

ANALISIS DESAIN TANGKI TUNDA N-16 SISTEM PENDINGIN RRI MENGGUNAKAN RELAP5

Sukmanto Dibyo
Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir BATAN
Email: sukdibyo@batan.go.id

ABSTRAK

ANALISIS DESAIN TANGKI TUNDA N-16 SISTEM PENDINGIN RRI MENGGUNAKAN APLIKASI RELAP5. Indonesia saat ini memiliki 3 reaktor riset yang akan berakhir masa operasinya, oleh karena itu perlu mewujudkan adanya desain reaktor riset baru berupa desain konseptual Reaktor Riset Inovatif (RRI). Kajian desain sistem pendingin reaktor telah dilakukan untuk komponen utama pada sistem pendingin yaitu kolam reaktor, pompa, penukar panas, tangki tunda, sistem bantu dan menara pendingin. Dalam makalah ini dianalisis desain tangki tunda sistem pendingin RRI dengan mengaplikasikan paket program RELAP5 untuk mendapatkan dimensi tangki yang optimal. Analisis menggunakan model yang terdiri dari 3 tmdpvol, 1 trip-valve, 4 volume pipa, 5 single-volume, 1 tmdpjunc dan 9 single-junc. RELAP5 memodelkan pendingin mengalir ke dalam tangki dan diinjeksi oleh air pada temperatur berbeda dengan laju alir 800kg/det. Pemodelan ini merupakan bagian dari model keseluruhan yang sedang dikerjakan untuk jaringan sistem pendingin RRI. Hasil analisis desain tangki tunda RRI menunjukkan dimensi tangki tunda dengan ukuran panjang 7,50 m, diameter 2,50 m, volume 40,88 m³, diameter nosel 0,75 m dan tangki dilengkapi *ellipsoidal heads*, dengan dimensi ini peluruhan N-16 adalah 57,5 detik..

Kata Kunci : analisis desain, tangki tunda, N-16, RELAP5

ABSTRACT

DESIGN ANALYSIS OF N-16 DELAY TANK FOR RRI COOLING SYSTEM USING RELAP5. Indonesia currently has 3 research reactor which the reactor operation will end, therefore it is necessary to realize the design of a new research reactor i.e. a conceptual design of Innovative Research Reactor (RRI). Design assessment of Reactor coolant system has been performed for the main components in the cooling system i.e. reactor pool, pumps, heat exchangers, tanks delay, auxiliary systems and cooling towers. This paper analyzed the delay tank design of RRI cooling system by applying RELAP5 program to obtain the optimal dimensions of the tank. Analysis using a model consisting of 3 tmdpvol, 1 trip-valve, 4 pipe volume, single-volume 5, 1 tmdpjunc and 9 single-junc. RELAP5 model the coolant to flow into the tank and injected with water at different temperatures with a flow rate of 800kg/det. This modeling is part of the overall model that is being done to the loop cooling system of RRI. Tank design analysis results showed that dimensions of RRI delay tank are 7.50 m length, 2.50 m diameter, volume 40.88 m³, 0.75 m diameter nozzle and the tank equipped *ellipsoidal heads*, with this dimensions the decay of N-16 is 57.5 seconds.

Keywords : design analysis, delay tank, N-16, RELAP5

PENDAHULUAN

Saat ini Indonesia memiliki tiga reaktor-reaktor riset yang akan berakhir masa operasinya. Batan sebagai institusi litbang nuklir di Indonesia perlu memikirkan adanya suatu desain reaktor riset baru yang sesuai dengan kebutuhan yang akan datang. Kegiatan ini tertuang dalam RENSTRA PTRKN 2010-2014. Reaktor riset merupakan salah satu fasilitas yang dapat menunjang kegiatan penelitian yang berkaitan dengan teknologi nuklir. Berdasarkan kenyataan ini maka telah diantisipasi kondisi tersebut dengan merencanakan pembuatan Desain Konseptual Reaktor Riset Inovatif (RRI).

Litbang tentang sistem pendingin reaktor khususnya telah dilakukan secara bersamaan dengan desain fisika teras dan perisai radiasi reaktor. Komponen utama sistem pendingin reaktor meliputi kolam reaktor, pompa, penukar panas, tangki tunda dan menara pendingin. Analisis ini memfokuskan pada desain awal tangki tunda berdasarkan waktu tempuh aliran pendingin. Kondisi operasi sistem

pendingin yang terkait dengan sistem pendingin adalah laju aliran, temperatur dan tekanan aliran. Tangki tunda merupakan salah satu bagian dari sistem jaringan pendingin yang berada pada sistem lintasan sisi hisap pompa pendingin untuk meluruhkan radiasi produk isotop radioaktif Nitrogen-16. Diagram alir (*flow diagram*) sistem proses pendingin reaktor telah dilakukan dengan menggunakan paket program ChemCad6.1.4 [1].

