	CLADDING		F. MEAT	FUEL MEAT
		SURFACE (DEG.C)	INNER (DEG.C)	OUTER (DEG.C)	MAXIMUM (DEG.C)
1	40.50	40.51	40.51	40.51	40.51
2	41.17	70.66	71.67	71.67	72.39
3	43.12	99.19	101.13	101.13	102.53
4	46.23	123.44	126.19	126.19	128.17
5	50.29	134.51	137.89	137.89	140.31
6	55.00	138.48	142.25	142.25	144.95
7	60.06	139.79	143.69	143.69	146.49
8	65.12	139.44	143.20	143.20	145.90
9	69.83	137.30	140.68	140.68	143.10
10	73.87	132.57	135.32	135.32	137.30
11	76.97	121.01	122.96	122.96	124.35
12	78.92	101.44	102.45	102.45	103.17
13	79.59	79.59	79.59	79.59	79.59

**** HOT CHANNEL FACTORS (EXCEPT FZ) ****

F(COOLANT)= 3.140 F(FILM)= 3.140 F(CLAD)= 3.140 F(BOND)= 3.140 F(MEAT)= 3.140

HEAT TRANSFER CONDITION						
J	FZ	TRANSFER	HEAT FLUX		HEAT	
		COEFICIENT (W/CM2.C)	IN PLATE SURFACE (W/CM2)	(KC/M2.HR)	XAA (CM)	GENERATION (W/CM3)
1	0.000	1.9338	0.013	0.11203E+03	0.027	0.483
2	0.440	1.9442	57.338	0.49292E+06	0.027	2123.618
3	0.850	1.9758	110.766	0.95223E+06	0.027	4102.443
4	1.202	2.0291	156.649	0.13467E+07	0.027	5801.820
5	1.472	2.2778	191.847	0.16493E+07	0.027	7105.432
6	1.642	2.5633	213.987	0.18396E+07	0.027	7925.437
7	1.700	2.7787	221.545	0.19046E+07	0.027	8205.369
8	1.642	2.8794	213.987	0.18396E+07	0.027	7925.437
9	1.472	2.8433	191.847	0.16493E+07	0.027	7105.432
10	1.202	2.6689	156.649	0.13467E+07	0.027	5801.820
11	0.850	2.5156	110.766	0.95223E+06	0.027	4102.443
12	0.440	2.5463	57.338	0.49292E+06	0.027	2123.618
13	0.000	2.5571	0.013	0.11203E+03	0.027	0.483

1 COOLOD-RSG THERMAL HYDRAULIC CALCULATION CASE = (IA- 1 JA- 1)
CALCULATION DATE 2009- 9-17 PAGE 5

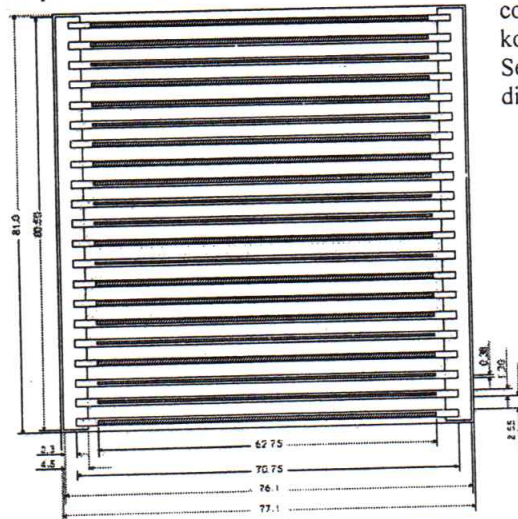
Elem (PRESSURE , ONB & DNB CONDITION)

