

ANALISIS ASPEK TERMOHIDROLIKA PADA DESAIN AWAL BAHAN BAKAR REAKTOR RISET INOVATIF DENGAN DAYA TINGGI

Endiah Puji Hastuti, Surip Widodo
endiah@batan.go.id; suripw@batan.go.id

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir-BATAN
Gedung 80, Kawasan PUSPIPTEK, Serpong, Tangerang 15310

ABSTRAK

ANALISIS ASPEK TERMOHIDROLIKA PADA DESAIN AWAL BAHAN BAKAR REAKTOR RISET INOVATIF DENGAN DAYA TINGGI. Untuk mencapai fluks neutron 5×10^{14} n/cm²s diperlukan desain reaktor menggunakan D₂O sebagai reflektor, selain itu juga diperlukan teras yang kompak. Reaktor riset inovatif didesain dengan daya 50 MW, hal ini berakibat diperlukannya kecepatan pendingin yang cukup tinggi. Desain awal bahan bakar tipe pelat berbahan bakar U-7Mo/Al pengayaan rendah dengan geometri lebar, tebal dan tinggi meat masing masing 67,1x1,3x700 mm. Perhitungan dilakukan menggunakan program perhitungan COOLOD-N2 dengan metode *trial and error* dengan batasan kriteria desain terhadap *safety relevant* yaitu DNBR, OFIR dan rasio kecepatan pendingin VR, serta *non safety relevant* yaitu TONB. Hasil analisis menunjukkan bahwa tipe reaktor tidak berupa *open pool* melainkan harus berupa reaktor bertekanan. Parameter input Pin 8 kgf/cm² (4,13 s/d 8,27 bar) dengan laju alir teras 900 kg/s akan menghasilkan kecepatan pendingin 9,98 m/s, Tin 40,5oC akan menghasilkan ΔT 13,28oC, DNBR dan TONB memenuhi kriteria, sedangkan OFIR 1,07. Dibandingkan dengan CARR yang didesain pada daya 60 MW, desain RRI masih perlu ditingkatkan.

Kata kunci: desain awal bahan bakar, aspek termohidrolika, reaktor riset inovatif

ABSTRACT

THERMAL HYDRAULICS ASPECT ANALYSIS of FUEL ELEMENT PRELIMINARY DESIGN of INNOVATIVE RESEARCH REACTOR on HIGH POWER. In accordance to reached neutron flux of 5×10^{14} n/cm²s, it needs to use D₂O as reactor reflector and compact core. Innovative research reactor is designed to power of 50 MW, therefore, needs for high coolant velocity. Preliminary design of fuel element U-7Mo/Al with low enriched uranium, have meat geometry of width, thickness and length each are 67.1x1.3x700 mm, respectively. The calculation is done using the calculation program COOLOD-N2 with trial and error method to limit the design criteria for the relevant safety DNBR, OFIR and VR, as well as the non safety relevant, TONB. Analyzed results show that reactor design must be pressurized reactor type instead of open pool type. Input parameters of Pin 8 kgf/cm² (4.13 to 8.27 bar) with 900 kg/s core flow rate, give result in coolant velocity of 9.98 m/s, while Tin 40.5oC give result of ΔT 13.28oC at normal condition, DNBR and TONB meet criteria, while OFIR 1.07. Comparing with CARR that designed to power 60 MW, RRI design still needs to be improved.

Keywords: fuel element preliminary design, thermal hydraulic aspect, innovative research reactor

PENDAHULUAN

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir (PTRKN-BATAN) sesuai Renstra 2010-2014 dan TUSInya melaksanakan kegiatan untuk mendesain reaktor riset inovatif. Sesuai dengan dokumen kriteria pengguna (*UCD=User Criteria Document*) yang telah disusun, reaktor riset ini mensyaratkan tersedianya fluks neutron termal rerata sebesar 5×10^{14} n/cm²s[1] Dari hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya daya maksimum yang dizinkan hanya 20 MW, apabila menggunakan bahan bakar U-7Mo/Al dengan dimensi yang sama dengan geometri bahan bakar RSG-GAS[2,3]. Untuk mencapai fluks neutron seperti yang diharapkan diperlukan desain reflektor menggunakan D₂O selain itu juga diperlukan teras yang kompak, yang berakibat densitas daya menjadi sangat tinggi, sehingga memerlukan kecepatan pendingin yang jauh lebih tinggi dibandingkan yang ada di RSG GAS pada saat ini. Dalam analisis ini disampaikan hasil desain awal bahan bakar reaktor riset sebagai langkah untuk mengatasi transfer panas akibat densitas daya yang demikian tinggi.

Desain suatu reaktor dibatasi oleh kemampuan sistem pendingin dalam mengambil dan memindahkan panas yang dibangkitkan. UCD reaktor riset inovatif mensyaratkan bahwa desain konfigurasi teras harus dapat memenuhi fluks neutron termal sebesar 5×10^{14} n/cm²s, berbentuk teras kompak dan menggunakan bahan bakar UMo dengan tingkat muat uranium tinggi (7-9 gU/cm³). Bentuk teras dan daya sesuai persyaratan UCD diperkirakan akan menghasilkan pembangkitan panas yang tinggi. Oleh sebab itu dari sejak awal desain konfigurasi teras dilaksanakan, desain termohidrolika juga harus dilakukan secara paralel dan interaktif. Analisis kemampuan pengambilan panas di dalam teras reaktor sesuai desain dengan konfigurasi bahan bakar yang dihasilkan, akan menjadi umpan balik bagi desain konfigurasi teras reaktor, hingga diperoleh kesesuaian antara desain konfigurasi dan kemampuan pengambilan panasnya. Implementasi reaktor inovasi telah diterapkan pada berbagai reaktor riset baru yang saat ini telah dan sedang dibangun. Berbagai upaya dilakukan untuk memperoleh fluks neutron yang tinggi dengan daya reaktor yang diupayakan rendah, seperti penggunaan teras reaktor dengan susunan bahan bakar yang lebih kompak, dan penggunaan moderator air berat D₂O. Reaktor riset baru berbahan bakar pelat paralel dengan daya tinggi seperti *China Advanced Research Reactor (CARR)* menghasilkan fluks neutron termal sebesar 1×10^{15} n/cm²s, dengan kecepatan pendingin rerata sepanjang pelat sebesar 10,07 m/s[4].