Analisis hidrodinamika desain ini dikerjakan dengan menggunakan paket program RELAP5, dengan menetapkan desain geometri lebih dahulu kemudian menghitung waktu tempuh aliran di dalam tangki. Analisis desain tangki tunda ini merupakan bagian dari desain komponen pada sistem pendingin RRI. Oleh karena itu, pemodelan ini merupakan bagian dari penyusunan model keseluruhan yang sedang dikerjakan untuk jaringan sistem pendingin RRI. Penggunaan model ini, merupakan kajian yang diharapkan ke depan dapat melengkapi dokumen analisis termohidrolika sistem pendingin RRI.

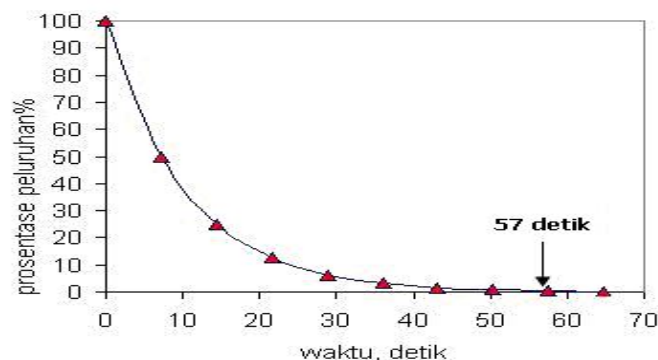
RELAP5 mampu melakukan analisis kelakuan sistem hidrodinamika reaktor nuklir berpendingin air-ringan sampai pada tekanan kritisnya[2]. Bagian utama model sistem tangki tunda mensimulasikan komponen pipa, percabangan, pompa dan katup.

Tujuan analisis ini adalah mengaplikasikan paket RELAP5 untuk menganalisis desain hidrodinamika perangkat tangki tunda dalam meluruhkan produk isotop radioaktif Nitrogen-16 pada desain reaktor riset tipe MTR (*Material Test Reactor*) RRI. Dalam desain awal ini akan ditentukan dimensi tangki agar dapat dilalui oleh aliran pendingin sehingga Nitrogen-16 meluruh 8 kali waktu paruhnya (waktu paruh Nitrogen-16 adalah 7,2 detik) [3].

TEORI

Atom uranium adalah unsur radiokatif yang dalam reaksi fisi terpecah menjadi dua atau tiga atom yang lebih kecil sebagai produk fisi. Sinar gamma energi tinggi dan neutron cepat dilepaskan selama proses fisi tersebut. Selama reaktor beroperasi, maka neutron dan sinar gamma mempunyai tingkat radiasi yang sangat tinggi di sekitar bejana reaktor.

Dalam reaksi fisi, material di sekitar teras reaktor akan teraktivasi oleh energi lebih dari 10 MeV karena menyerap sebagian neutron dan berubah dari bentuk stabil menjadi bentuk tidak stabil (radioaktif). Isotop Nitrogen-16 (N-16) termasuk produk isotop sangat penting untuk diamati, memiliki waktu paruh yang sangat pendek (7,2 detik), karena memancarkan sinar gamma yang sangat kuat. N-16 terbentuk ketika atom oksigen-16 menyerap neutron dan meluruh. Karena setiap molekul air memiliki sebuah atom oksigen, maka sejumlah besar dari N-16 diproduksi dalam teras reaktor. Pengurangan dosis radiasi dilakukan supaya personel reaktor dapat menginspeksi *in-service* selama operasi reaktor dengan aman. Salah satu metode untuk meminimalkan radiasi dari N-16 adalah dengan cara mengalirkan air pendingin menempuh perjalanan sedemikian rupa dalam jangka waktu yang memungkinkan radiasi dari N-16 meluruh mendekati angka nol, waktu penundaan sekitar 1 menit [3]. Gambar 1 menunjukkan grafik prosentase peluruhan N-16.



Gambar 1. Grafik Prosentase Peluruhan N-16

METODOLOGI

Pemodelan Desain Tangki Tunda

Sistem pendingin reaktor riset senantiasa terdiri dari dua untai yakni sistem pendingin primer dan pendingin sekunder. Pendingin primer berfungsi untuk mengambil panas dari reaktor untuk dipindahkan ke pendingin sekunder. Pada prinsipnya, komponen utama sistem pendingin reaktor terdiri dari teras reaktor (sumber panas), tangki tunda, pompa, penukar panas dan unit menara pendingin. Tangki tunda berada pada sisi hisap pompa pendingin primer, alat penukar panas berada pada sisi sembur pompa primer [1, 4].