	PRESSURE AT Z (kg/cm2A)	PRESSURE LOSS (kg/cm2)	TOTAL LOSS (kg/cm2)	COOLANT VELOCITY (cm/sec)	TSAT (C)	TONB (C)	TCLAD (C)	DTONB	CLAD	HEAT FLUX (W/CM2)		
										QONB	QDNB	DNBR DNB
INLET PLENUM	2.036			0.00								
STRETCH(1) INLET	1.981	0.01830	0.01830	268.89								
STRETCH(1) OUT	1.981	0.00000	0.01830	268.89								
STRETCH(2) INLET	1.981	0.00000	0.01830	268.89								
STRETCH(2) OUT	1.986	0.00037	0.01867	268.89								
PLATE ENTRANCE	1.938	0.01069	0.02936	380.03								
FUEL PLATE ZONE 1	1.935	0.00443	0.03379	380.03	118.58	131.21	40.51	90.70	0.01	175.34	705.62*****	3.0
FUEL PLATE ZONE 2	1.923	0.01771	0.05150	380.14	118.37	131.02	70.66	60.36	57.34	174.61	701.05	12.23 3.0
FUEL PLATE ZONE 3	1.910	0.01766	0.06910	380.46	118.17	130.80	99.19	31.62	110.77	173.14	690.38	6.23 3.0
FUEL PLATE ZONE 4	1.897	0.01758	0.08648	380.96	117.96	130.56	123.44	7.13	156.65	171.03	674.24	4.30 3.0
FUEL PLATE ZONE 5	1.885	0.01746	0.10358	381.62	117.76	130.31	134.51	-4.21	191.85	168.27	653.65	3.41 3.0
FUEL PLATE ZONE 6	1.873	0.01734	0.12037	382.52	117.57	129.95	138.48	-8.53	213.99	162.79	629.94	2.94 3.0
FUEL PLATE ZONE 7	1.862	0.01720	0.13685	383.48	117.37	129.57	139.79	-10.22	221.54	156.60	604.63	2.73 3.0
FUEL PLATE ZONE 8	1.850	0.01712	0.15350	384.55	117.18	129.14	139.44	-10.30	213.99	149.18	579.30	2.71 3.0
FUEL PLATE ZONE 9	1.838	0.01705	0.17001	385.55	116.98	128.69	137.30	-8.61	191.85	141.83	555.62	2.90 3.0
FUEL PLATE ZONE 10	1.827	0.01699	0.18651	386.51	116.79	128.23	132.57	-4.34	156.65	134.15	535.11	3.42 3.0
FUEL PLATE ZONE 11	1.815	0.01694	0.20302	387.24	116.59	127.81	121.01	6.80	110.77	127.81	519.05	4.69 3.0
FUEL PLATE ZONE 12	1.804	0.01691	0.21962	387.71	116.39	127.47	101.44	26.03	57.34	123.55	508.45	8.87 3.0
FUEL PLATE ZONE 13	1.792	0.01690	0.23641	387.87	116.18	127.22	79.59	47.63	0.01	121.75	503.91*****	3.0
WORST CONDITION	1.789				116.13	127.17			221.54	121.63	503.91	2.27 3.0
PLATE EXIT	1.789	0.00423	0.24063	387.87								
STRETCH(3) INLET	1.820	0.00638	0.24701	274.44								
STRETCH(3) OUT	1.824	0.00031	0.24733	274.44								
STRETCH(4) INLET	1.562	0.00000	0.24733	776.82								
STRETCH(4) OUT	1.562	0.00000	0.24733	776.82								
STRETCH(5) INLET	1.464	0.09846	0.34579	776.82								
STRETCH(5) OUT	1.467	0.01089	0.35668	776.82								
STRETCH(6) INLET	1.467	0.00000	0.35668	776.82								
STRETCH(6) OUT	1.467	0.00000	0.35668	776.82								
OUTLET PLENUM	1.467	0.29927	0.65596	0.00								

