

PENGARUH VARIASI BAHAN PENDINGIN JENIS LOGAM CAIR TERHADAP KINERJA TERMALHIDROLIK PADA REAKTOR CEPAT

Nevi Haryani, Dian Fitriyani

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas

e-mail: neviharya31@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan simulasi perhitungan untuk analisis pengaruh berbagai bahan pendingin jenis logam cair terhadap kinerja termalhidrolik pada reaktor cepat dengan bahan bakar UN-PuN. Perhitungan dilakukan terhadap desain reaktor dengan geometri teras berbentuk kubus 3D dengan ukuran 80 x 80 x 80 cm. Optimasi desain reaktor dilakukan untuk variasi empat jenis bahan pendingin logam cair yaitu, Na, NaK, Pb dan PbBi. Tinjauan dilakukan terhadap parameter-parameter termalhidrolik yang meliputi distribusi temperatur teras dan penurunan tekanan sistem. Simulasi diawali dengan perhitungan difusi multigrup yang menghasilkan distribusi fluks neutron, faktor multiplikasi neutron dan distribusi densitas daya. Perhitungan termalhidrolik dilakukan terhadap masing-masing bahan pendingin pada laju alir awal 3000 kg/s. Kemudian dilakukan pengaturan hingga diperoleh kondisi laju alir yang sesuai untuk masing-masing performa pendingin. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pendingin Pb dan PbBi memberikan kinerja termalhidrolik yang baik pada laju alir 3000 kg/s, sedangkan pendingin Na dan NaK menunjukkan kinerja termalhidrolik baik pada rentang laju alir massa pendingin dari 500 sampai 1500 kg/s.

Kata kunci : Termalhidrolik, fluks neutron, faktor multiplikasi neutron, pendingin.

ABSTRACT

A calculation simulation to analyze the effects of using various types of liquid metal coolant to thermalhydraulic's performance in fast reactors with UN-PuN as fuel have been done. The calculation is performed to reactor design that have core with 3D cube shape. The dimension of the core is 80 x 80 x 80 cm. Optimization of reactor design was done for four types of liquid metal coolant that are Na, NaK, Pb, and PbBi. Review conducted on thermalhydraulics parameters include core temperature distribution and pressure drop of system. Simulation is begun by neutronics calculation and it gave result of neutron flux distribution, neutron multiplication factor and power density distribution. Termalhidrolik calculation performed on each of the coolant flow rate beginning at 3000 kg/s. Then made arrangements to obtain the appropriate conditions of flow rate for each cooling performance. Simulation results show that the cooling Pb and PbBi provide the best thermalhydraulics performance at a flow rate of 3000 kg/s, while NaK and Na coolant show the best thermalhydraulics performance at range of mass flow rate from 500 to 1500 kg/s.

Keywords : Thermalhydraulic, neutron flux, neutron multiplication factor, coolant.

I. PENDAHULUAN

Serangkaian perhitungan termalhidrolik sangatlah penting bagi sebuah disain reaktor, karena pada prinsipnya batasan dari performa teras reaktor banyak dipengaruhi oleh parameter-parameter termalhidrolik. Temperatur pendingin, temperatur struktur dan pusat bahan bakar, begitu juga tekanan dan semua aspek pendingin di dalam reaktor adalah diantara parameter yang penting untuk dianalisis untuk memastikan bahwa parameter-parameter tersebut masih berada di bawah batasan fisis material terkait ataupun batasan operasional yang diinginkan.

Energi panas dari reaksi fisi disalurkan oleh bahan pendingin. Sesuai fungsinya, pendingin yang digunakan harus memiliki kemampuan serap neutron yang rendah, daya pindah kalor yang baik, titik leleh rendah sementara titik didihnya sangat tinggi, stabil dalam radiasi dan suhu tinggi, bersifat tidak korosif dan aman dalam penanganan. Untuk memenuhi kriteria tersebut, pada reaktor cepat digunakan logam cair sebagai pendingin. Bahan pendingin jenis logam cair yang selama ini sering digunakan untuk reaktor cepat adalah natrium (Na). Kemudian ditemukan beberapa alternatif bahan pendingin logam cair lain, diantaranya natrium-kalium (NaK), timbal (Pb) dan timbal bismuth (PbBi). Tabel 1 menunjukkan karakteristik dari masing-masing bahan pendingin tersebut.

