

VALIDASI PEMODELAN *TEST SECTION* QUEEN-II MENGGUNAKAN RELAP5

Sukmanto Dibyo, Susyadi, Mulya Juarsa, Suroso

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir -BATAN
Kawasan PUSPIPTEK Gd. 80, Serpong, Tangerang Selatan, 15310
Email: sukudibyo@batan.go.id

ABSTRAK

VALIDASI PEMODELAN *TEST SECTION* QUEEN-II MENGGUNAKAN RELAP5. QUEEN-II merupakan komponen test section yang digunakan untuk melakukan eksperimen termohidrolika pada batang elemen bakar (fuel rod) PWR. Fasilitas test section ini dikembangkan oleh PTRKN. Dengan menggunakan test section tersebut maka investigasi karakteristik termohidrolika fuel rod yang berkaitan dengan aspek keselamatan dapat dipelajari. Studi tentang bottom reflooding khususnya pada PWR ini menjadi sangat penting dan menarik dibidang penelitian rekayasa teknologi reaktor nuklir. Test section QUEEN-II ini terdiri dari kanal uji posisi tegak yang dibuat transparan dan rod material SS316 yang dipanaskan. Diameter rod 9,8 mm, panjang total 1500 mm bagian yang dipasang termokopel (heated zone) adalah 700 mm. Perangkat QUEEN-II yang dipasang pada fasilitas untai BETA (Boucle d'Experimental Termohidraulique Appliqué) dapat diaplikasikan dalam bentuk pemodelan pada RELAP5.SCDAP.M3.2. RELAP5 adalah paket program termal-hidrodinamika yang dapat digunakan untuk menganalisis kecelakaan kehilangan pendingin (Loss Of Coolant Accident, LOCA) pada sistem reaktor berpendingin air ringan (Light Water Reactor, LWR). Pemodelan RELAP5 pada dasarnya terdiri atas hydraulic volume, junction, heat structure dan time-dependent-junction (tmdjunc) yang terintegrasi di dalam nodalisasi untai terbuka dengan time-dependent-volume (tmdpvol) sebagai boundary condition. Dinding rod dimodelkan sebagai struktur material yang berperan pada transfer termal. Hasil pemodelan diverifikasi dengan data eksperimental dari test section QUEEN-II pada kondisi quenching post LOCA. Terdapat delapan titik aksial pengukuran temperatur pada permukaan rod dengan menggunakan termokopel. Sinyal termokopel dicatat oleh Data Acquisition System (DAS) WinDAQ T1000 ke dalam komputer pribadi. Berdasarkan tiga data eksperimental yang diamati, maka laju aliran sebesar 0,153 kg/detik menunjukkan kesesuaian dibandingkan dengan laju aliran yang lebih rendah dan secara umum temperatur rod pada bagian tengah diprediksi lebih tinggi (over-predicted) oleh RELAP5. Perbedaan yang cukup berarti terutama ditunjukkan oleh temperatur rod pada bagian inlet pendingin, yang mana hal ini dapat disebabkan oleh asumsi pemodelan adiabatik.

Keywords: Validasi Pemodelan QUEEN-II, Bottom Reflooding, RELAP5

ABSTRACT

VALIDATION OF *QUEEN-II* TEST SECTION MODEL USING RELAP5. The *QUEEN-II* is a test section component that used to carry out the thermal-hydraulic experiments of PWR fuel rod. The test facility has been developed by PTRKN. By using the test section, investigation of fuel rod thermal-hydraulic behavior related to the safety aspect can be studied. Study on bottom flooding, especially in PWR type become more attractive in research field on nuclear reactor technology. The *QUEEN-II* test sections are consisting of vertical test channel transparency and heated rod SS316 materials. The rod diameter, total length and thermocouple equipped (heated zone) are 9.8 mm, 1500 mm and 700 mm respectively. *QUEEN-II* test section is installed into the BETA (Boucle d'Experimental Termohidraulique Appliqué) loop facility can be applied as a model for RELAP5 SCDAP.M3.2. RELAP5 is a thermal hydraulic code that can be used to analyze the loss of coolant accident (LOCA) in a light water reactor (LWR) system. The RELAP5 models are principally consists of hydraulic volume, junction, heat structure and time-dependent-junction (tmdjunc) integrated in the open loop nodalization by time-dependent-volume (tmdpvol) as a boundary condition. The rod walls modeling should be created as a structure material that participated in a transferring thermal. Result of modeling was verified by experimental data taken from *QUEEN-II* test section for the quenching condition of post LOCA. There are eight points placed by thermocouples for measuring rod surface temperature. Thermocouples signals are recorded using data acquisition system (DAS) WinDAQ T1000 to a personal computer. Based on three experimental data investigated, the flow rate of 0.153 kg/sec shows good agreement compared with the other lower flow rates and in general the rod temperature of middle part is over-predicted by RELAP5. Significant deviation mainly is shown in the rod edge temperature near inlet coolant, in which this case may be caused by less adequate adiabatic model assumptions.