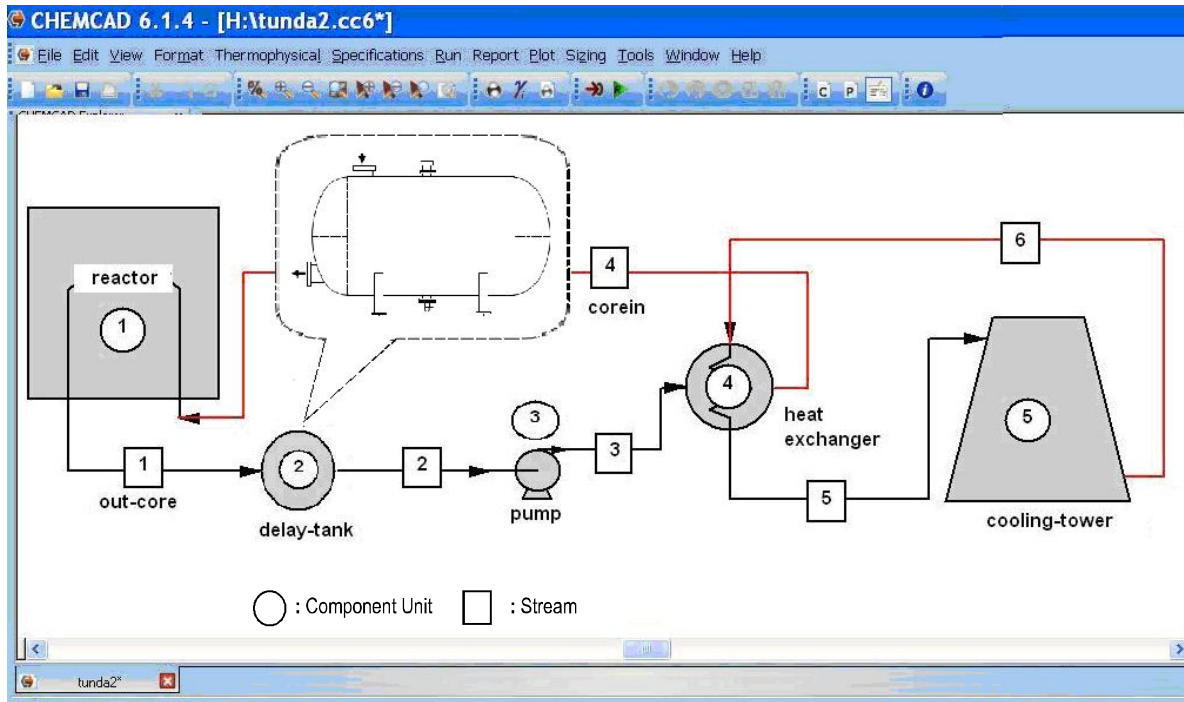
Pada tahap awal dalam penyusunan desain proses instalasi sistem pendingin, maka terlebih dahulu dibuat diagram alir. Diagram alir secara sistematis disusun dengan menggunakan paket ChemCad.6.1.4 sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2. ChemCad.6.1.4 adalah paket program untuk menganalisis desain awal proses baru, menghitung *heat and mass balance plant* proses industri, optimasi *existing process*, desain/*rating* pada *vessel*, *column*, penukar panas, pipa/katup dan instrumentasi [5].

Dalam desain awal diagram alir utama sistem pendingin reaktor tampak bahwa alur No.1, 2, 3 dan 4 merupakan untai pendingin primer. Sementara itu alur No.5 dan 6 adalah untai pendingin sekunder. Tangki tunda ini terletak antara bejana reaktor dan jalur sisi hisap pompa pendingin primer.

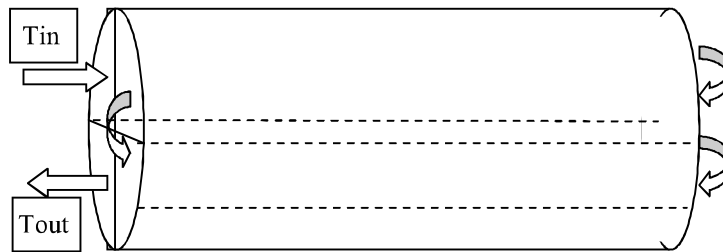
Konsep desain bentuk tangki tunda untuk reaktor, mengacu pada tangki tunda reaktor JRR3M jepang yang merupakan salah satu contoh tangki tunda yang berhasil dioperasikan dengan handal. Tangki tunda berbentuk silinder yang dibagi oleh penyekat aliran di dalamnya. Reaktor JRR3M merupakan reaktor riset tipe MTR dengan daya termal 20 MW dan laju pendinginan teras 2400 m³/jam atau sekitar 666 kg/detik [6].