Tabel 1. Perbandingan karakteristik pendingin logam cair untuk reaktor cepat

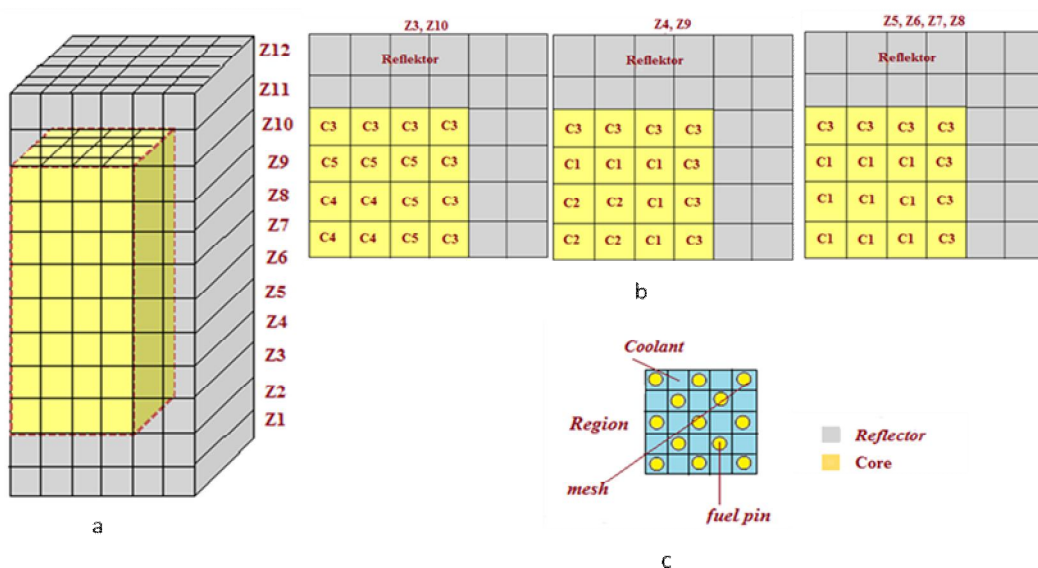
Bahan Pendingin	Titik Leleh (°C)	Titik Didih (°C)	Aktivasi dengan Air dan Udara
Na	98	883	Kuat
NaK	-11	785	Kuat
Pb	327	1737	Lemah
Pb-Bi	125	1670	Lemah

Analisis neutronik pada reaktor cepat dengan variasi bahan pendingin jenis logam cair (Na, Pb, dan PbBi) telah dilakukan, dan menghasilkan kesimpulan bahwa penggunaan PbBi memberikan karakteristik neutronik yang optimal. Perlu dilakukan analisis lanjutan, yaitu analisis termalhidrolik dengan variasi bahan pendingin jenis logam cair untuk mengetahui bagaimana pengaruh penggunaan berbagai jenis bahan pendingin logam cair terhadap kinerja termalhidrolik pada reaktor cepat.

II. METODE

Penelitian untuk menganalisis pengaruh penggunaan bahan pendingin jenis logam cair terhadap kinerja termalhidrolik pada reaktor cepat dilakukan dengan menggunakan kode komputasi DTRIDI-FBR. DTRIDI-FBR merupakan kode komputasi dalam bahasa pemrograman Borland Delphi yang merupakan pengembangan dari kode komputasi FI.ITBCHI. Perhitungan untuk menganalisis pengaruh penggunaan beberapa bahan pendingin jenis logam cair terhadap kinerja termalhidrolik pada reaktor cepat diawali dengan penyelesaian persamaan difusi multigrup untuk mendapatkan nilai distribusi fluks neutron, faktor multiplikasi neutron, dan distribusi daya. Kemudian perhitungan dilanjutkan dengan perhitungan termalhidrolik untuk mendapatkan distribusi temperatur di seluruh bagian teras yang meliputi distribusi temperatur bahan bakar, *cladding*, dan bahan pendingin serta nilai penurunan tekanan sistem.