----- DNBID=1 LABUNTSOV WITH ZERO SUBCOOLING ---- DNBID=2 MIRSHAK , DURANT & TOWEL ---- DNBID=3 BERNATH CORRELATION ----

PEMBAHASAN

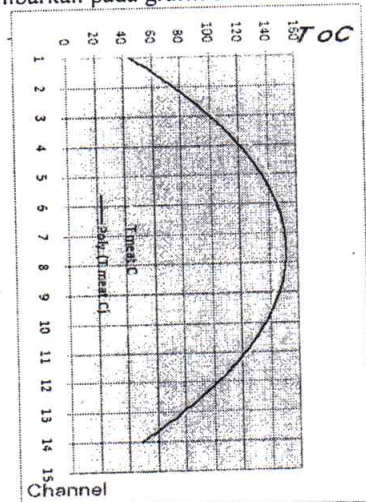
Data masukan code telah disederhanakan yakni INFORM 1, IAMAX 1 sehingga QRR juga diisi dengan hanya daya nominal 30 MW. Pembagian segmen arah z (aksial) pada JMAX adalah 13, data ini dapat diubah lebih halus misal dengan 21, dst dan bagian CARD F4 juga harus mendapat data FZ yang sesuai. Data pada FZ dimasukkan berdasar hitungan sinusoidal. Data desain yang harus secara cermat dihitung juga terdapat pada bagian mekanis atau dimensi dari pelat EB dan teras yaitu data pada CARD F6 dan CARD F75. Data mekanis pelat EB RSG-GAS ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Elemen Bakar RSG-GAS (21 plat)

Beberapa hasil yang sama atau mendekati yang diperoleh dengan code Coolod, diantaranya: selisih kenaikan suhu, kerapatan fluks daya, jumlah aliran massa, temperature permukaan pelat EB, dst. Sedangkan data parameter yang masih berbeda terdapat pada temperatur maksimum pelat EB dan nilai *safety margin* reaktor. Hasil perhitungan code yang diperbandingkan dengan data SAR RSG-GAS rev.7 selengkapnya disajikan dalam tabel berikut ini.

Nilai eta dari running code sebenarnya dapat pula ditampilkan dengan mengubah masukan pada CARD G1, yaitu IHTC diganti dengan masukan 4. Sedangkan DNBR yang diperoleh dapat diambil dari tabel data keluaran code bagian terakhir, yaitu nilai terkeci pada kolom DNBR. DNBR diperoleh sebesar 2,71. Sedangkan distribusi suhu hasil code dapat digambarkan pada grafik berikut ini.



Gambar 4. Distribusi suhu pada meat EB hasil Coolod-N

Tabel 2. Perbandingan parameter thermohidrolika hasil Coolod-N terhadap data SAR Rev.7

HASIL COOLOD-N	SAR REV. 7
*** Primary Coolant *** Reactor Inlet Temperature = 40.50 C Reactor Outlet Temperature = 50.58 C Primary Temperature Difference = 10.08 C	Coolant temp & flow Nominal inlet temperature = 40.5 C Average temp. at core outlet = 50,5 Average temp. rise across core = 10.0 K

Primary Coolant Flow Rate Eff = 712.00 kg/s *** Reactor Core **** Reactor Thermal Power = 30.00 MW Area Of Total Fuel Channels = 1642.96 cm ² elemen bakar standar = 45.7 (ELEMENTS) Average Heat Generation = 1537.07 (W/cm ³) Average Mass Flux = 3762.646 (kg/m ² sec)	Eff flow rate fuel plate cooling = 618 kg/s Reactor core heat output = 30 MW Eff flow area for heat transfer = 0,1643 m ² Average power density = 1537 W/cm ³ Average mass velocity in core = 3761 kg/m ² s
Channel velocity = 384.55 cm/sec Temp distr cladding surface = 144.27 C Temp distr fuel meat maks = 146.5 C Heat trans cond, heat generation = 8205.369 W/cm ³ Heat flux in plate surface = 221.545 W/cm ²	Average coolant v along fuel plates = 3.7 m/s Max plate surface temp = 145 C Max central fuel temp at rated power = 175 C Max power density = 8210 W/cm ³ Max heat flux for normal operation = 221.7e+4 W/m ²
Hasil perhitungan: $n = \frac{[T_{1s}(z) - T_{1c}(z)] / (q''(z) \cdot V(z))}{221.545}$ $n = \frac{[117.37 - 70.556]}{221.545} = 383.48$ $n = 81.03$ $S = \frac{n}{n_c} = \frac{81.03}{22.1}$ $S = 3.67$	Min safety margin at rate power = 3.38