Sketsa desain tangki tunda ditunjukkan pada Gambar 3. Desain tangki tunda ini ditentukan berbentuk silinder yang dipartisi menjadi 4 kanal horisontal oleh *longitudinal baffle*. Dari sketsa desain tangki tunda tersebut, dibuat model untuk mengetahui waktu lintasan aliran pendingin dari sisi masuk sampai keluar tangki. Dalam analisis desain, pada mulanya dibuat simulasi dengan cara memanipulasi kandungan N-16 yang diwakili oleh air injeksi pada temperatur yang lebih tinggi, air mengalir masuk kanal pada temperatur T_1 pada kondisi tunak. Awal perhitungan, dimulai dengan injeksi air panas pada temperatur T_2 pada posisi aliran masuk kanal. Injeksi dilakukan dengan membuka katup yang ditentukan sebagai waktu nol detik. Dalam proses ini, aliran air di setiap titik pantau posisi kanal akan mengalami perubahan temperatur sebagai fungsi waktu. Waktu tempuh aliran melalui kanal, diindikasikan dengan nilai temperatur aliran keluar kanal sama dengan temperatur aliran masuk kanal. Fenomena aliran ini diilustrasikan dalam sketsa Gambar 4 yang kemudian dikembangkan menjadi model nodalisasi seperti pada Gambar 5. Hal ini dimaksudkan supaya dapat disimulasikan dengan menggunakan RELAP5. Dengan pemodelan ini, maka dapat dimanfaatkan persamaan konservasi *massa* yang ada pada paket RELAP5.

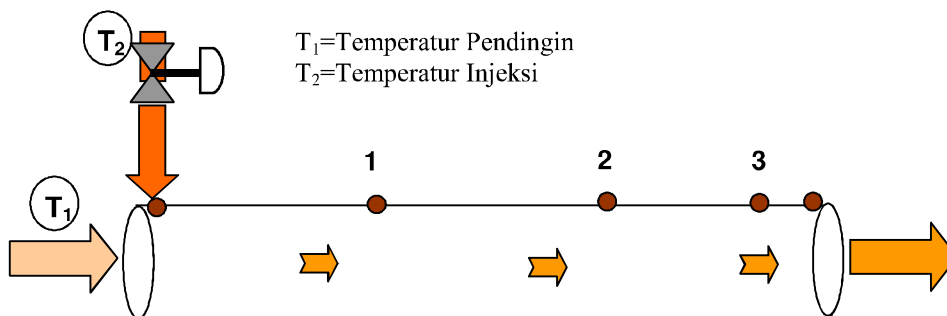
Pemodelan secara lengkap terdiri dari 3 tmdpvol, 1 trip-valve, 4 volume pipa, 5 single-volume, 1 tmdpjunc dan 9 single-junc. Proses simulasi pada RELAP5 dilakukan dengan membuka katup trip setelah kondisi tunak diperoleh. Parameter yang diamati (*minor request*) adalah temperatur volume dari node masuk hingga node keluar. Dalam pemodelan ini terdapat 7 titik pantau pada posisi antara aliran masuk kanal sampai aliran keluar kanal.



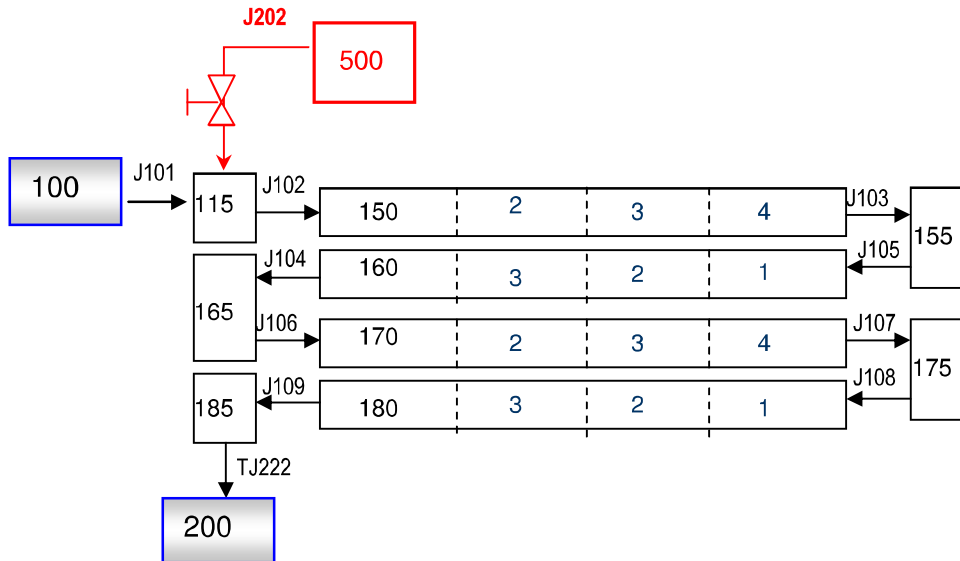
Gambar 2. Desain Diagram Alir Utama Sistem Pendingin