Geometri teras yang digunakan berbentuk kubus 3 dimensi dengan ukuran 80x80x80 cm³. Susunan konfigurasi teras dapat dilihat pada Gambar 1. Z1, Z2, Z11, dan Z12 merupakan bagian reflektor pelindung teras yang berisi bahan pendingin, sedangkan Z3-Z10 merupakan bagian teras. Jenis bahan bakar yang digunakan adalah UN-PuN. Teras dibedakan dengan simbol C1 sampai C5 untuk memudahkan pengaturan komposisi pengayaan bahan bakar pada masing-masing bagian. Tabel 2 menunjukkan parameter disain reaktor cepat yang digunakan.



Gambar 1 (a). Pembagian teras arah sumbu z, (b). Distribusi komposisi teras (c). Mesh dan komposisinya

Tabel 2 Spesifikasi disain reaktor

Parameter		Spesifikasi
Daya Reaktor		150 MWt
Variasi Pendingin		Na, NaK, Pb, PbBi
Bahan Sheilding		B ₄ C + Stainless Steel
Bahan Bakar		UN-PuN
Pengayaan (Enrichment) Bahan Bakar		10% - 20 % (PuN)
Reactivity Swing		Max. 0,002
Teras	Diameter Pin Bahan Bakar	1,0 cm
	Tebal Cladding	0,05 cm
	Pin Pitch Bahan Bakar	1,2 cm
	Temperatur Masukan Rata-Rata	330 °C
	Temperatur Keluaran Rata- Rata	500 °C
	Fraksi Vol.Bahan Bakar / Struktur / Pendingin	45% / 15% / 40%

III. HASIL DAN DISKUSI

Kondisi neutronik yang baik dapat diketahui melalui kondisi kekritisan teras reaktor yang ditunjukkan oleh nilai faktor multiplikasi neutron (k_{eff}). Kondisi kritis ($k_{eff} \sim 1$) dapat dicapai melalui pengaturan pada pengayaan (*enrichment*) bahan bakar di teras. Hasil pengaturan pengayaan bahan bakar dengan masing-masing penggunaan bahan pendingin dan nilai k_{eff} yang diperoleh ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengayaan (PuN) dan nilai keff pada masing-masing penggunaan bahan pendingin jenis logam cair

Bahan Pendingin	Pengayaan Bahan Bakar (PuN) (%)					k_{eff}
	C1	C2	C3	C4	C5	
Pb	13	13,2	14	13,4	13,5	1.0001401
PbBi	12,8	14	13,4	13,9	13,8	1.0001190
Na	14,8	15,6	16,3	16,4	15,8	1.0001173
NaK	13	13,4	13,5	13,7	13,5	1.0000050

