

SIMULASI TRANSIEN KEHILANGAN ALIRAN PENDINGIN DALAM REAKTOR PIUS MENGGUNAKAN RELAP5/MOD 2

Ign. Djoko Irianto
PPTN - BATAN

ABSTRAK

SIMULASI TRANSIEN KEHILANGAN ALIRAN PENDINGIN DALAM REAKTOR PIUS MENGGUNAKAN RELAP5/MOD2. Telah dilakukan simulasi transien kecelakaan akibat kehilangan aliran pendingin dalam reaktor Process Inherent Ultimate Safety (PIUS). Simulasi ini merupakan bagian dari analisis keselamatan terhadap rancangan reaktor nuklir maju yang mempunyai sifat keselamatan melekat yaitu reaktor PIUS berdaya termal 2000 MWth (PIUS 2000). Analisis ini dipusatkan pada keadaan transien kecelakaan yaitu transien akibat hilangnya aliran pendingin primer karena kehilangan catu daya listrik pada pompa primer yang disebabkan oleh hilangnya catu daya listrik luar (off-site power). Simulasi ini dilakukan di Universitas Nagoya Jepang, menggunakan paket program komputer RELAP5/MOD2. Analisis dilakukan dengan memperhatikan pengaruh struktur bahang (heat structures) pada laju alir pendingin melalui teras, density lock dan kolam air borat selama fase sirkulasi natural. Hasil simulasi menunjukkan bahwa akan terjadi perilaku siklus sirkulasi natural dari kolam melalui density lock, riser (teras) dan kembali ke kolam akibat berhentinya pompa primer.

ABSTRACT

LOSS OF FLOW TRANSIENT SIMULATION IN PIUS REACTOR USING RELAP5/MOD2. Accident transient due to the loss of flow in the Process Inherent Ultimate Safety (PIUS) reactor has been simulated. This simulation constitutes a part of the safety analysis in the advanced nuclear reactor design which is inherently safe such as PIUS reactor having the thermal power of 2000 MWth (PIUS 2000). The analysis was focused on the accidental transient of loss of flow due to the loss of power supply to the primary pumps that can result from a loss of off-site power. Simulation was done in Nagoya University of Japan by using computer code RELAP5/MOD2. The effect of heat structures on the coolant flow rate through the core during the phase of natural circulation through density lock and borated water pool has been analyzed. The simulation results showed that the cyclic behavior of natural circulation through the pool, density lock and riser (core) occurred due to the failure of the primary pump.

PENDAHULUAN

Reaktor nuklir maju tipe *Process Inherent Ultimate Safety* 2000 MWth (PIUS 2000) dirancang dengan menggunakan sistem keselamatan yang melekat (*inherently safe*) [1]. Prinsip dasar pada rancangan ini adalah tingkat keselamatannya yang tinggi dengan mengurangi campur tangan operator maupun peralatan rekayasa keselamatan. Oleh karena itu, kajian keselamatan pada reaktor jenis ini menjadi dasar yang sangat penting, karena dalam sistem reaktor ini tidak terdapat batang kendali maupun sistem pendingin teras darurat.

Reaktor PIUS dirancang berdasarkan sistem reaktor air tekan (*Pressurized Water Reactor* = PWR) dengan modifikasi seluruh untai pendingin primer direndam di dalam kolam berisi air borat

dingin berkonsentrasi tinggi. Air pendingin primer bersentuhan langsung dengan air borat dalam kolam melalui *density lock*. *Density lock* adalah suatu komponen dimana terdapat antarmuka antara air panas dengan air dingin untuk mencegah bercampurnya air borat dalam kolam dengan air pendingin primer.

Dalam kondisi beroperasi, terjadi kesetimbangan tekanan dalam *density lock* antara untai pendingin primer dengan kolam air borat. Perbedaan tekanan antara untai pendingin primer dengan kolam air borat akan menimbulkan aliran sirkulasi natural melalui *density lock* bawah, teras, *riser*, *density lock* atas dan kemudian kembali ke kolam. Masuknya air borat berkonsentrasi tinggi dari kolam ke dalam daerah teras reaktor akan mengakibatkan reaktor *shutdown*. Selain itu, aliran

sirkulasi natural melalui kolam akan menjamin pembuangan panas dari teras pada kondisi transien kecelakaan. Apabila terjadi kehilangan daya listrik luar, pompa primer akan berhenti (*coast-down*) dan akan menyebabkan terjadinya sirkulasi natural melalui kolam. Selanjutnya reaktor akan *shutdown* dan aliran air pengisi pada pembangkit uap akan berhenti.