Keywords: Validation of *QUEEN-II* Modeling, Bottom Reflooding, RELAP5

PENDAHULUAN

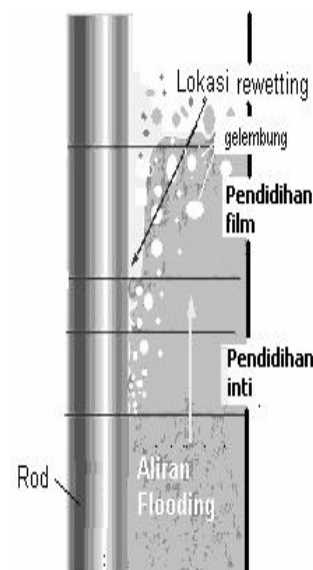
Dalam rangka penguasaan teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), maka peningkatan kemampuan SDM yang mampu berperan sebagai pendukung teknis (TSO, *Technical Support Organization*) sangatlah diperlukan. Dalam suatu desain PLTN, digunakan asumsi terjadinya kecelakaan berdasarkan prediksi yang sudah ditentukan. Salah satunya adalah kecelakaan kehilangan air pendingin (*Loss-Of-Coolant Accident*, LOCA) yang merupakan kecelakaan yang dipostulasikan dan menjadi dasar desain (*Desain Basic Accident*, DBA) sistem keselamatan PLTN. Ketika terjadi LOCA, di mana teras kekurangan pendinginan oleh bocornya pipa pendingin primer reaktor maka akan mengakibatkan naiknya temperatur permukaan elemen bakar yang diakibatkan oleh kalor peluruhan yang masih tinggi (meskipun reaktor telah padam). Dalam hal ini pendingin teras darurat akan bekerja secara otomatis. Proses kebocoran hingga terendamnya kembali *fuel-rod* elemen bakar merupakan peristiwa pasca-LOCA yang terdiri dari tahapan pengosongan (*blowdown*), pengisian dan penggenangan kembali (*reflooding*). Pada reaktor air tekan (*Pressurized Water Reactor*, PWR), proses pendinginan teras dilakukan dengan menggenangi teras dari bagian bawahnya (*bottom reflooding*) dengan mengoperasikan pompa darurat. Fenomena yang terjadi selama pendinginan *bottom reflooding* adalah terlihatnya pendidihan diawal penggenangan hingga tenggelamnya seluruh teras oleh air [1]. Pemahaman proses *reflooding* seperti disebut di atas dapat dimodelkan dengan menggunakan paket program RELAP5 yang dalam hal ini memakai versi RELAP5/SCDAP.M.3.2. Pengembangan model ini merupakan cara yang efisien untuk mengetahui karakteristik termohidrolika.

Paket RELAP5 adalah program komputer yang dapat digunakan untuk berbagai simulasi transien termohidrolika pada sistem reaktor nuklir maupun non-nuklir. Untuk itu, perlu dibuat model untuk mensimulasikan peristiwa *reflooding* elemen bakar PWR. Pembuatan model, dimaksudkan agar menghasilkan *output* yang sangat berguna untuk mengetahui fenomena *bottom reflooding* pada *rod* elemen bakar PWR. Untuk meyakinkan hasil pemodelan tersebut, maka divalidasi dengan data eksperimen yang menggunakan bagian uji (*test section*) QUEEN-II yang telah dibuat di PTRKN-BATAN [2]. Fasilitas QUEEN-II ini dilengkapi dengan 8 titik pengukuran temperatur pada permukaan *rod* dengan menggunakan termokopel. Selanjutnya dapat diperoleh model untuk RELAP5 yang

sudah tervalidasi yang diharapkan bermanfaat untuk simulasi pada masa mendatang.

TEORI

Selama pendinginan pada permukaan yang bertemperatur tinggi (di atas temperatur saturasi air pendinginnya) maka tidak dapat dengan segera dibasahi dan ditenggelamkan di dalam air pendingin, hal ini karena ketika air menyentuh permukaan, terjadi penguapan sehingga tetap kering. Selanjutnya, peristiwa kontak air pendingin dengan permukaan akan terjadi secara berulang. Sementara itu permukaan yang panas mengalami penurunan temperatur dan pada saat tertentu akhirnya air dapat membasahinya. Pada bagian terjadinya kontak antara air dan permukaan ini dikatakan sebagai batas pembasahan (*rewetting*). Lokasi ini membatasi daerah kering dan daerah basah. Jadi *Rewetting* merupakan proses pertama kalinya terbasahi kembali setelah sebelumnya kering akibat LOCA. Sedangkan *quenching* merupakan proses terjadinya pendinginan secara cepat oleh pendingin pada dinding bertemperatur tinggi atau lebih sering disebut sebagai penenggelaman mendadak benda panas dalam suatu media pendingin. Pendinginan akan disertai dengan proses pendidihan apabila temperatur permukaan berada di atas temperatur saturasi air. Proses pendinginan terjadi melalui mekanisme pendidihan dari rejim pendidihan film, rejim pendidihan transisi dan rejim pendidihan inti. Proses *reflooding* diilustrasikan pada Gambar 1 yang mana menunjukkan aliran pendingin dan rejim pendidihannya. Aliran yang mendidih (*flow boiling*), dipengaruhi oleh variabel laju aliran pendingin, jenis pendingin, geometri saluran, fluks kalor dan distribusi aliran.