Analisis ini bertujuan untuk menampilkan hasil desain awal elemen bakar reaktor riset berbentuk pelat paralel berbahan bakar U-7Mo/Al dengan tingkat muat 7 gU/cm³, sebagai bahan bakar dengan daya tinggi hingga mencapai 50MW. Desain awal bahan bakar dilakukan pada kondisi tunak menggunakan program perhitungan COOLOD-N2.

TEORI

1. Desain Konfigurasi Teras dan Bahan bakar

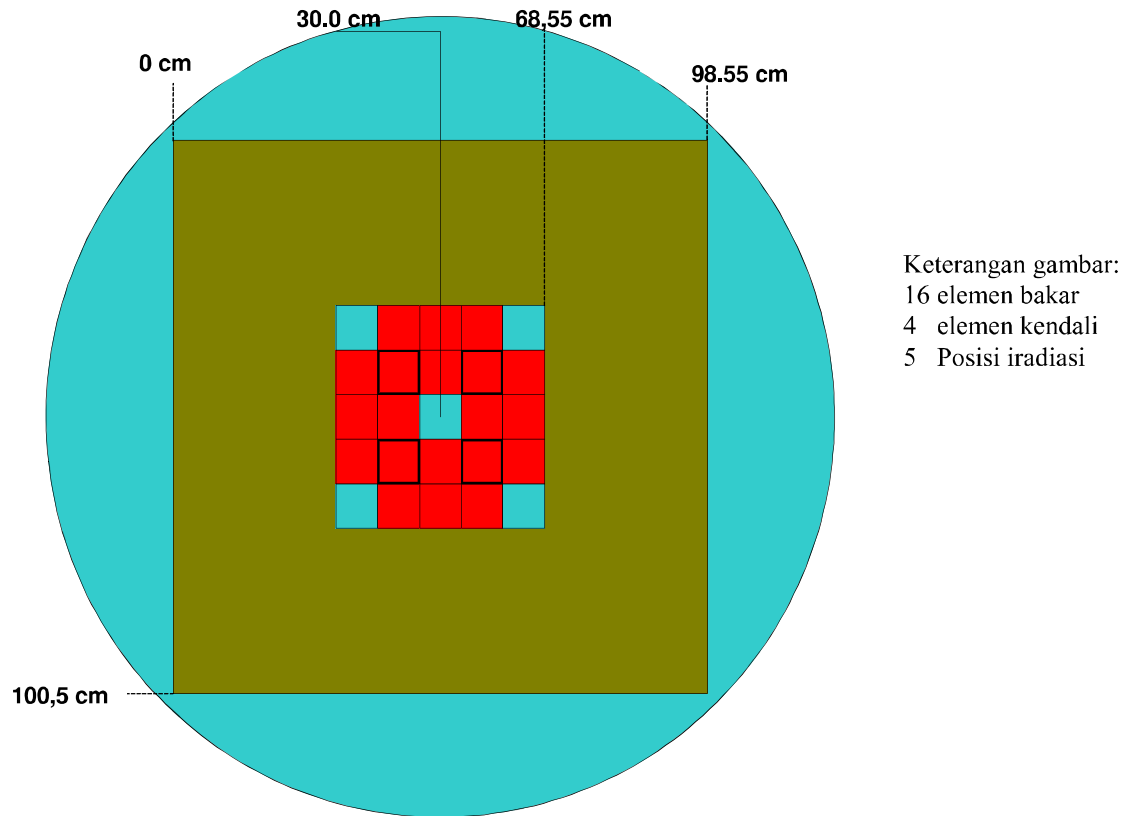
Desain konfigurasi teras reaktor riset inovatif telah dilakukan yang menghasilkan beberapa kandidat konfigurasi, seperti ditunjukkan pada Tabel 1[5].

Tabel 1. Data konfigurasi berbagai kandidat teras RRI

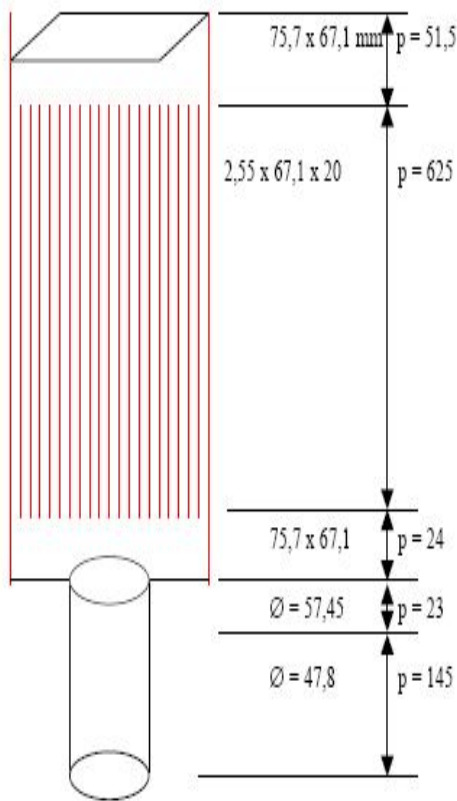
PARAMETER Neutronik	KONFIGURASI TERAS			
	5x5	6x5	6x6	5x7
Bentuk distribusi FA	<i>cosine</i>	<i>cosine</i>	<i>cosine</i>	<i>cosine</i>
FA	1,2	1,2	1,2	1,2
FR	3,0	3,0	3,0	3,0
Jumlah elemen bakar (EB)	16	20	24	20
Jumlah elemen kendali (EK)	4	5	6	6
Jumlah pelat EB	21	21	21	21
Jumlah pelat EK	15	15	15	15