Makalah ini membahas simulasi transien kecelakaan yaitu pompa primer *trip* (berhenti) dengan menggunakan paket program komputer RELAP5/MOD2. Paket program komputer ini dikembangkan untuk PWR dan BWR konvensional, dan tidak mencakup model-model khusus untuk komponen-komponen inovasi misalnya *density lock*, *siphon breaker* dan *pressuriser* dengan dua level cairan yang berbeda. Oleh karena itu harus diberikan perhatian secara istimewa dalam penyusunan nodalisasi pada bagian-bagian ini untuk menghindari hasil perhitungan numerik yang tidak stabil. Selain itu pemberian masukan *time step* yang tepat akan sangat mempengaruhi hasil simulasi [2.3].

Dalam makalah ini disajikan nodalisasi yang optimal untuk simulasi transien, analisis simulasi kecelakaan kehilangan aliran primer dan pengaruh perpindahan panas antara untai pendingin primer dengan kolam reaktor pada laju alir pendingin yang melalui teras.

NODALISASI REAKTOR PIUS

Nodalisasi reaktor PIUS yang disusun berdasarkan data rancangan reaktor yang termuat dalam *Preliminary Safety Information Document* PSID 88 [1] ditampilkan pada Gambar 1. Pada nodalisasi tersebut seluruh struktur bahang (*heat structure*) baik di dalam maupun diluar sistem pendingin primer serta kolam reaktor dipertimbangkan. Struktur bahang adalah simulasi untuk perpindahan panas antara sistem pendingin primer dengan kolam air borat.

Dua model perhitungan telah dilakukan yaitu yang pertama seluruh struktur bahang dipertimbangkan sedangkan yang kedua hanya struktur bahang yang mensimulasi elemen bakar dan bundel tabung pembangkit uap yang dipertimbangkan. Selanjutnya pada perhitungan pertama yang mempertimbangkan seluruh struktur bahang disebut model "dengan struktur bahang" sedangkan yang kedua yang hanya memper-timbangkan struktur

bahang pada elemen bakar dan tangki pembangkit uap disebut model "tanpa struktur bahang". Dalam kedua model tersebut, keempat untai pendingin primer dimodelkan dengan satu untai ekuivalen yang mempunyai panjang dan diameter hidraulik yang sama dengan untai tunggal yang nyata dengan luas aliran empat kalinya. Koefisien tekanan lokal dan permukaan perpindahan panas dalam sistem tidak divariasikan. Skala pompa primer dinaikkan untuk menjamin *head*/tekanan yang sama dengan laju alir total relatif terhadap keempat untaian. Kriteria yang digunakan dalam ukuran pembangkit uap adalah sama seperti apabila satu untai digunakan dalam untaian.

Daya termal melalui struktur bahang maupun distribusi tekanan dalam sistem tetap dipertahankan. Selanjutnya, perhatian khusus harus diberikan dalam menyusun nodalisasi *pressuriser* untuk menghindari ketidak-stabilan numerik yang menyebabkan level air berosilasi dalam *pressuriser*. Level air dapat naik bila antarmuka air-uap dalam *pressuriser* diletakkan dekat dengan *junction* antar *volume* hidrodinamik untuk jangka lama. Dengan alasan ini, maka nodalisasi *pressuriser* dalam model tanpa struktur bahang harus diubah ke dalam model dengan struktur bahang.

Dalam model tanpa struktur bahang, karena dinding untai pendingin primer dan kolam reaktor diisolasi, sedangkan semua daya termal yang dibangkitkan dalam bahan bakar dan yang dibangkitkan sepanjang lintasan aliran pendingin karena adanya friksi pada dinding harus dipindahkan ke pendingin sekunder, maka daya termal yang diubah dalam pembangkit uap dalam kondisi tunak adalah sedikit lebih besar dibandingkan dengan model dengan struktur bahang.

Untuk mencapai kondisi tunak, sistem pendingin primer diisolasi terhadap kolam dengan katup penjegal (*trip valve*) 199 dan 599. Pengatur tekanan dan level cairan dalam *pressuriser* dilaksanakan dengan katup penjegal 886 (pengatur tekanan) dan *time dependent junction* 866 (pengatur level kolam) dan 894 (pengatur level saluran). Tekanan dalam sisi sekunder pembangkit uap diatur oleh *servo valve* 931 dan 932 sedemikian untuk menjamin perubahan daya dalam pembangkit uap adalah sama dengan acuan atau harga yang diinginkan. Kondisi termohidrolika dan laju alir air pengisi ditentukan oleh *time dependent junction* 901 dan *time dependent volume* 900 pada sistem sekunder.