Gambar 1. Proses *bottom reflooding*

DESKRIPSI RELAP5

RELAP5 merupakan paket program komputer yang dapat digunakan untuk melakukan simulasi *steady-state* maupun transien pada suatu sistem termal dan hidrodinamika pendingin air pada sistem nuklir maupun non-nuklir. Paket program ini dikembangkan dari model *node* dan *junction multi-dimensional* termohidrolika untuk menghitung keseluruhan perilaku termohidrolika sistem pendingin. Model yang digunakan merupakan sistem hidrodinamika *nonequilibrium* dan *nonhomogenous* dua-fluida termasuk perpindahan gas-gas tak terkondensasi, perpindahan kalor secara konveksi, konduksi kalor satu dimensi pada struktur sistem, kinetika reaktor, sistem kontrol dan logika *trip*. Paket program juga mengandung model komponen sistem pada reaktor pendingin air ringan (*Light Water Reactor, LWR*) seperti pompa, katup, turbin, separator dan sebagainya.

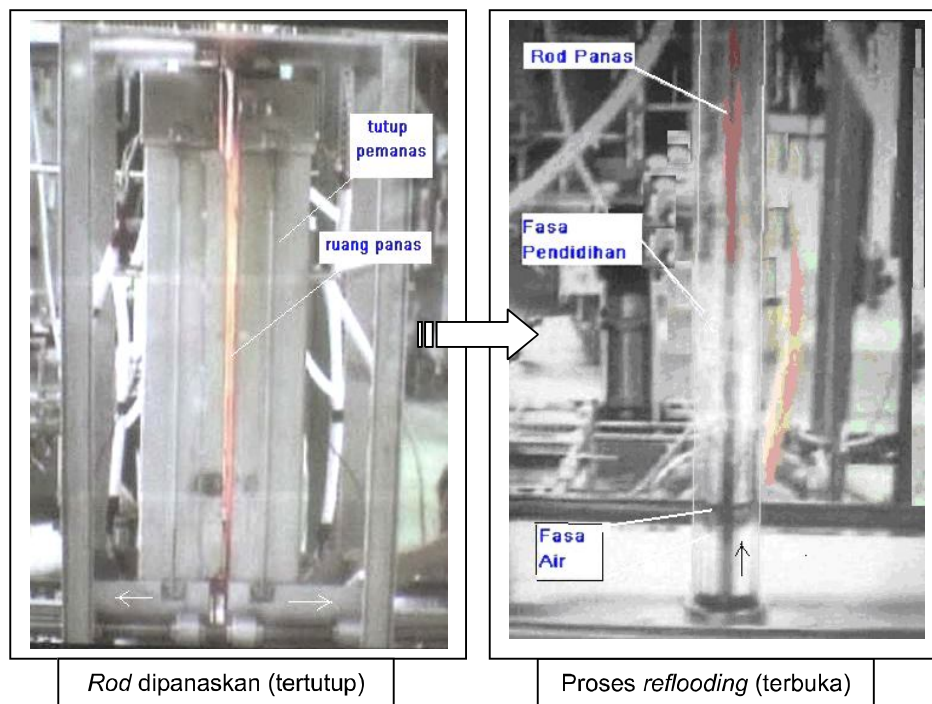
Komponen hidrodinamika dapat memodelkan *single volumes, time-dependent volumes, pipa, anulus, separator, percabangan, akumulator* dan pompa. Setiap model saling terhubung dengan model *junction* baik berupa *time-dependent junction, single / multiple junction* atau katup. Komponen hidrodinamika memiliki korelasi persamaan satu dimensi untuk fluida tunggal maupun aliran dua fasa air-uap air di mana

persamaan dasarnya terdiri dari persamaan kekekalan massa, momentum dan energi.

Struktur kalor (*heat structure*) terdapat pada komponen pembangkit kalor maupun pada bagian yang terjadi perpindahan kalor yang dihubungkan dengan komponen hidrodinamika. Struktur kalor dapat mewakili struktur yang melingkupi suatu kanal aliran dan pada reaktor dapat digunakan untuk memodelkan dinding bejana reaktor, batang bahan bakar, dan *U-tubes* dari pembangkit uap. Data kinetika reaktor digunakan untuk mewakili perilaku daya reaktor berdasarkan pendekatan kinetika titik [3].