Di antara keempat kandidat konfigurasi tersebut, kisi 5x5 merupakan kandidat terpilih dari aspek desain neutronik karena menghasilkan fluks neutron tertinggi, yaitu 5×10^{14} n/cm²s, fluks tersebut dibangkitkan dengan daya reaktor sebesar 50 MW, konfigurasi teras ditunjukkan pada Gambar 1. Teras reaktor dengan kisi 5x5 elemen teras berisi 16 buah elemen bakar (*FE=fuel element*), 4 elemen kendali (*CE=control element*), dan 5 buah posisi iradiasi (*IP=irradiation position*) untuk iradiasi di dalam teras. Pendingin mengalir dengan arah ke bawah (*downward*). Bahan bakar yang digunakan adalah jenis U-7Mo/Al pengayaan uranium 19,75% dengan tingkat muat 7 gU/cm³. Bahan bakar tipe pelat didesain mirip dengan bahan bakar RSG-GAS dengan tinggi bahan bakar (*meat*) didesain setinggi 700 mm. Jumlah pelat elemen bakar dalam 1 elemen bakar adalah 21 pelat, sedangkan jumlah

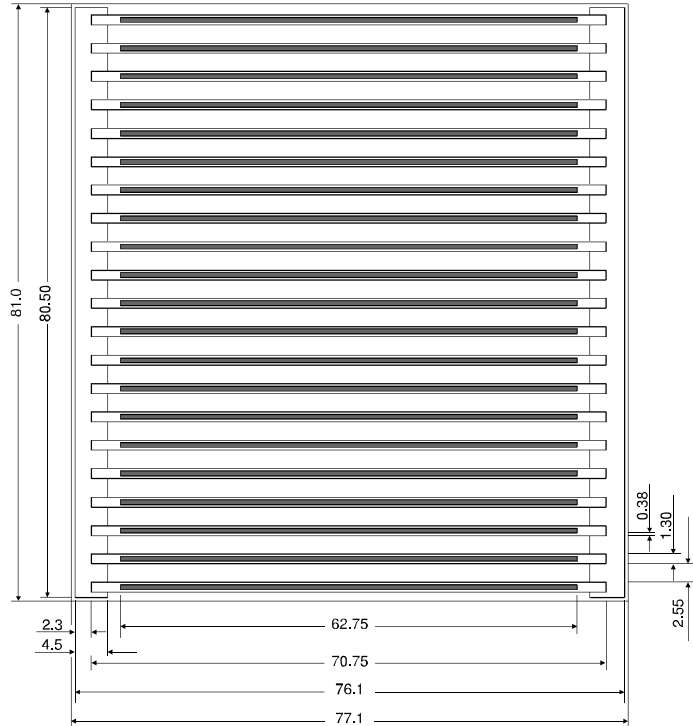
pelat di dalam elemen kendali adalah 15 pelat. Pada desain elemen kendali masing-masing 3 pelat yang berada di pinggir, diganti dengan absorber berbentuk persegi. Gambar 2a menunjukkan dimensi perangkat elemen bakar secara utuh, sedangkan tampang lintang atas bahan bakar ditunjukkan pada Gambar 2b.



Gambar 1. Konfigurasi teras RRI berukuran kisi 5x5



Gambar 2a. Dimensi elemen bahan bakar RRI



Gambar 2b. Tampak atas bahan bakar RRI

2. Kriteria Desain

Kelongsong bahan bakar merupakan penjaga/barier utama integritas kelongsong bahan bakar. Untuk mencegah terjadi kerusakan bahan bakar pada saat operasi normal kondisi tunak, maka integritas kelongsong harus dijaga dengan cara menetapkan batas keselamatan guna mencegah terjadinya fenomena *blister*. Berdasarkan hal tersebut keselamatan yang relevan (*safety relevant*) berikut ini diadopsi dalam desain keselamatan RRI[6], yaitu:

1. *Departure from Nucleate Boiling Ratio (DNBR)*. Akhir pendidihan inti merupakan perbandingan antara fluks panas yang menyebabkan terjadinya fenomena DNB dan fluks panas maksimum di dalam kanal panas (*hot channel*).

$$DNBR = q''_{DNB}/q''_{max} \geq 2,0 \quad (1)$$

2. *Onset of Flow Instability Ratio (OFIR)*. Rasio awal instabilitas aliran merupakan perbandingan antara daya yang terjadi pada fenomena instabilitas aliran (P_{OFI}) dan daya yang terintegrasi pada kanal panas ($P_{maks.}$).

$$OFIR = P_{OFI}/P_{maks.} \geq 1,0 \quad (2)$$

3. *Coolant velocity ratio (VR)*. Apabila aliran pendingin dengan kecepatan tinggi melewati suatu celah sempit di dalam kanal paralel, vibrasi pelat yang terjadi dapat menyebabkan defleksi pelat, *overheating* lokal dan memungkinkan terjadinya penyumbatan (*blockage*) dari kanal-kanal pendingin. Kecepatan kritis pendingin seperti ini harus dihindari. *Ratio* antara kecepatan pendingin di dalam kanal dan kecepatan kritis yang direkomendasikan[6], adalah:

$$VR = V_{channel}/V_{crit} \leq 2/3 \quad (3)$$

4. *Temperatur Onset of Nucleate Boiling (T_{ONB})*, merupakan fenomena yang terjadi sebelum terjadinya fenomena-fenomena kritis, sehingga fenomena ini merupakan peringatan dan dimasukkan sebagai *non safety relevant condition*. T_{ONB} didefinisikan

sebagai temperatur awal terjadinya pendidihan inti, sedangkan ΔT_{ONB} adalah margin temperatur terjadinya pendidihan inti.