Gambar 3. Sketsa Desain Tangki Tunda



Gambar 4. Skema model Tangki Tunda



Gambar 5. Nodalisasi Tangki Tunda

Penetapan Batas Desain

Proses perhitungan desain, menetapkan beberapa angka desain berdasarkan ketentuan yang berlaku untuk dimensi standar *vessel* horisontal dalam industri sebagai berikut :

- Temperatur air 60 °C. (asumsi temperatur maksimum keluar teras)
- Rasio Dimensi (L/D) = 3, L=panjang tangki, D=diameter tangki (standar ASME)
- Diameter nosel = 0,3 Diameter tangki (standar ASME)
- Uji desain pertama menggunakan data diameter tangki 2m.
- Tipe *head* : *Ellipsoidal*, kedua *head* identik (standar *pressure vessel*)
- Target waktu peluruhan Nitrogen-16 = 57 detik (jeda waktu yang memungkinkan radiasi dari N-16 meluruh mendekati angka nol).
- Konduksi termal sepanjang kanal pada aliran air diabaikan (sangat kecil dibandingkan konveksi termal).
- Pendingin RRI menggunakan laju aliran untuk teras 800 kg/s [7], sebagai perbandingan reaktor JRR3M dan reaktor CARR adalah reaktor riset MTR dengan laju pendinginan teras sekitar 2400 m³/jam [8].
- Faktor friksi kanal (*roughness*) = 0,0000457 bahan baja *stainless*.
- Diameter hidrolika kanal,

$$D_{hidrolika} = \frac{4 A_{flow}}{WP_e} \quad (1)$$

- Volume *ellipsoidal head* [9]

$$V_{eL} = \left[\frac{\pi}{24} \right] \cdot D^3 \quad (2)$$

A_{flow} : luas penampang aliran (m²)

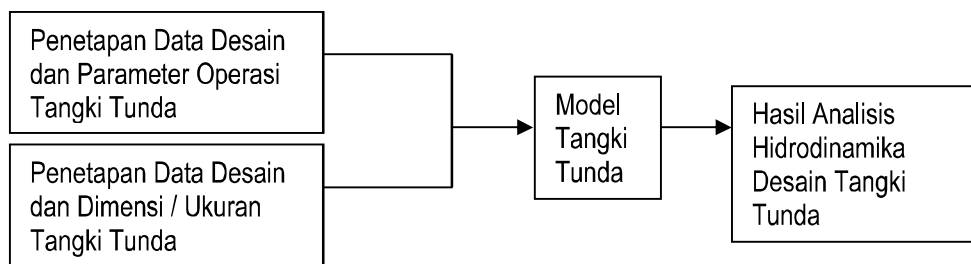
WP_e : *wetted perimeter*(m)

V_{eL} : volume *ellipsoidal head*, pendekatan empiris(m³)

D : diameter tangki (m)

Dalam desain tangki ini, tidak dibahas data parameter kekuatan dan beban penyangga, *thickness*, *allowable stress* dan parameter mekanik lainnya.

Diagram tata kerja pemodelan evaluasi desain yang ditunjukkan pada Gambar 6 adalah sebagai berikut : Pada mulanya air pendingin primer disimulasikan beroperasi pada kondisi tunak, langkah ini memerlukan pengaturan input data dan *time step control* sedemikian rupa sehingga proses konvergensi perhitungan berlangsung dengan baik. Selanjutnya skenario injeksi dikerjakan dengan langkah sebagai berikut : setelah kondisi tunak diperoleh dan telah menunjukkan beberapa parameter yang representatif dan stabil, maka proses simulasi injeksi air temperatur T_2 dapat dimulai (T_2 merepresentasikan N-16 dalam air injeksi). Katup dibuka kemudian parameter-parameter yang ingin ditampilkan pada output perhitungan dapat diinputkan pada fasilitas *minor edit requests*. Data parameter yang diamati untuk pemodelan ini difokuskan pada temperatur aliran pendingin di dalam kanal saja.