DESKRIPSI BAGIAN UJI QUEEN-II

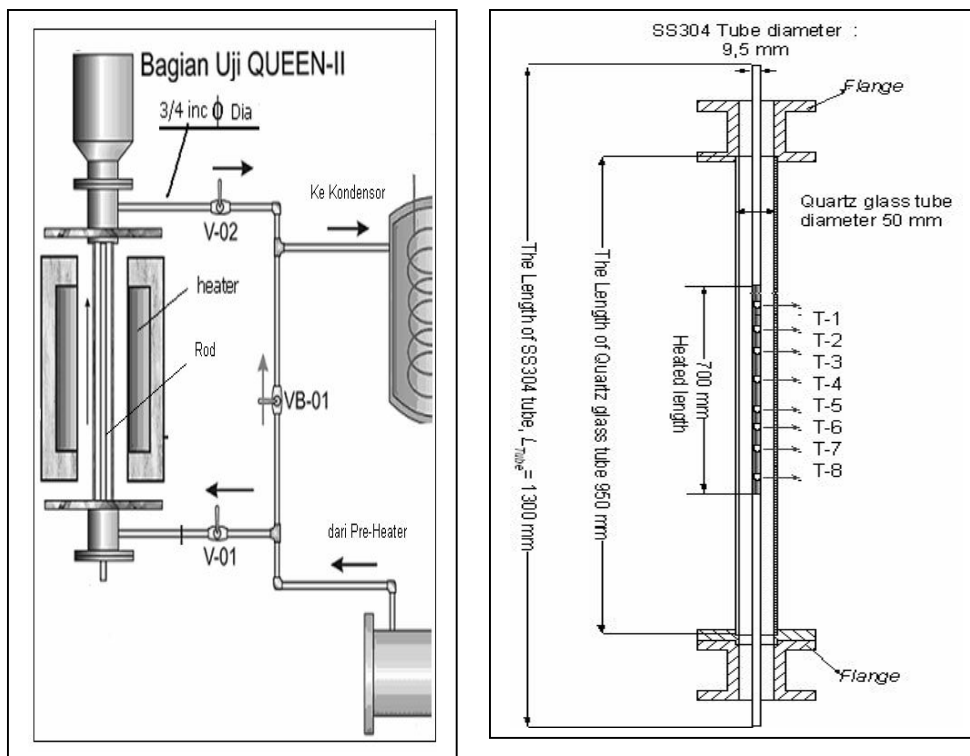
Untai uji BETA (*Boucle d'Experimentale Termohydraulique Appliquée*) merupakan fasilitas untuk eksperimen yang telah dirancang-bangun di PTRKN - BATAN. Fasilitas uji ini dapat memberikan kontribusi terhadap desain keselamatan termohidrolika reaktor, khususnya pada proses *quenching* yang terjadi pada *fuel rod*. Oleh karena itu bagian uji ini disebut "QUEEN" (*Quenching Experiment*) [2]. Visualisasi bagian uji QUEEN-II disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Visualisasi Bagian Uji QUEEN-II

Komponen utama Untai Uji Beta terdiri dari : kanal uji yang memuat bagian uji (*test-section QUEEN-II*) posisi tegak, pemanas mula, pompa sirkulasi, dan penukar kalor untuk membuang kalor ke untai sekunder. Kanal uji dibuat transparan dari kwarsa untuk memudahkan visualisasi. Bagian uji terdiri dari batang (*rod*) yang dapat dipanasi oleh pemanas, pada bagian ini dapat juga dipasang konfigurasi empat *rod* pemanas. *Rod* panas merupakan simulasi kondisi *rod* elemen bakar yang ada pada reaktor PWR. Diameter luar *rod* 9,8 mm dan tebal kelongsong 0,7 mm dengan material SS316 yang memiliki titik leleh 1397°C. Pada permukaan *rod* ini sepanjang vertikal dipasang 8 buah termokopel tipe K secara berurut pada posisi aksial. Panjang total *rod* adalah 1300 mm dan bagian yang dipasang termokopel

(*heated zone*) sepanjang 700 mm dengan jarak antar termokopel 100 mm. Termokopel bagian paling bawah di tandai sebagai titik nomor 8 (T-8) untuk node-1 dan bagian paling atas (700 mm) sebagai titik ke-1 (T-1) untuk node-8. Sistem pemipaan terbuat dari besi SS316 ukuran 3/4 inci. Pompa sirkulasi merupakan jenis sentrifugal yang laju alirnya dapat divariasikan hingga 50 liter/menit, pengaturan laju alir digunakan katup pada aliran *by-pass*. Pemanas mula mempunyai daya maksimum 50 kWatt. Eksperimen proses pembasahan kembali (*rewetting*) yaitu saat teras PWR mengalami *reflooding* dapat disimulasikan dengan cara mengalirkan air dari bagian bawah. Berikut ini ditunjukkan diagram untai uji berikut bagian uji QUEEN-II (Gambar 3) [2].