KESIMPULAN

COOLOD-N digunakan untuk perhitungan distribusi suhu arah radial dan arah aksial pada elemen bakar dalam teras reactor. RSG-GAS dengan EB berbentuk pelat-pelat U3O8-Al (awal operasi) dan teras reactor bentuk persegi dengan desain laju alir 860 kg/s, setelah dihitung dengan Coolod-N yang dikhususkan untuk RSG-GAS dengan daya nominal 30 MW maka distribusi suhu maksimum (hotspot channal) terdapat pada segmen ke-7 yaitu 146,5 C. Nilai ini masih jauh di bawah batas keselamatan yang didesain pada SAR Rev. 7. Akan tetapi safety margin yang dihasilkan masih berada di atasnya yakni S = 3,67. Beberapa parameter lainnya yang masih memberikan nilai

berbeda atau mendekati akan kami analisis pada kajian berikutnya. Hasil ini telah menunjukkan bahwa Coolod-N bisa diterapkan untuk RSG-GAS dan verifikasi dapat dilakukan oleh personil PRSG secara mandiri sebagai alih kemampuan para pengendali keselamatan reaktor.

PUSTAKA

1. Muh. Darwis Isnaeni, Program Komputer (code) Coolod-N untuk Analisis Termohidrolika Kondisi Tunak pada Reaktor Riset Berbahan Bakar tipe pelat, Coaching Keselamatan Operasi RSG-GAS, PRSG, April, 2009.
2. Anonim, SAR RSG-GAS Rev. 7, PRSG, 1989.

- (8) Model Penentuan batas keselamatan terhadap ketidak-stabilan aliran, digunakan persamaan :

$$S = \frac{\eta}{\eta_c} \quad \text{dimana, } \eta = \frac{[(T_s(z) - T_c(z)) / (q''(z))] V(z)}$$

T_s : suhu saturasi, °C T_c : suhu bulk pendingin, °C

V : kecepatan pendingin, cm/det

q'' : fluks panas, W/cm

z : jarak dari kanal masukan pendingin, cm

η_c : parameter pelepasan gelembung kritis, yang besarnya ditetapkan 22,1 cm³ K/J.

Lampiran 2:

Input data information for COOLOD-N2

TITL : Title for the calculation
 INFORM : Index for input data format (I)
 IAMAX : Number of calculation cases (I) ($1 \leq IAMAX \leq 10$)
 IMAX : Number of calculation points in fuel meat radial direction (I)
 JMAX : Number of calculation points for fuel plate axial direction (I)
 NMAX : Number of different fuel elements in the core (I) ($1 \leq NMAX \leq 5$)
 NPLOT : Plot option of calculation results (I)
 IDMAX : Number of division in cladding region <CARD C> Thermal-hydraulic parameter (Free format)
 QRR : Reactor thermal power (MW) (R)
 PFLOW : Primary coolant flow rate or average coolant velocity in the core (R)
 TIN : If KEY(1)=1 then the Primary coolant core inlet temperature ($^{\circ}\text{C}$) (R)
 DT : Increment of inlet temperature "TIN" ($^{\circ}\text{C}$) (R)
 JAMX : Number of calculation cases for "DT" (I) (Normally : =1)
 H₁, H₂, H₃, A, B, C, D, ITWC :
 ITWC : Standard temperature for property (I)
 FRATE : FRATE = (Effective flow rate for fuel plates cooling) / (Primary coolant flow rate) (-) (R)
 VIN : Coolant velocity in the inlet plenum (cm/s) (R)
 VOUT : Coolant velocity in the outlet plenum (cm/s) (R)
 PRESSIN : Core inlet pressure (kg/cm²abs) (R)
 RAMF : Index for straight pipe friction loss for turbulent flow (R)
 NPMX : Number of different fuel plates in this kind of fuel element (I) (Different cooling condition, different configuration) ($1 \leq NPMX \leq 15$)
 NFUEL : Number of this kind of fuel elements in the core (R)
 MA : Index for fuel meat material (I)
 UDENST : Uranium density in meat (g/cm³) (R) (For U-Al and U-Al_x dispersion type fuel)
 POROTY : Porosity (-) (R) (For U-Al_x dispersion type fuel)
 IDPMX : Number of different configuration fuel plates in this kind of fuel element (I) ($1 \leq IDPMX \leq 5$) (Number of **CARD F6**)
 IDCMX : Number of different configuration flow channels in this kind of fuel element (I) ($1 \leq IDCMX \leq 5$) (Number of **CARD F70**, **CRAD F74** or **CARD F76**)
 EAREA : Effective flow area for this kind of fuel element (cm) (R)
 FRATEN : Flow rate distribution factor for this kind of fuel element (-) (R)
 FRATEN : = (Flow rate of this kind of fuel element) / (Average flow rate of fuel element)
 NUAL : Number of data sets (I)
 TUAL : Temperature ($^{\circ}\text{C}$) (R)
 UAL : Thermal conductivity of the fuel meat (W/cm K)

FR	: Radial peaking factor (F_R (radial) \times F_E (uncertainty)) (R)
FCCOL	: Engineering peaking factor for bulk coolant temperature rise (R) (F_b)
FHFLX	: Engineering peaking sub-factor for heat flux (R) (This sub-factor is used in the calculation of DNBR)
FFILM	: Engineering peaking factor for film temperature rise (R) (F_f)
FCLAD	: Engineering peaking factor for clad temperature rise (R)
FBOND	: Engineering peaking factor for bond temperature rise (R)
FMEAT	: Engineering peaking factor for fuel meat temperature rise (R)
FZ	: Axial peaking factor (R)
DDZ	: Distance from point _i (M_i) to point _{i+1} (M_{i+1}) or a segment length (R)
ZET	: Resistance coefficient at point _i ($M_i). (R) (Normally : = 0.0)$
NPLATE	: Number of this kind of fuel plates in this kind of fuel element (R)
FLOCL	: Local peaking factor (R)
IDPL	: Identity number of fuel plate configuration (I) (See CARD F6)
KMX	: Index for cooling condition of fuel plate (I)
ICHL	: Identity number of channel configuration (I)
NHEAT	: Coolant condition (R)
FRATEC	: Flow rate distribution factor for this kind of channel (R)
XA	: Half thickness of fuel meat for plate-type fuel (cm) (R)
XB	: Distance between fuel meat center and clad inner surface for plate-type fuel
XC	: Distance between fuel meat center and clad outer surface for plate-type fuel (cm) (R) (Half thickness of fuel plate)
YA	: Width of fuel meat for plate-type fuel (cm) (R)
HA	: Distance between inlet of channel and top(bottom) of fuel meat (pellet) (cm) (R)
HB	: Length of fuel meat (fueled region) (cm) (R)
HC	: Distance between outlet of channel and bottom(top) of fuel meat (pellet) (cm) (R)
YCHI	: Gap(thickness) of coolant channel (cm) (R)
XCHI	: Width of coolant channel (cm) (R)
ZETA(1)	: Resistance coefficient of fuel element entrance (STRETCH(1)) (R)
DH(1)	: Distance between fuel element entrance and fuel plate entrance (cm) (R)