3. Faktor kanal panas

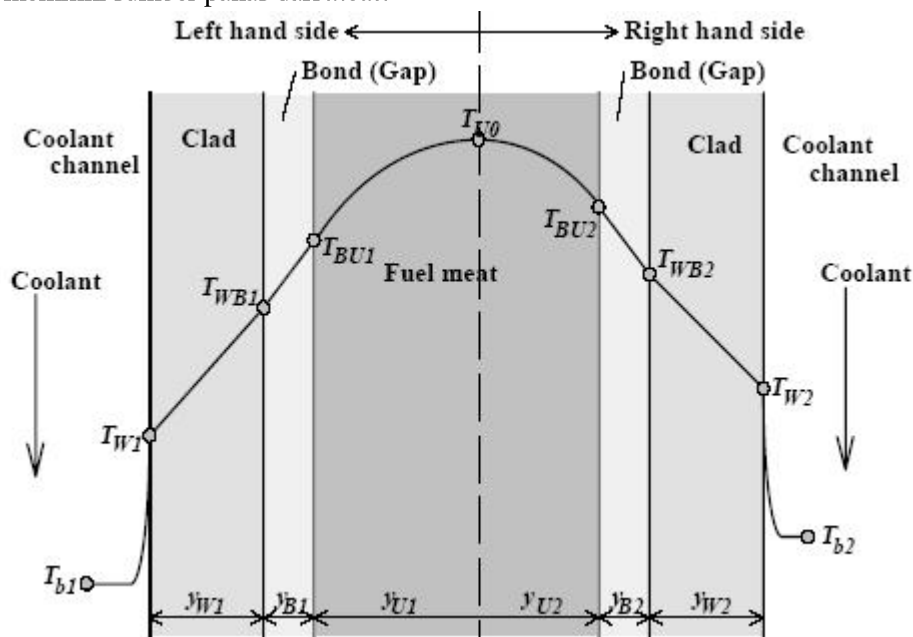
Faktor ketidakpastian nuklir dan enjinereng diperhitungkan di dalam analisis desain ini. Faktor ketidakpastian enjinereng diperoleh dari data pabrikan bahan bakar tipe pelat yang dibuat oleh PT BATEK, sedangkan faktor nuklir menggunakan ketentuan di dalam *safety guide IAEA* [6,7], dimana faktor puncak daya radial = 3.

4. Program Perhitungan COOLOD-N2

COOLOD-N2 adalah program komputasi termohidrolika 1 dimensi yang dikembangkan untuk menganalisis termohidrolika teras reaktor riset untuk elemen bakar tipe MTR pada kondisi tunak. Program ini juga dapat menghitung koefisien perpindahan panas, temperatur ONB, fluks panas DNB, dan fluks panas pada awal terjadinya instabilitas aliran[8].

METODOLOGI/PEMODELAN

Perhitungan desain awal bahan bakar reaktor riset inovatif dilakukan menggunakan program perhitungan COOLOD-N2. Perhitungan perpindahan panas mengacu pada nilai fluks panas pada posisi aksial tertentu untuk menentukan temperatur pendingin air secara satu dimensi, kemudian temperatur *meat* dihitung berdasarkan perbedaan temperatur pendingin air (*bulk*), kelongsong dalam, kelongsong luar dan dinding *meat*. Oleh karena itu, metode perhitungan ini hanya berlaku pada posisi aksial yang memiliki sumber panas dari *meat*.



Gambar 3. Model perhitungan temperatur bahan bakar [8]

Untuk memperoleh desain yang memenuhi keperluan desain neutronik, maka pada desain ini dilakukan perhitungan dengan beberapa asumsi dan penggunaan variabel tekanan pendingin *inlet*, dan variabel laju alir pendingin seperti ditunjukkan pada Tabel 2, sedangkan Tabel 3 menunjukkan parameter termohidrolika bahan bakar U-7Mo/Al.

Tabel 2. Data masukan perhitungan termohidrolika desain bahan bakar RRI
U-7Mo/Al

Parameter	Nilai
Pembangkitan panas di teras reaktor, MW	50,0
Tekanan pendingin ke teras, kgf/cm ²	4,0 - 8,0
Temperatur pendingin masuk ke teras, °C	40,5
Laju alir pendingin ke teras, kg/det.	700-1100
Faktor-faktor puncak daya :	
Faktor puncak daya radial, FR	3,000
F_{cool}	1,167
F_{film}	1,200
F_{hflx}	1,200
$F_{kelongsong}, F_{bond}, F_{meat}$	1,000
Faktor puncak daya aksial, F_A	1,200

Tabel 3. Parameter termohidrolika bahan bakar U-7Mo/Al [9]

Parameter	U-7Mo/Al	Kelongsong
ρ , g/cm ³	16,336 (Porositas 18%)	2,70
C_p , J/g.°C	0,155	0,961
k , W/cm.°C	0,15 – 0,25	2,16

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan desain bahan bakar dilakukan dengan data masukan untuk variabel tekanan 4-8 kgf/cm² (4,13 s/d 8,27 bar), dan variabel laju alir yang mendinginkan teras reaktor 700-1100 kg/s pada daya yang ditetapkan sebesar 50 MW. Dimensi bahan bakar yang digunakan adalah tipe pelat yang sama dengan saat ini digunakan di RSG-GAS, kecuali tinggi *meat* menjadi 700 mm dan jenis bahan bakar yang digunakan adalah U-7Mo/Al. Laju alir pendingin akan mendinginkan teras reaktor berukuran kisi 5x5, yang berisi 16 elemen bakar tipe pelat paralel, 4 elemen bakar dan 5 IP. Dari berbagai perhitungan menggunakan COOLOD-N2 dengan metode *trial and error* yang dilakukan diperoleh hasil yang ditampilkan pada Tabel 4. Fluks panas maksimum yang dibangkitkan di permukaan pelat sebesar 82,3 W/cm², sementara densitas daya maksimum sebesar 2604,2 W/cm³. Data yang ditampilkan adalah pada kondisi terparah dengan faktor puncak daya maksimum.