Gambar 3. Diagram Untai Uji BETA Dan Bagian Uji QUEEN-II

EKSPERIMEN

Data pengukuran

Data temperatur yang digunakan dalam eksperimen adalah temperatur *rod* yang terdiri dari delapan titik pengukuran pada posisi tegak aksial. Secara umum, eksperimen ini dilakukan dengan cara memanaskan *rod* QUEEN-II dari pemanas eksternal sebelum proses *reflooding* berlangsung. Sebagai kondisi awal, temperatur air 85°C dan temperatur *rod* mencapai sekitar 800°C. Variabel yang digunakan adalah laju aliran *reflooding* dari 0,0153 sampai 0,153 kg/detik, air mengalir dari bagian bawah kanal QUEEN-II (*bottom*

reflooding). Laju aliran pada kanal uji QUEEN-II ini diukur dengan cara mengamati kecepatan aliran yang melalui luasan aliran pada anulus.

Prosedur Kerja.

Tahap awal adalah pemanasan *rod* QUEEN-II, setelah mencapai temperatur yang dikehendaki kemudian pemanasan dihentikan. Selanjutnya dilakukan proses *bottom reflooding* dengan mengatur laju aliran pendingin melalui katup pengatur. Dalam hal ini, temperatur air *reflooding* yang dialirkan telah dipanaskan pada kondisi *sub-cooling* sekitar 85°C melalui *pre-heater*. Berdasarkan data fisis geometri untai BETA

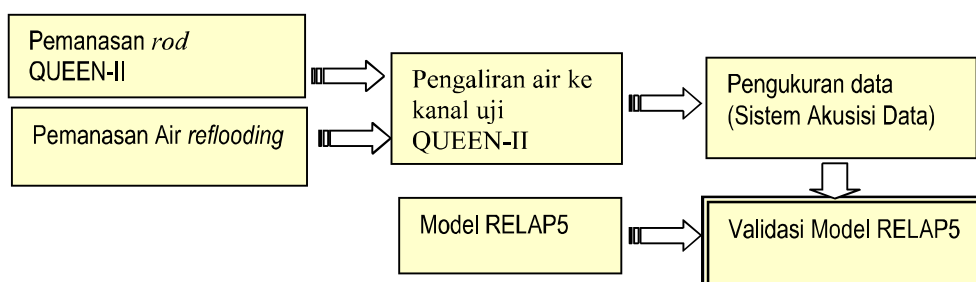
termasuk bagian uji QUEEN-II, maka disusun model dengan menggunakan data parameter operasi. Secara skematis prosedur pelaksanaannya ditampilkan pada Gambar 4.

PEMODELAN

Pemodelan secara umum dapat disusun dari data geometri, kondisi awal, tabel *time-dependent-variable* dan *time-step-control* [4]. Dalam pengembangan pemodelan ini, nodalisasinya dimodelkan sesuai dengan fisik fasilitas untai uji BETA. *Pre-heater* dan kondensor pada untai BETA ditetapkan sebagai kondisi batas (*boundary condition*) sumber dan pembuangan (*sink*) dengan menggunakan model *tmdpvol* (*time-dependent-volume*) yang menentukan kondisi laju alir, tekanan dan temperatur tertentu yang disesuaikan dengan parameter operasi pada untai uji. Sebuah *tmdjunc* (*time-dependent-junction*) yang berada pada posisi antara pipa P-170 dan P-180 digunakan untuk mengalirkan air pendingin menuju bagian uji QUEEN-II. *tmdjunc* ini aktif berfungsi setelah diatur melalui kartu logika trip. Aliran air pada untai BETA dimodelkan oleh komponen pipa yang masing-masing dihubungkan oleh *junction*. Pada kondisi awal (*initial condition*), bagian uji

QUEEN-II dimodelkan sebagai volume kosong (berisi udara). Oleh karena itu, pada input RELAP5 digunakan udara untuk tipe gas tak terkondensasi (*non-condensable gas*) yang dimasukkan pada kartu 110.

Model bagian uji QUEEN-II direpresentasikan oleh *rod* tunggal bertemperatur tinggi dan volume kanal aliran air *reflooding*, *rod* ini merupakan pembangkit kalor yang dimodelkan sebagai *heat structure* [5]. Pada arah aksial *rod* dibagi menjadi 8 bagian *heat structure*, dan kanal aliran dimodelkan sebagai komponen anulus yang juga terdiri dari bagian-bagian volume, melalui kanal inilah air dialirkan [6]. Bagian atas di atas plenum merupakan volume terbuka yang memungkinkan uap air keluar ke kondisi atmosfer. Untuk itu bagian ini juga dimodelkan sebagai *tmdpvol* yang mensimulasikan ruang kosong bertekanan atmosfer (komponen ini diaplikasikan pada node *tmdpvol-222*). Detail diagram pemodelan ditunjukkan pada Gambar 5. Berdasarkan model yang dikembangkan tersebut, maka disusun *input-deck* untuk digunakan pada paket RELAP5. Distribusi Aksial temperatur *rod* sebelum proses *bottom reflooding* dari data pengukuran ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 4. Prosedur Kerja

Tabel 1. Hasil Eksperimen Distribusi Temperatur Rod (°C) Untuk *Initial Condition*.