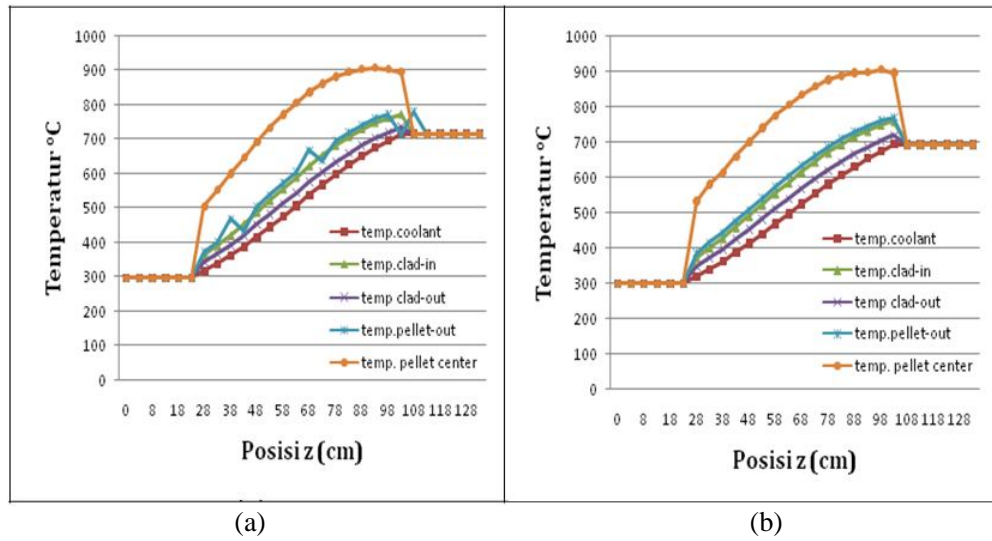
Nilai fluks neutron sangat bergantung pada penampang lintang terjadinya reaksi tiap satuan waktu, baik itu penampang lintang fisi, hamburan, atau absorpsi. Distribusi fluks neutron maupun distribusi daya untuk setiap variasi bahan pendingin mencapai nilai maksimum pada bagian tengah teras reaktor.

3.1 Hasil Perhitungan Termalhidrolik

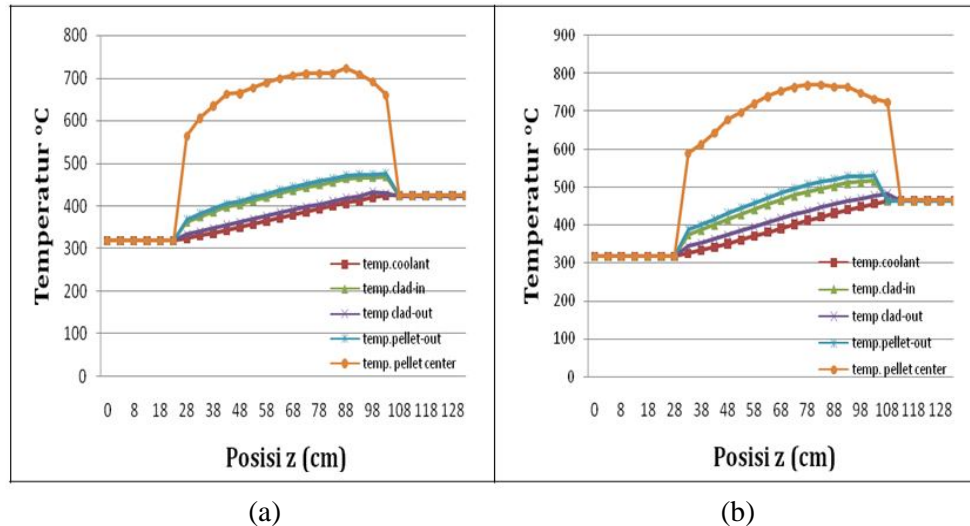
3.1.1 Distribusi Temperatur

Perhitungan termalhidrolik reaktor dilakukan dengan laju aliran pendingin total 3000 kg/s untuk masing-masing bahan pendingin. Distribusi temperatur pendingin, temperatur bahan bakar, dan temperatur *cladding* disepanjang sumbu z untuk penggunaan bahan pendingin Pb dan PbBi diperlihatkan pada Gambar 2. Secara umum temperatur mengalami peningkatan dibagian tengah teras reaktor dan turun dibagian tepi. Hal ini disebabkan oleh pola distribusi densitas daya yang cukup tinggi pada bagian tengah teras. Nilai temperatur tertinggi terjadi pada bagian pusat bahan bakar (*pellet center*).