Tabel 4. Hasil perhitungan desain bahan bakar dengan $P = 4-8 \text{ kgf/cm}^2$ (4,13 s/d 8,27 bar) dan $LA = 700-1100 \text{ kg/s}$

No	P	LA	V	ΔT	T_{OUT}	T_{ONB}	ΔP	T_{SAT}	ΔT_{ONB}	DNBR	OFIR
	kgf/cm ²	kg/s	m/s	°C	°C	°C	kgf/cm ²	°C	°C	(-)	(-)
1	4	700	7,08	17,08	125,62	150,07	0,5093	125,91	7,62	2,46	0,73
2	4	800	8,93	14,94	115,07	146,03	0,6472	119,04	14,56	3,26	0,83
3	4	900	9,98	13,28	106,85	139,35	0,8006	109,56	18,27	3,76	0,93
4	4	1000	11,03	11,96	100,25	128,61	0,9680	95,02	19,17	4,08	1,04
5	4	1100	12,08	10,87	94,84	101,69	1,1516	62,58	17,05	4,23	1,14
6	5	700	7,08	17,08	125,62	159,11	0,5093	137,52	17,42	3,30	0,78
7	5	800	8,93	14,94	115,07	155,66	0,6472	132,47	25,14	4,09	0,90
8	5	900	9,98	13,28	106,85	151,08	0,8006	125,98	29,94	4,59	1,01
9	5	1000	11,03	11,96	100,25	144,86	0,9680	117,39	32,38	4,99	1,12
10	5	1100	12,08	10,87	94,84	135,41	1,1516	104,92	32,62	5,29	1,23
11	6	700	7,08	17,08	125,62	166,04	0,5093	146,65	25,42	3,89	0,83
12	6	800	8,93	14,94	115,07	163,26	0,6472	142,60	33,62	4,62	0,95
13	6	900	9,98	13,28	106,85	159,70	0,8006	137,08	39,06	5,24	1,07
14	6	1000	11,03	11,96	100,25	155,14	0,9680	131,29	42,34	5,75	1,19
15	6	1100	12,08	10,87	94,84	148,97	1,1516	123,06	43,75	6,04	1,31
16	7	700	7,08	17,08	125,62	172,01	0,5093	154,25	32,24	4,33	0,88
17	7	800	8,93	14,94	115,07	169,66	0,6472	150,84	40,78	5,08	1,00
18	7	900	9,98	13,28	106,85	166,70	0,8006	146,70	46,63	5,70	1,13
19	7	1000	11,03	11,96	100,25	163,05	0,9680	142,67	50,45	6,19	1,25
20	7	1100	12,08	10,87	94,84	158,33	1,1516	135,39	52,56	6,63	1,38
21	8	700	7,08	17,08	125,62	177,28	0,5093	160,81	38,23	4,73	0,91
22	8	800	8,93	14,94	115,07	175,23	0,6472	157,84	47,01	5,47	1,04
23	8	900	9,98	13,28	106,85	172,69	0,8006	154,29	53,16	6,11	1,18
24	8	1000	11,03	11,96	100,25	169,62	0,9680	150,07	57,35	6,64	1,31
25	8	1100	12,08	10,87	94,84	165,74	1,1516	144,93	59,93	7,13	1,44

Tabel 5. Hasil perhitungan desain bahan bakar dengan $V \leq 10 \text{ m/s}$, $LA = 900 \text{ kg/s}$, pada $P = 4-8 \text{ kgf/cm}^2$ (4,13 s/d 8,27 bar)

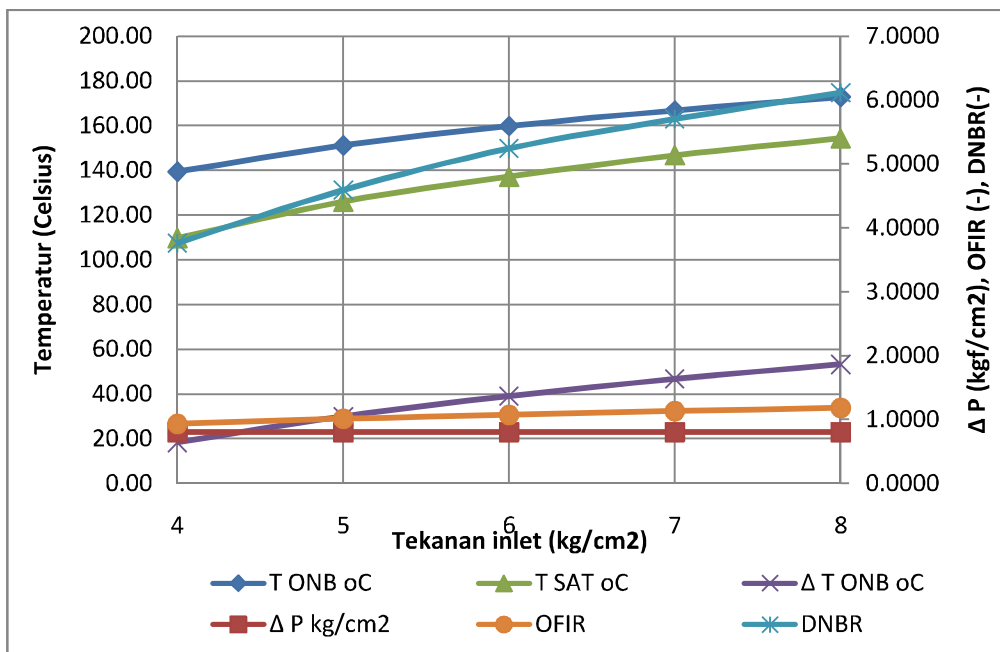
No	P	T_{ONB}	ΔP	T_{SAT}	ΔT_{ONB}	DNBR	OFIR
	kgf/cm ²	°C	kg/cm ²	°C	°C		
3	4	139,35	0,8006	109,56	18,27	3,76	0,93
8	5	151,08	0,8006	125,98	29,94	4,59	1,01
13	6	159,70	0,8006	137,08	39,06	5,24	1,07
18	7	166,70	0,8006	146,70	46,63	5,70	1,13
23	8	172,69	0,8006	154,29	53,16	6,11	1,18

Laju alir sebesar 700-1100 kg/s akan menghasilkan kecepatan pendingin yang sama pada berbagai variabel tekanan yaitu sebesar 17,08 – 12,08 kgf/cm². Dengan temperatur *inlet* sebesar 40,5°C maka temperatur *outlet* juga tidak berubah sebagai fungsi tekanan yaitu sebesar 125,62-94,84°C, yang berkorelasi dengan ΔT sebesar 17,08-10,87°C. Nilai kecepatan pendingin meningkat sebagai fungsi

penambahan laju alir, sehingga berdampak pada penurunan temperatur pendingin keluar dan penurunan ΔT pendingin.