SIMULASI TRANSIEN BERHENTINYA POMPA PRIMER

Dalam nodalisasi ini kinetika reaktor dan untai pendingin sekunder tidak dimodelkan, oleh karena itu sifat-sifat terhadap waktu pada pembangkitan daya dalam bahan bakar (Gambar 2), laju putaran pompa primer (Gambar 3), tekanan uap pada saluran keluar pembangkit uap yaitu *hydrodynamic volume* 940 (Gambar 3) dan 950 serta laju alir air pengisi pada pembangkit uap harus diberikan sebagai masukan dalam simulasi ini. Perlakuan diberikan dalam jangka waktu 0 - 160 detik.

Salah satu fenomena termohidrolika yang penting adalah karakterisasi simulasi fase *coast-down* dengan struktur bahang yang telah dibahas [4]. Selanjutnya, perhatian khusus harus diberikan terhadap fenomena termohidrolika dalam fase sirkulasi natural melalui teras dan kolam air borat, dan juga terhadap efek simulasi struktur bahang pada laju alir melalui *density lock* dan teras.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Model Dengan Struktur Bahang

Perilaku parameter-parameter termohidrolika sebagai fungsi waktu yang paling relevan ditunjukkan dalam Gambar 4 sampai dengan Gambar 8. Segera setelah pompa primer *coast-down*, terjadi kenaikan laju alir secara tajam melalui *density lock* (Gambar 4). Masuknya air borat dingin dari kolam ke dalam teras dan *riser* akan menyebabkan penurunan suhu di sekitar teras secara tajam (Gambar 5). Dilain pihak, pengaruh keluarnya air primer dari *density lock* atas, suhu cairan dalam *density lock* atas dan dalam daerah di atasnya (Gambar 6) naik hingga mencapai harga kesetimbangan yaitu harga dimana keluaran dari *riser* dalam kondisi setimbang.

Laju alir melalui *density lock*, distribusi suhu dalam *riser*, suhu dalam daerah di atas *density lock* atas dan suhu dalam kolam sangat berpengaruh pada level cairan dalam *pressuriser* sebagai fungsi waktu. Dalam waktu 20 detik pertama, suhu dalam daerah di atas *density lock* atas akan naik (Gambar 6) dan menyebabkan penurunan tekanan dalam daerah tersebut (Gambar 9). Penurunan tekanan ini kemudian diseimbangkan oleh kenaikan level cairan dalam *riser funnel*, setelah itu pendinginan yang

cepat dalam *riser* menyebabkan penurunan level cairan dalam *riser funnel*.

Pada saat suhu dalam *riser* menjadi lebih rendah dari pada suhu dalam *downcomer* (Gambar 5 dan 7), tekanan dalam *riser* akan menjadi lebih tinggi dibandingkan tekanan dalam *downcomer*. Perbedaan tekanan ini akan menimbulkan aliran balik dalam untaian karena adanya sirkulasi natural (Gambar 8). MFLOWJ 215-01, MFLOWJ 215-02, MFLOWJ 215-03 dan MFLOWJ 250-03 dalam Gambar 8 masing-masing menunjukkan laju alir yang terdapat dalam *downcomer* bawah, dalam *density lock* bawah, dalam teras dan dalam *siphon breaker* dari *downcomer* ke *riser*. Segera setelah (kira-kira 30 detik) fluida dingin dari kolam masuk ke *downcomer*, gaya dorong sirkulasi natural berkurang sehingga laju alir melalui pembangkit uap dan pompa menuju nol.

Kurang lebih 60 detik sejak pompa primer *coast down*, laju alir melalui *density lock* dan melalui teras (Gambar 4 dan 8) menjadi sangat kecil. Karena air dalam teras hampir stagnan (hampir tidak ada aliran), maka suhu di dalam teras akan naik dengan cepat hingga kira-kira 300 detik kemudian mencapai harga kesetimbangan kurang lebih 570 oC (Gambar 5). Selanjutnya, gaya dorong sirkulasi natural antara teras dan kolam menjadi tinggi, sehingga laju alir melalui *density lock* akan mengikuti kenaikannya secara tajam. Akibat selanjutnya adalah terjadinya pendinginan teras secara cepat sehingga menimbulkan aliran balik dalam pompa primer.