No Node (Aksial)	0,0153 kg/det	0,059 kg/det	0,153 kg/detik
1	473,9	498,2	342,7
2	673,1	668,0	568,0
3	814,4	804,9	670,0
4	817,4	804,0	678,6
5	771,6	760,4	669,1
6	704,0	688,8	635,1
7	534,0	505,0	574,0
8	200,9	210,8	211,4

HASIL DAN PEMBAHASAN

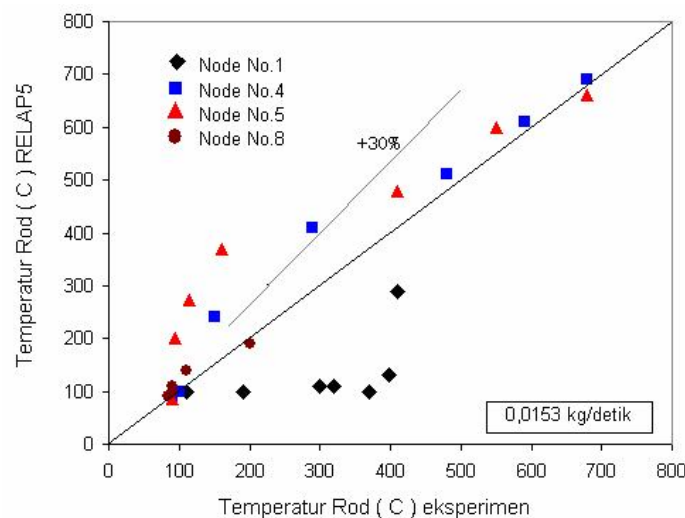
Parameter dasar yang digunakan untuk pencapaian kondisi *steady* adalah parameter yang terutama digunakan untuk verifikasi data yaitu temperatur *rod*. Adapun pencapaian *steady* dalam perhitungan dikerjakan dengan menggunakan mode *NEW TRANST* pada kartu nomor 100 yang tersedia pada input RELAP5. Dalam pemodelan ini, kondisi stabil telah dicapai sampai pada kisaran 300 detik. Hal yang juga perlu diperhatikan dalam memasukkan data input pada komponen volume adalah penggunaan kondisi awal (*initial condition*) yang memadai, sehingga dapat diperoleh konvergensi perhitungan pada RELAP5.

Data-data yang penting sebagai parameter untuk validasi ditunjukkan pada Gambar 6 sampai Gambar 8. Untuk investigasi dan penelusuran temperatur *rod* maka telah dipilih posisi dua node bagian tengah (node-4 dan node-5) dan node bagian ujung (node-1 dan node-8) sebagaimana terlihat pada gambar 6, sementara itu yang dekat dengan node ujung yakni node-2, 3, 6 dan node-7 tidak ditampilkan.

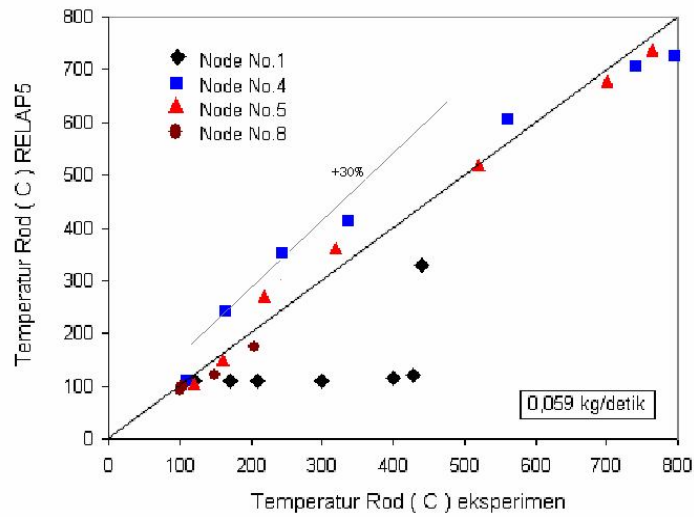
Hasil eksperimen menunjukkan bahwa temperatur *rod* setiap posisi aksial tampak bervariasi. Di dalam model ini, temperatur awal proses *reflooding* di tiap posisi aksial *rod* dianggap (diasumsikan) berada pada kondisi temperatur maksimum dalam waktu yang bersamaan. Hal ini sedikit berbeda dengan data pengukuran yang sebenarnya, di mana temperatur *initial* ini tidak serta-merta berada

pada waktu yang bersamaan. Kondisi temperatur awal ini diaplikasikan pada kartu input lcccg401 sampai lcccg408 sebagai *Initial Temperature Data*. Faktor lain yang perlu mendapat perhatian adalah adanya pengaruh kalor konduksi maupun konveksi pada *rod* ke media sekitarnya, yang mana QUEEN-II diasumsikan sebagai model adiabatik yang tidak memperhatikan pengaruh *heat-loss*. Oleh karena itu, model *heat-structure* tidak dimasukkan ke dalam RELAP5.