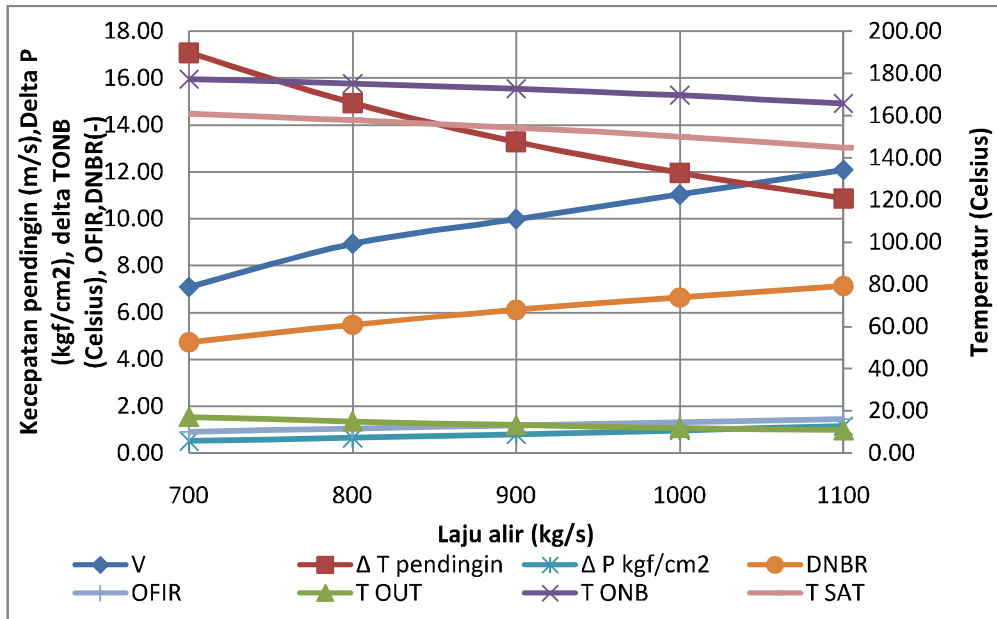
Data perhitungan pada Tabel 4 kemudian diekstrak dengan menggunakan kriteria desain yang telah ditetapkan dimana *coolant velocity* rasio sebesar 2/3 dari V kritis. Apabila diasumsikan bahwa V kritis bahan bakar tipe pelat seperti RSG-GAS +/- 15 m/s dengan tinggi 600 mm, maka kecepatan pendingin harus ≤ 10 m/s. Laju alir maksimum pada kecepatan pendingin tersebut adalah 900 kg/s. Hasil ekstraksi ditunjukkan pada Tabel 5, yang menunjukkan berbagai parameter pembatas dengan variabel tekanan 4-8 kgf/s (4,13 s/d 8,27 bar).

Gambar 5 menunjukkan karakteristik faktor pembatas desain bahan bakar sebagai fungsi variabel tekanan *inlet*. Temperatur awal terjadinya pendidihan inti dan temperatur jenuh pendingin meningkat sebagai fungsi kenaikan tekanan *inlet*, yang sebanding dengan peningkatan ΔT_{ONB} . Margin temperatur terhadap terjadinya awal pendidihan inti menjadi semakin besar. Rasio terhadap akhir pendidihan inti (DNBR) juga semakin besar, margin terhadap DNBR pada semua variabel tekanan memenuhi kriteria.



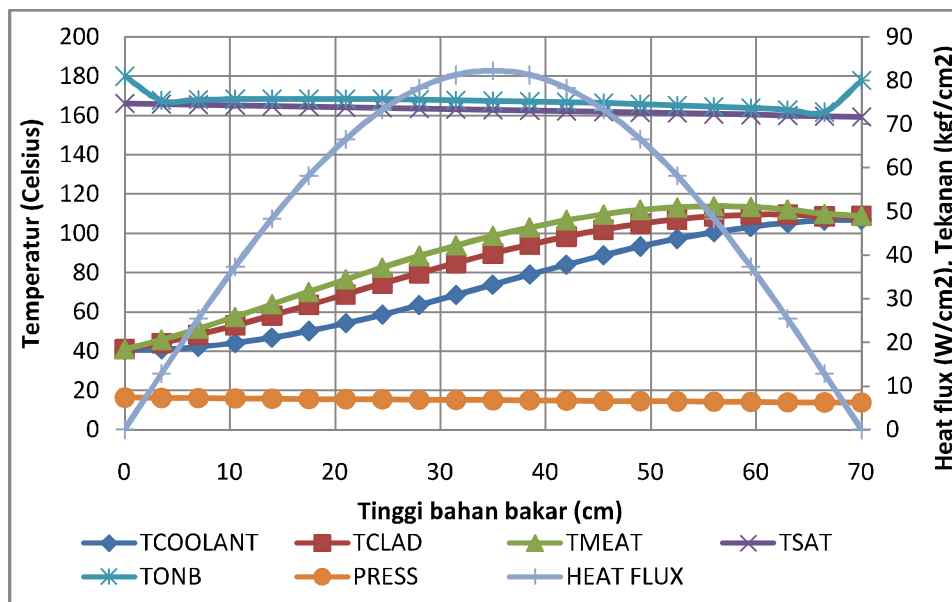
Gambar 4. Karakteristika margin keselamatan termohidrolika sebagai fungsi Pinlet.

Bertolak dari Gambar 4, maka dilakukan analisis lebih mendalam mengenai margin keselamatan pada desain termohidrolika elemen bakar pada tekanan inlet 8 kgf/cm² dengan variabel laju alir 700-1100 kg/s yang ditunjukkan pada Gambar 5. Tampak bahwa kecepatan pendingin bertambah sebagai fungsi peningkatan laju alir demikian juga margin keselamatan terhadap DNBR dan OFIR, sementara T_{ONB} , T_{sat} , T_{out} pendingin dan ΔT_{ONB} menurun sebagai fungsi penambahan laju alir.