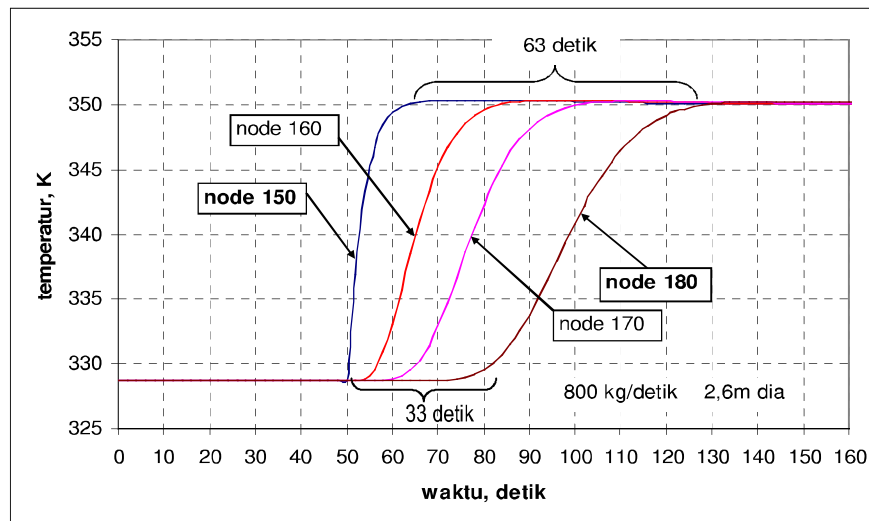


Gambar 6. Diagram Alir Analisis Desain

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 7 merupakan hasil analisis desain menggunakan RELAP5 yang menghitung pola kenaikan temperatur dari 0 detik sampai 160 detik. Secara ber-turut2 kurva temperatur tiap titik pantau naik akibat dilalui air panas, sampai akhirnya semua titik menuju ke temperatur yang sama. Kurva pada titik masuk (air masuk kanal) tampak naik dengan tajam karena berdekatan dengan posisi injeksi air panas. Tetapi pada titik pantau berikutnya, kurvanya agak landai karena terjadi olakan homogenisasi antara air masuk dengan air panas yang diinjeksikan ke dalam tangki. Catatan bahwa temperatur air masuk kanal = 60°C (333,15K) sedangkan temperatur air injeksi = 90°C (363,15K), sehingga perbedaan temperaturnya cukup untuk memantau perubahan temperatur aliran air di dalam kanal.

Berdasarkan data laju aliran 800 kg/detik dan diameter tangki 2,6 m maka jeda waktu antara awal kenaikan temperatur pada node 150 dan node 180 (Gambar 7) adalah 33 detik. Hal ini akan lebih pendek jika dibandingkan dengan apabila di dalam kanal-kanal node tersebut telah mengalami homogenisasi temperatur aliran secara sempurna. Dari kondisi yang homogen ini diperoleh kurva waktu tempuh antara node-150 mencapai temperatur konstan sampai berhimpitan dengan kurva node-180 diperoleh jeda waktu 63,0 detik seperti ditampilkan pada Gambar 7.



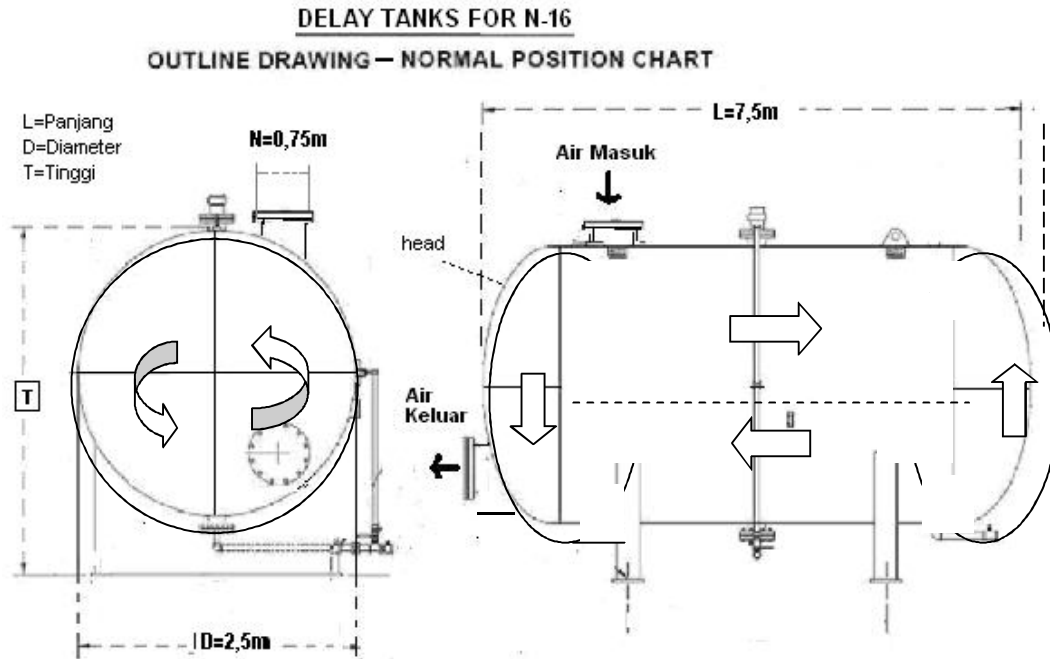
Gambar 7. Kurva Pola Temperatur Pada Laju Aliran 800 kg/detik

Sementara itu, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1 bahwa pada detik ke 57 radiasi dari N-16 sudah meluruh mendekati angka nol. Hasil desain menunjukkan bahwa diameter yang tepat adalah 2,5 m untuk waktu tempuh 57,5 detik. Kolom VI pada Tabel 1 adalah waktu tinggal (*residence time*) aliran di dalam tangki sebagai prediksi sederhana, dalam hal ini tidak mempertimbangkan arah percampuran dan friksi aliran. Sedangkan kolom VII adalah hasil perhitungan waktu tempuh melalui kanal dari output model RELAP5 yang merupakan bagian dari penyusunan model sistem pendingin RRI. Oleh karena itu waktu tinggal pada kolom VI lebih pendek.