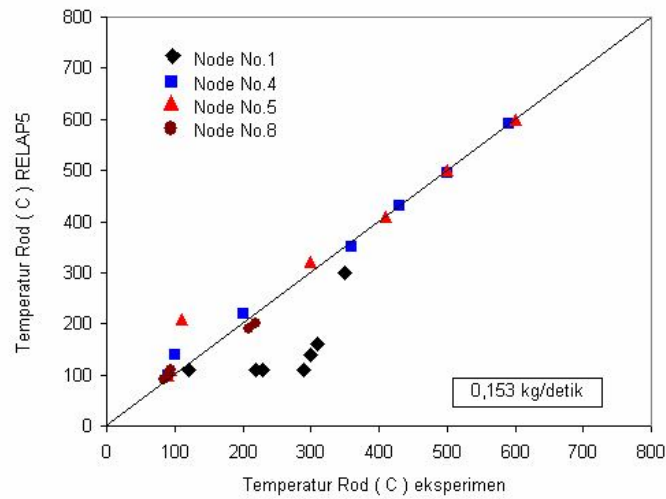
Secara umum, pada node-1 tampak terjadi deviasi yang signifikan yang mana mungkin disebabkan oleh pengaruh konduksi logam pemegang *rod* yang berdekatan dengan node-1 atau beberapa sebab yang belum dapat diuraikan di sini. Pada node-node bagian tengah (node-4 dan node-5) temperatur *rod* untuk laju alir 0,0153 kg/detik pada Gambar 6 diprediksi lebih besar (*over-predicted*) oleh RELAP5. Pada Gambar 7, terlihat sebarannya masih di atas garis diagonal (deviasinya kurang dari 30%) yang berarti bahwa RELAP5 menghitung transfer kalor lebih rendah pada bagian ini. Hal ini dapat disebabkan oleh kondisi fluks kalor kritis dalam peristiwa *rewetting* serta secara visual terlihat terjadi rejim pendidihan *film*. Pada RELAP5, pustaka paket transfer kalor (*heat transfer package library*) pada kondisi transisi pendidihan ini menggunakan korelasi CHEN untuk rejim aliran pendidihan dispersi [7]. Dalam desain transfer kalor pada teras reaktor (nuklir), investigasi fenomena fluks kalor kritis sampai saat ini masih berkembang.



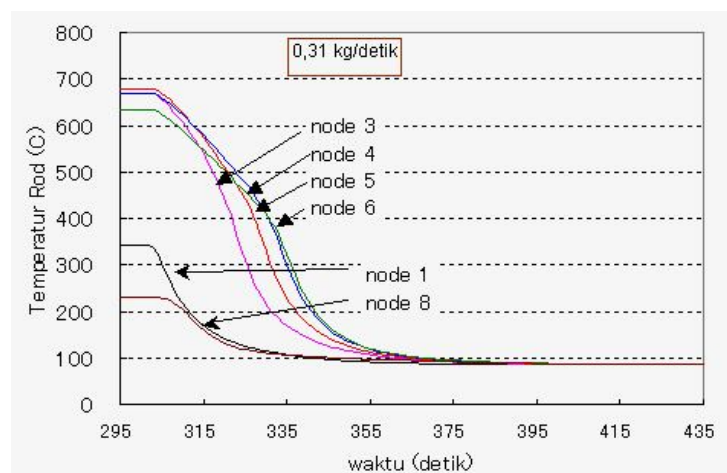
Gambar 6. Sebaran Temperatur *Rod* Pada Laju Aliran 0,0153 kg/detik



Gambar 7. Sebaran Temperatur Rod Pada Laju Aliran 0,059 kg/detik



Gambar 8. Sebaran Temperatur Rod Pada Aliran 0,153 kg/detik



Gambar 9. Kurva Temperatur Pada Laju Alir 0,31 kg/detik

Di dalam pengamatan temperatur *rod* node-8 (tanda bulat), RELAP5 menunjukkan keadaan yang lebih logis di mana deviasi relatif kecil.