Gambar 5. Karakteristika margin keselamatan termohidrolika pada $P=8 \text{ kgf/cm}^2$

Dari Gambar 5 dan batasan terhadap kriteria desain, maka desain bahan bakar pada tekanan 8 kgf/cm^2 (4,13 s/d 8,27 bar) dan kecepatan pendingin 900 kg/s merupakan desain optimal yang diperoleh pada daya 50 MW . Desain termohidrolika ini memenuhi margin keselamatan terhadap DNBR dan kecepatan pendingin maupun margin terhadap awal pendidihan inti, OFIR berkisar pada nilai $0,93-1,18$. Karakteristika desain termohidrolika pada desain bahan bakar dengan ketentuan tersebut ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Karakteristika parameter termohidrolika pada desain bahan bakar pada $P=8 \text{ kgf/cm}^2$, $LA=900 \text{ kg/s}$

Perbandingan desain awal bahan bakar RRI dari aspek termohidrolika dengan bahan bakar serupa pada reaktor OPAL dan CARR ditunjukkan pada Tabel 6. Dibandingkan dengan reaktor CARR

yang dioperasikan dengan daya tinggi (60 MW), maka desain termohidrolika RRI memiliki laju alir pendingin yang jauh lebih besar, hal ini berakibat rentan terhadap instabilitas aliran.

Tabel 6. Perbandingan desain parameter termohidrolika bahan bakar reaktor RRI dengan OPAL dan CARR

PARAMETER	RRI	OPAL[10]	CARR[4]
Daya reaktor, MW	50	20	60
Tinggi teras aktif, cm	70	70	85
Fluks termal, n/cm ² s	5x10 ¹⁴	1,4-2x10 ¹⁴	4,0 x10 ¹⁴
Jenis pendingin	H ₂ O	H ₂ O	H ₂ O
Jenis bahan bakar	U-7Mo/Al	U ₃ Si ₂ -Al	U ₃ Si ₂ -Al
Jumlah elemen bakar/elemen kendali	16/4	16	17/4
Tingkat muat, gU/cm ³	7	4,8	4,3
Kandungan ²³⁵ U di dalam perangkat bahan bakar, g	590		567,4
Laju alir sistem primer, kg/s	900	528	660
Arah aliran	<i>downward</i>	<i>upward</i>	<i>downward</i>
Kecepatan pendingin, m/s	9,98	8,2	10,07
P_{inlet} teras, (MPa)	0,80/0,62	/205 kPa	0,89/0,62
T_{inlet} teras, °C	40,5/53,78	35/45,6	35/56,2
<i>Fuel assembly sizes</i>	75,7x67,1		76,2x76,2
Jumlah pelat bahan bakar	21	21	21
Tebal pelat bahan bakar, mm	1,30		1,36
Tebal kelongsong, mm	0,38		0,38

KESIMPULAN

Pada desain awal desain bahan bakar RRI, untuk dapat dapat dioperasikan pada daya 50 MW menggunakan bahan bakar tipe pelat dengan geometri seperti bahan bakar RSG-GAS, dengan tinggi *meat* 700 mm maka desain reaktor tidak berupa *open pool* melainkan harus tipe bertekanan. Desain awal menunjukkan bahwa kriteria desain DNBR \geq 2, ΔT_{ONB} , $V \leq 2/3 V_{kritis}$ tidak terlampaui apabila $P_{inlet} = 8 \text{ kgf/cm}^2$ (4,13 s/d 8,27) dengan laju alir sebesar 900 kg/s. Marjin terhadap rasio instabilitas aliran, OFIR = 1,07.

SARAN

Dibandingkan dengan desain untuk bahan bakar serupa masih perlu dilakukan optimasi desain, agar diperoleh marjin keselamatan yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

1. BFTR-PTRKN, "User Criteria Document (UCD) Reaktor Riset Inovatif", BATAN-RKN-06-2010.
2. MD ISNAINI, M. SUBEKTI, E.P. HASTUTI, " Analisis Distribusi Laju Alir Desain Teras Reaktor Riset Berbahan Bakar Tingkat Muat Tinggi", Prosiding Seminar Nasional TKPFN ke 18, BATAN-UPI, Bandung, 29 Oktober 2012, ISSN.0854.2910.
3. E.P HASTUTI dkk., Laporan PIPKPP, "Desain Termohidrolika Reaktor Riset Inovatif Berbahan Bakar Tingkat Muat Tinggi", Kemenristek, 2012
4. YUAN LUZHENG KANG YALUN, "Problems Concerned In Fuel Design Of CARR", China Institute of Atomic Energy, Presented at the 1998 International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors, October 18- 23, São Paulo, Brazil,1998.

5. BFTR-PTRKN, Desain Konseptual Teras Reaktor Riset Inovatif: "Desain Konseptual Final Konfigurasi Teras Dan Fasilitas Iradiasi, Panas Gamma Teras Dan Penentuan Parameter Desain Sistem Pendingin Primer RRI; Perhitungan Suku Sumber", Dokumen Teknis PTRKN 2012, Serpong, Desember 2012.
6. A. DOVAL and C. MAZUFRI, "Relevant thermal-hydraulic aspects in the design of the RRR," in XIII ENFIR, Rio de Janeiro, Brazil, August 2002.
7. IAEA TECDOC-233, "Research Reactor Core Conversion from the Use of HEU to The Use of LEU Fuels Guidebook", April 1992
8. MASANORI KAMINAGA, COOLOD-N2: "A Computer Code, for The Analysis of Steady-state Thermal Hydraulics in Research Reactor", Japan Atomic Energy Agency, 2010.
9. CRESY J.T. (2011), "Thermal Properties of Uranium-Molybdenum Alloys: Phase Decomposition Effects of Heat Treatments", Master of Science Thesis, Texas A&M University, Texas
10. ANSTO, "Replacement Research Reactor Project: SAR Chapter 5 Reactor", prepared by INVAP for Australian Nuclear Science and Technology Organization, November 2004.