Perilaku parameter-parameter termohidrolika sebagai fungsi waktu adalah similar hingga dalam jangka waktu 300 detik yang diikuti oleh kenaikan laju alir sirkulasi natural melalui kolam air borat, dan selanjutnya siklus termal dalam teras dan *riser* diharapkan akan terjadi setelah 800 detik setelah transien.

Tekanan dalam *pressuriser* sebagai fungsi waktu (Gambar 9) bergantung pada perilaku level cairan sebagai fungsi waktu dan akan menurun bila volume uap dalam *pressuriser* naik yang disebabkan oleh penurunan level cairan atau sebaliknya.

2. Model Tanpa Struktur Bahang

Perilaku parameter-parameter termohidrolika sebagai fungsi waktu yang relevan dalam instalasi (Gambar 10 sampai dengan Gambar 14) adalah serupa dengan yang diperoleh dari model dengan

struktur bahang. Oleh karena itu, selanjutnya pembahasan dipusatkan pada perbedaan di antara kedua simulasi tersebut.

Laju alir sirkulasi natural melalui *density lock* (Gambar 10), pada 60 detik yang pertama adalah sedikit lebih rendah dibandingkan dalam simulasi "model dengan struktur bahang". Hal ini disebabkan oleh suhu fluida yang lebih tinggi dalam *density lock* atas dan dalam daerah di atasnya. Sebagai konsekuensinya, antara detik 60 dan detik 460 suhu pendingin dalam *riser* adalah lebih tinggi (Gambar 11) dan lagi laju alir sirkulasi natural melalui kolam naik sekitar 15 detik lebih awal dan sedikit lebih tinggi dari pada dalam "model dengan struktur bahang".

Karena suhu fluida dalam *density lock* dan dalam daerah di atasnya pada awalnya lebih tinggi (Gambar 12), maka pendinginan fluida dalam *riser* segera menyebabkan level dalam saluran *riser* menurun. Apabila kenaikan laju alir yang kedua melalui *density lock* terjadi, maka level dalam saluran *riser* akan menurun lebih rendah dari pada dalam "model dengan struktur bahang".

Sebagai akibat dari penurunan level saluran *riser* yang lebih tinggi adalah penurunan tekanan yang lebih besar dalam sistem (Gambar 9). Perilaku suhu pendingin dalam *downcomer* dan laju alir melalui *density lock* bawah, melalui *downcomer* bagian bawah, melalui teras dan melalui siphon breaker ditunjukkan dalam Gambar 13 dan 14.

KESIMPULAN

Simulasi transien berhentinya keempat pompa primer menunjukkan perilaku siklus sirkulasi natural melalui *density lock* bawah, teras, *riser*, *density lock* atas dan kembali ke kolam. Pada saat pompa mengalami *coast down* dan air borat dingin masuk ke dalam *riser*, gaya dorong sirkulasi natural antara daerah *riser* (teras) dan daerah kolam adalah kecil. Dengan memperhatikan resistensi hidraulik, laju alir sirkulasi natural melalui kolam kembali akan dipertimbangkan hanya setelah suhu pendingin dalam teras mencapai harga kesetimbangan.

Meskipun suhu pendingin dalam teras tidak pernah melampaui harga dalam kondisi setimbang, amplitudo osilasi suhu dapat menyebabkan tegangan termal siklus yang tidak diinginkan dalam komponen teras dan *riser*. Namun demikian, struktur termal tersebut tidak banyak berpengaruh terhadap pembuangan panas sisa dari teras.

Selanjutnya, perbedaan suhu fluida dalam *density lock* atas dan dalam daerah di atasnya dalam kondisi setimbang perlu dipertimbangkan dalam hal kajian terhadap perilaku tekanan dan level cairan dalam *pressuriser* sebagai fungsi waktu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Kanji Tasaka dari Universitas Nagoya Jepang yang telah memberikan arahan dalam penelitian ini serta mengijinkan pemakaian seluruh fasilitas dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. ABB ATOM 1988 - PIUS 2000: Preliminary Safety Information Document, 1988.
2. IGN.DJOKO IRIANTO, "Analysis of Feedback Control System of PIUS-Type Reactor Using RELAP5/MOD2", Thesis Master, Universitas Nagoya, Jepang, 1994.
3. IGN.DJOKO IRINATO, "Analisis Kecelakaan Kehilangan Pendingin Sekunder Reaktor PIUS Menggunakan RELAP5/MOD2", dipresentasikan pada Lokakarya Komputasi VI, Jakarta, 1996.
4. BERTANI C., DEL TIN G., SOBRERO G., "Capabilities of the RELAP5/MOD2 in simulating PIUS Thermal-hydraulic Behaviour", Regional Meeting on Nuclear Energy in Central Europe : Present and Perspectives, Portoroz, Slovenia, 13-16 June 1993.
5. BARBUCCI P., BERTANI C., CARBONE C., DEL TIN G., DONATINI F., SOBRERO G., "Assessment of the Primary System Using Analytical and Experimental Models", IAEA Technical Committee Meeting on Progress in Development and Design Aspects of Advanced Water Cooled Reactor, Rome, 9-12 September 1991.