Perhitungan untuk pendingin Na dan NaK pada laju alir pendingin total sebesar 3000 kg/s tidak bisa diterapkan, distribusi temperatur bernilai negatif pada teras reaktor. Secara teori diketahui bahwa pada reaktor cepat dengan pendingin Na dan NaK menunjukkan performa teras yang baik pada laju alir pendingin yang kecil. Oleh karena itu, pada perhitungan termalhidrolik untuk pendingin Na dan NaK laju alir total diturunkan hingga 1000 kg/s sehingga mampu menunjukkan performa teras yang baik. Bentuk distribusi temperatur teras untuk penggunaan pendingin Na dan NaK diperlihatkan oleh Gambar 3.



Gambar 2. Distribusi temperatur arah z untuk (a) Pb dan (b) PbBi



Gambar 3. Distribusi temperatur arah z untuk (a) Na dan (b) NaK

3.1.2 Penurunan Tekanan (*Pressure Drop*)

Tabel 4 memperlihatkan nilai penurunan tekanan, *driving head*, dan perkiraan daya pompa untuk masing-masing penggunaan bahan pendingin. Perbedaan antara penurunan tekanan total dan *driving head* sistem memberikan perkiraan besarnya daya pompa. Laju alir total pendingin yang lebih besar seperti pada penggunaan bahan pendingin Pb dan PbBi, akan membuat penurunan tekanan yang melintasi teras akan semakin tinggi sehingga daya pompa yang diperlukan semakin besar. Laju alir yang lebih kecil pada penggunaan Na dan NaK memberikan penurunan tekanan yang lebih kecil, sehingga daya pompa yang diperlukanpun juga semakin kecil

Tabel 4. Tekanan pada variasi penggunaan bahan pendingin

Jenis Pendingin	Laju Alir Total (Kg/s)	Penurunan Tekanan (Pa)	<i>Driving-Head</i> (Pa)	Daya Pompa (Pa)
Pb	3000	229984.247	102106.658	127877,589
PbBi	3000	226090.844	101200.680	124890,164
Na	1000	94969.189	11113.256	83872,031
NaK	1000	108831.499	9021.354	99810,145

IV. KESIMPULAN

Pada reaktor cepat berpendingin Na dan NaK diperlukan laju alir massa pendingin yang lebih kecil dari pada reaktor berpendingin Pb dan PbBi. Berdasarkan distribusi fluks neutron, distribusi densitas daya, distribusi temperatur pada teras reaktor, serta temperatur *outlet* sistem yang dihasilkan, maka penggunaan pendingin PbBi pada reaktor cepat menunjukkan kinerja termalhidrolik yang paling baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Bahrum, E.S., Fitriyani, D., Su'ud, Z., Waris, A., dan Wahjoedi, B.A., 2006, Analisa Termalhidrolik Reaktor Cepat Berpendingin Pb-Bi Daya 200 MWt dengan Geometri Teras Silinder Pipih, *Proceeding Seminar Nasional ke-12 Teknologi dan Keselamatan PLTN serta Fasilitas Nuklir*, Yogyakarta.
- Duderstadt, J.J. dan Hamilton, L.J., 1976, *Nuclear Reactor Analysis*, John Wiley and Sons, Inc., Kanada.
- Fitriyani, D., 2006, Studi Desain Reaktor Daya Nuklir Berbasis Kapal, *Disertasi*, Departemen Fisika, ITB, Bandung.
- IAEA-THPH, 2008, Thermophysical Properties of Materials For Nuclear Engineering: A Tutorial and Collection of Data, IAEA, Vienna.
- Nurwinda, 2009, Analisis Neutronik pada Reaktor Cepat dengan Variasi Bahan Pendingin (Na, NaK, Pb, Pb-Bi) , *Skripsi*, FMIPA, Unand, Padang.
- Su'ud, Z., 1998, FI-ITB : A Computer Code for Nuclear Reactor Cell Homogenization Calculation, *Proc of Computation in Nuclear Science & Technology VII Seminar*, Batan-Jakarta.
- Waltar, A.E. dan Reynolds, A.B., 1981, *Fast Breeder Reactors*, Pergamon Press, U.S.A.