DISKUSI / TANYA JAWAB :

PERTANYAAN : (Sukmanto Dibyo, PTRKN-BATAN)

- Mengapa daya reaktor riset inovatif ditentukan sebesar 50 MW ? dan mengapa dipilih reflektor jenis D₂O ?

JAWABAN : (Endiah Puji Hastuti, PTRKN-BATAN)

- Sesuai dengan UCD (*User Criteria Document*) yang telah ditentukan, reaktor riset inovatif didesain untuk dapat menghasilkan fluks neutron sebesar reaktor riset ini mensyaratkan tersedianya fluks neutron termal rerata sebesar 5×10^{14} n/cm²s. Untuk mencapai fluks neutron seperti yang diharapkan diperlukan desain reaktor menggunakan D₂O selain itu juga diperlukan teras yang kompak.

PERTANYAAN : (Amir Hamzah, PTRKN-BATAN)

- Apakah perbedaan antara tipe bahan bakar RRI dan RSG GAS ?

JAWABAN : (Endiah Puji Hastuti, PTRKN-BATAN)

- Bahan bakar yang digunakan pada RRI adalah tipe plat dengan geometri seperti yang digunakan oleh RSG GAS, kecuali tinggi bahan bakar RRI = 70 cm, sementara RSG GAS = 60 cm. RSG GAS menggunakan bahan bakar silisida dengan tingkat muat 2,96 g U/cm³, sementara RRI dari jenis Umo dengan tingkat muat 4 g U/cm³.

DESAIN AWAL PERISAI RADIASI DAN ANALISIS LAJU DOSIS DI DAERAH KERJA REAKTOR RISET INOVATIF MENGGUNAKAN MCNPX

Amir Hamzah

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir (PTRKN) – BATAN
Kawasan PUSPIPTEK Gd. 80, Serpong, Tangerang Selatan, BANTEN 15310.
E-mail: ahamzah@batan.go.id

ABSTRAK

DESAIN AWAL PERISAI RADIASI DAN ANALISIS LAJU DOSIS DI DAERAH KERJA REAKTOR RISET INOVATIF MENGGUNAKAN MCNPX. Sesuai dengan renstra PTRKN yang diantaranya adalah diperolehnya desain konseptual reaktor riset inovatif. Dari segi teras reaktor, desain konseptual tersebut meliputi desain teras, desain termohidrolik dan desain perisai radiasi. Tujuan utama dalam penelitian ini adalah desain perisai dan analisis laju dosis radiasi untuk mendapatkan kondisi yang memenuhi batas keselamatan radiasi di daerah kerja reaktor riset inovatif. Analisis laju dosis radiasi dihitung menggunakan paket program MCNPX dengan cara memvariasi tebal dinding dan jenis perisai radiasinya. Dari hasil perhitungan dosis gamma ini bisa dipilih jenis dan tebal perisai radiasi yang diperlukan untuk reaktor riset tersebut berupa beton biasa dengan ketebalan 200 cm. Hasil analisis menunjukkan bahwa desain perisai tersebut menghasilkan laju dosis maksimum 15,34 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ di dekat dinding perisai radiasi di daerah balai eksperimen. Laju dosis tersebut telah memenuhi batas keselamatan radiasi yang ditentukan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN).

Kata kunci: Reaktor riset inovatif, perisai radiasi, laju dosis, MCNPX.

ABSTRACT

RADIATION SHIELD PRELIMINARY DESIGN AND ANALYSIS OF DOSE RATE IN THE WORKING AREA OF INNOVATIVE RESEARCH REACTOR USING MCNPX. In accordance with the PTRKN strategic plan, it was obtained the conceptual design of innovative research reactor. In terms of the reactor core, the conceptual design of the core design, thermohydraulic design and radiation shield design. The main objective of this research is the design of the shield and analysis of radiation dose rate to obtain boundary conditions that meet radiation safety in the work area of innovative research reactor. Analysis of the radiation dose rate is calculated using MCNPX program package by varying the wall thickness and type of radiation shielding. From the calculation of gamma dose can be selected type and thickness of radiation shielding required for a research reactor in the form of ordinary concrete with a thickness of 200 cm. The analysis showed that the shield design produces maximum dose rate 15.34 $\mu\text{Sv}/\text{hour}$ in near the shield wall in the experiment hall. The dose rate in compliance with radiation safety limits set by the Nuclear Energy Regulatory Agency (BAPETEN).

Keywords: Innovative research reactor, radiation shielding, dose rate, MCNPX.

PENDAHULUAN

Salah satu tugas dan fungsi PTRKN seperti yang tertuang di dalam renstra[1] diantaranya adalah diperolehnya desain konseptual reaktor riset inovatif. Dari segi teras reaktor, desain konseptual tersebut meliputi desain teras, desain termohidrolik dan desain perisai radiasi. Tujuan utama dalam penelitian ini adalah desain perisai dan analisis laju dosis radiasi untuk mendapatkan kondisi yang memenuhi batas keselamatan radiasi di daerah kerja reaktor riset inovatif. Konfigurasi teras telah dirancang oleh kelompok neutronik menggunakan bahan bakar UMo dengan tingkat muat tinggi. Teras kompak dengan tingkat muat dan daya tinggi akan menjadikan teras sebagai sumber radiasi yang tinggi sehingga diperlukan suatu rancangan perisai sekaligus analisis laju dosis radiasi tersebut agar memenuhi ketentuan batasan keselamatan radiasi bagi pekerja dan lingkungan.

Program MCNPX[2] digunakan sebagai perangkat analisis pada riset ini untuk mendesain perisai dan analisis laju dosis radiasi reaktor riset inovatif. Program MCNPX membutuhkan masukan ukuran geometri dan komposisi semua material yang terlibat di dalam analisis. Program VisEd[3] yang merupakan bagian dari paket program MCNPX digunakan untuk membuat model objek analisis dan