Hasil dari RELAP5 untuk desain dapat dikatakan sangat aman pada outlet tangki karena dalam desain ini masih ada jeda waktu air mengalir dari teras ke nosel masuk tangki tunda. Artinya bahwa radiasi N-16 yang masuk tangki tunda sebetulnya sudah tidak 100 % lagi akan tetapi telah mengalami peluruhan.

Tabel 1. Hasil Desain Tangki Tunda Pada Laju Aliran 800 kg/detik

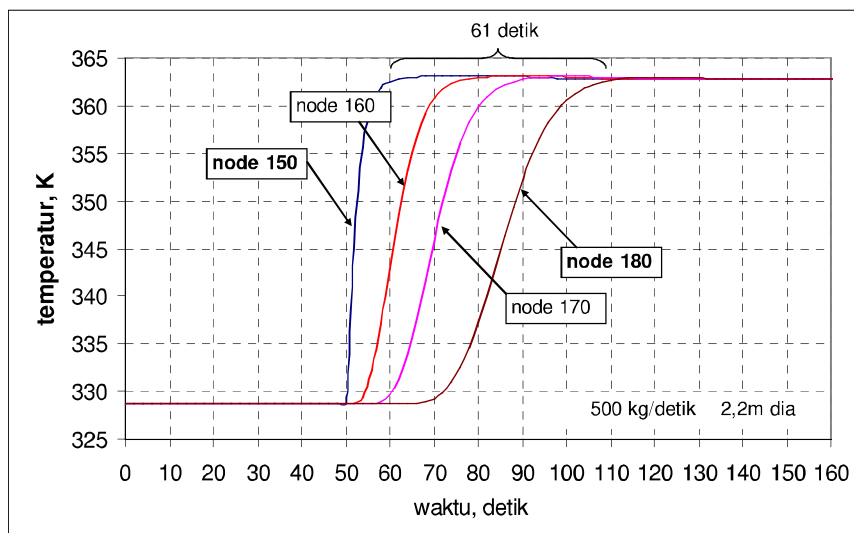
No.	Diameter (m)	Panjang (m)	Vol. Total (m ³)	Dia.Nosel (m)	Wkt. Tinggal (det)	W. Tempuh RELAP5 (det)
I	II	III	IV	V	VI	VII
1	2,0	6,0	20,933	0,600	26,2	29,0
2	2,1	6,3	24,233	0,630	30,3	34,7
3	2,2	6,6	27,862	0,660	36,8	40,4
4	2,3	6,9	31,837	0,690	39,8	46,1
5	2,4	7,2	36,173	0,720	45,2	51,8
6	2,5	7,5	40,885	0,750	51,1	57,5
7	2,6	7,8	45,990	0,780	57,4	63,0
8	2,7	8,1	51,504	0,810	64,4	68,9



Gambar 8. Sketsa Desain Tangki Tunda RRI Pada Laju Alir 800 kg/detik

Sketsa bentuk fisis penampang samping dan depan desain awal tangki tunda yang dilengkapi dengan lobang nosel *inlet* / nosel *outlet* dan *ellipsoidal head* ditunjukkan pada Gambar 8. Sesuai dengan batasan lingkup desain, maka desain ini tidak dikemukakan data kekuatan penyangga, *thickness*, *Allowable stress* dan tidak memperhatikan ruang (*space*) yang tersedia di dekat bejana reaktor. Pada umumnya instalasi tangki tunda N-16 reaktor riset terletak pada sisi samping bejana reaktor (RSG-GAS, Opal-Australia) atau tepat di bawah kolam reaktor (CARR-China), dan bahkan tangki tunda terletak di dalam bejana kolam reaktor (Apsara India).

Untuk mengantisipasi pemutakhiran apabila terjadi perubahan data desain sistem pendingin RRI maka dilakukan simulasi untuk memperoleh data desain pada laju aliran yang berbeda (lebih rendah) yaitu antara 500 kg/detik sampai 700 kg/detik. Dengan menggunakan model RELAP5 ini, waktu tempuh aliran air yang melintas di dalam tangki tunda dapat diketahui. Laju aliran tersebut merupakan rentang angka yang digunakan oleh berbagai reaktor riset MTR. Adapun Gambar 9 menunjukkan hasil simulasi pola kenaikan temperatur untuk laju aliran 500 kg/detik.