Apabila dilihat data temperatur *rod* pada Gambar 8, maka data dengan laju aliran 0,153 kg/detik ini cenderung lebih memberikan kesesuaian dibandingkan laju aliran yang lebih rendah. Kondisi ini dapat disebabkan oleh dampak pengaruh kecepatan *quenching* oleh laju aliran *reflooding*. Hal yang sama juga disampaikan oleh Nelson R.A, di mana untuk laju aliran yang lebih tinggi memberikan prediksi yang lebih sesuai [8]. Oleh karena itu selanjutnya dicoba melakukan simulasi *bottom reflooding* pada laju aliran yang lebih tinggi yaitu 0,310 kg/detik atau pada kecepatan 0,180 m/detik (kecepatan aliran ini masih dalam rentang laju injeksi kondisi *reflooding* darurat pada PWR) [9]. Pola kurva penurunan temperatur *rod* ditunjukkan pada Gambar 9. Meskipun tidak ada data eksperimen untuk verifikasi hasil simulasi ini namun indikasinya cenderung memberikan pola kurva yang lebih baik.

Hal yang masih perlu mendapat perhatian dalam validasi dari data pengukuran dan pemodelan ini adalah bahwa problem teknis dalam pemodelan *reflooding* harus mempertimbangkan model *heat structure* dan kanal aliran yang dapat merepresentasikan kondisi tersebut, oleh karena itu masih perlu pengembangan model lebih lanjut dan juga pemutakhiran data input seperti distribusi temperatur pada kartu 1cccg401 dan data lain yang terkait.

KESIMPULAN

Pembuatan model berikut pengujian telah diselesaikan dan pembuktian hasil pemodelan telah dibandingkan dengan eksperimen. Validasi hasil pemodelan dengan data eksperimen terlihat perbedaan yang berarti pada laju aliran *reflooding* yang rendah, hal ini kemungkinan oleh moda pendidihan aliran pada RELAP5. Secara umum, model yang dibuat telah merepresentasikan karakteristik pola kurva temperatur transien *reflooding*.

Model *bottom-reflooding* yang diaplikasikan pada RELAP5 ini dapat memberikan kontribusi pada penelitian termohidrolika bundel *rod* teras PWR terkait dengan aspek desain keselamatan teras. Disamping itu juga memberikan informasi penting yang dapat digunakan berbagai parameter yang lebih luas sehingga menghasilkan suatu analisis lebih luas secara kuantitatif.

Dalam pengembangan model selanjutnya, dapat diperbaiki dengan menambah jumlah distribusi temperatur aksial pada *rod* yang lebih banyak untuk mendapatkan ketelitian yang baik.

Laju aliran 0,153 kg/detik ini cenderung lebih memberikan kesesuaian dibandingkan laju aliran yang lebih rendah.

DAFTAR PUSTAKA

1. MULYA J, dkk, Studi On Boiling Heat Transfer During Reflooding Process in "QUEEN" TEST SECTION, Proceeding of ICAPP 2005, Seoul, May 15-19, (2005)
2. MULYA J, dkk., Pengembangan Bagian Uji QUEEN Guna Penelitian Perpindahan Panas Selama POST-LOCA : Desain dan Konstruksi Awal, Prosiding Presentasi Ilmiah Teknologi Keselamatan ke-X, P2TKN-BATAN, Serpong 15-17 Februari 2005.
3. RELAP5 Code Development Team, "RELAP5/MOD3. Code Manual ", User Guide and Input Requirements, NUREG/CR-5535-V2. Idaho National Engineering Laboratory, Washington DC 1995
4. KONDO M, "Practical Work Of RELAP5 Analysis", Thermal-hydraulic Safety Research Group JAEA, NSRA Nuclear Safety Course 2008.
5. SUKMANTO D, "Pemodelan Sistem Pendingin JNA RSG-GAS menggunakan RELAP5.3", Majalah Ilmiah Sigma Epsilon no. 3 Vol. 11 2006
6. SUKMANTO D, "Analisis Karakteristik Hidrodinamika Sistem Injeksi Core Make-up Tank Menggunakan RELAP5.SCDAP.M3.2", Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir, Jkt 18/06/2008, ISSN1979-1278.
7. BUB DONG CHUNG dkk, Improvements to the RELAP5.M3 Reflood Model And Uncertainty Quantification of Reflood Peak Clad Temperature, International Agreement Report, NUREG.IA-0132 Camp001, 1996.
8. NELSON R.A dkk, A Phenomenological Thermal-Hydraulic Model Of Hot Rod Bundles Experiencing simultaneous bottom and top quenching", Reflood completion Report, Nuclear System Design and Analisis Los Alamos National Laboratory, New Mexico, LA-UR98 April 1998.
9. ABE dkk, Experimental Study of Upper core Quench in PWR Reflood Phase, Journal of Nuclear Science and Technology, 20-7-July-1983

TANYA JAWAB

Pertanyaan :

Apakah kondisi refloading dapat disimulasikan untuk reaktor riset?

(Ign. Joko Irianto PTRKN-BATAN)

Jawaban :

Pemodelan bisa untuk reaktor riset tapi tentu temperatur lebih rendah.