Gambar 9. Kurva Pola Temperatur Pada Laju Aliran 500 kg/detik

Tabel 2. Hasil Desain Tangki Tunda Pada Laju Aliran 500 kg/detik sampai 700 kg/detik

No.	L.Alir massa (kg/detik)	Diameter (m)	Panjang (m)	Volume Total (m ³)	Dia.Nosel (m)	Waktu tempuh (detik)
1	500	2,2	6,6	27,862	0,660	61
2	600	2,3	6,9	31,837	0,690	59
3	700	2,4	7,2	36,173	0,720	60

Hasil desain tangki untuk laju aliran massa pendingin dari 500 kg/detik sampai 700 kg/detik kemudian dikompilasikan pada Tabel 2, yang mana hasil simulasi RELAP5 untuk perhitungan desain didasarkan pada waktu tempuh sedikitnya 57 detik.

KESIMPULAN

Telah diperoleh pemodelan RELAP5 untuk tangki tunda sistem pendingin RRI (tangki tunda dalam meluruhkan produk isotop radioaktif Nitrogen-16 pada reaktor RRI) yang memiliki laju aliran pendingin 800 kg/detik. Desain tangki tunda adalah silinder dengan ukuran panjang 7,50 m, diameter 2,50 m, volume 40,88 m³, diameter nosel 0,75 m dan tangki dilengkapi *ellipsoidal heads*. Hasil analisis menunjukkan bahwa desain tangki tunda dapat meluruhkan radioaktifitas N-16 sampai mendekati nol selama 57,5 detik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada pihak yang terlibat dalam bagian dari kegiatan penelitian yang dibiayai oleh PI-PKPP Ristek Tahun 2012 dengan judul “Desain Termohidrolika RRI Berbahan Bakar Tingkat Muat Tinggi”.

DAFTAR PUSTAKA

1. ENDIAH P.H. dkk, “Desain Termohidrolika Reaktor Riset Inovatif Berbahan Bakar Tingkat Muat Tinggi”, Laporan Akhir Insentif Peningkatan Kemampuan Penelitian Dan Perekayasa, 2012.
2. RELAP5 Code Development Team, “RELAP5/Mod3. Code Manual “, User Guide and Input Requirements, NUREG/CR-5535-V2. Idaho National Engineering Laboratory, Washington DC 1995.
3. USNRC, “Radiation Sources at Nuclear Plants”, Techn. Training Center 0603 Reactor Concepts Manual, www.nrc.gov/reading-rm/basic-ref/teachers, diakses 5/12/2012.
4. SUKMANTO D, “Fenomena Aliran Dalam Kamar Tunda RSG-GAS”, Jurnal Teknologi Reaktor, ISSN1411-240x, V2, No.1, Feb. 2000.
5. CHEMSTATIONS, “ChemCad-Version-6 User-manual”, 2010.
6. YUKIO S, HIROE A, “Core Thermohydraulic Design for Upgraded Research Reactor JRR-3”, Journal Nuclear Science And Technology v.22 n.7 July 1985.
7. M. DARWIS I., dkk. ”Analisis Distribusi Laju Alir Desain Teras Reaktor Riset Berbahan Bakar Tingkat Muat Tinggi”, Prosiding Seminar Nasional TKPFN-18, Bandung, 2012.
8. MING ZHANG, “The Research Of Seismic Response Analysis Of CARR Reactor Complex”, Shanghai Nuclear Engineering Research & Design Institute, Shanghai 200233.
9. MOGENS, “Volume-of-ellipsoidal-head” www.eng-tips.com/viewthread.cfm?qid=27356 , diakses 21/12/2012.

DISKUSI / TANYA JAWAB :

PERTANYAAN: (Endiah Puji H – PTRKN BATAN)

- Apakah desain tangki peluruhan N-16 telah memperhitungkan apabila debit aliran 900 kg/detik dan kecepatan pendingin 10 m/detik?

JAWABAN: (Sukmanto Dibyo – PTRKN BATAN)

- Desain hanya untuk 800 kg/detik. Apabila laju air berubah maka desain tangki tunda juga berubah (harus desain ulang). Namun pemodelan RELAPS yang sudah dibuat masih dapat digunakan untuk desain ulang.

PERTANYAAN: (Amir Hamzah – PTRKN BATAN)

- Basis program RELAP adalah perubahan temperature pada aliran fluida. Bagaimana pembuatan program tersebut untuk mensimulasikan peluruhan N-16 pada tangki tunda reactor?

JAWABAN: (Sukmanto Dibyo – PTRKN BATAN)

- Dengan mengasumsikan bahwa tidak terjadi gerakan air akibat perubahan (perbedaan temperature) di dalam tangki tunda maka perubahan temperature akibat aliran air pendingin dapat mewakili gerakan N-16 yang terbawa oleh aliran air pendingin.