TANYA JAWAB

Bambang Sumarsono

- Mohon penjelasan mengenai cara memasukkan data masukan (secara garis besar).

- Apakah paket program mempunyai keterbatasan, mohon penjelasan mengenai air berat, kenapa digunakan jenis tersebut.

Djoko Irianto

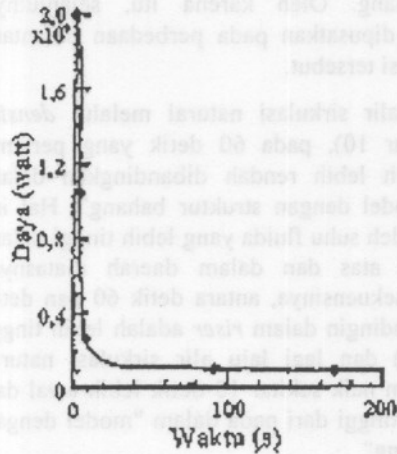
- Prosedur cara penyusunan data masukan adalah dengan menyusun nodalisasi. Dalam nodalisasi ini diberikan masukan berupa besaran-besaran volume, tekanan dan suhu seperti yang tercantum dalam PSI88. Karena data ini terbatas padahal dalam data masukan harus diberikan distribusi tekanan dalam seluruh node dihitung secara manual untuk kondisi lunak. Distribusi laju alir setiap junction pada awal simulasi diasumsikan sama. Distribusi setiap node pada awal simulasi dihitung dengan interpolasi.
- Keterbatasan suatu paket program, sudah tentu ada. Penyusunan suatu paket program bergantung pada tujuan, kemudian dan diselesaikan dengan persamaan-persamaan tertentu.
- Air berat didalam kolam dimaksudkan sebagai penyerap neutron atau pengendali flux neutron. Dalam rancangan reaktor PIVS tidak terdapat batang kendali. Pengendalian daya/fluks neutron dilakukan dengan mengendalikan masukan air berat dalam kolam ke sistem primer.

RPH. Ismuntoyo

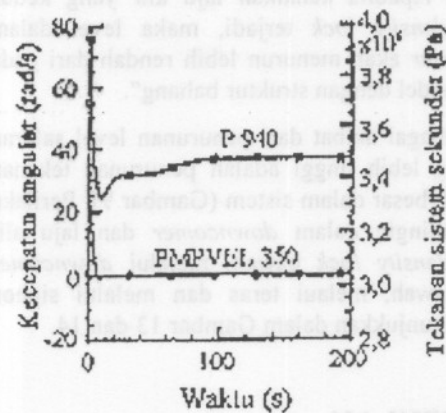
- Berapa besar "heat loss" yang terdapat antara "riser" dan kolam pada simulasi ini dan berapa yang terdapat dalam rancangan yang termuat dalam PSI88.

Djoko Irianto

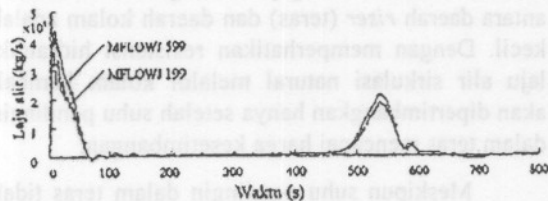
- Dalam simulasi ini, saya tidak menghitung secara kuantitatif besarnya "heat loss" antara "riser" dan kolam. Tujuan dari penelitian (simulasi) ini adalah untuk meneliti secara kualitatif apakah dapat terjadi sirkulasi secara natural dari kolam air berat ke sistem primer. Masuknya air berat ke sistem primer akan dapat men shutdown reaktor dan selanjutnya akan mendinginkan teras. Dapat atau tidaknya masuknya air berat ke sistem primer merupakan salah satu konsep keselamatan melekat yang terdapat dalam reaktor PIVS.



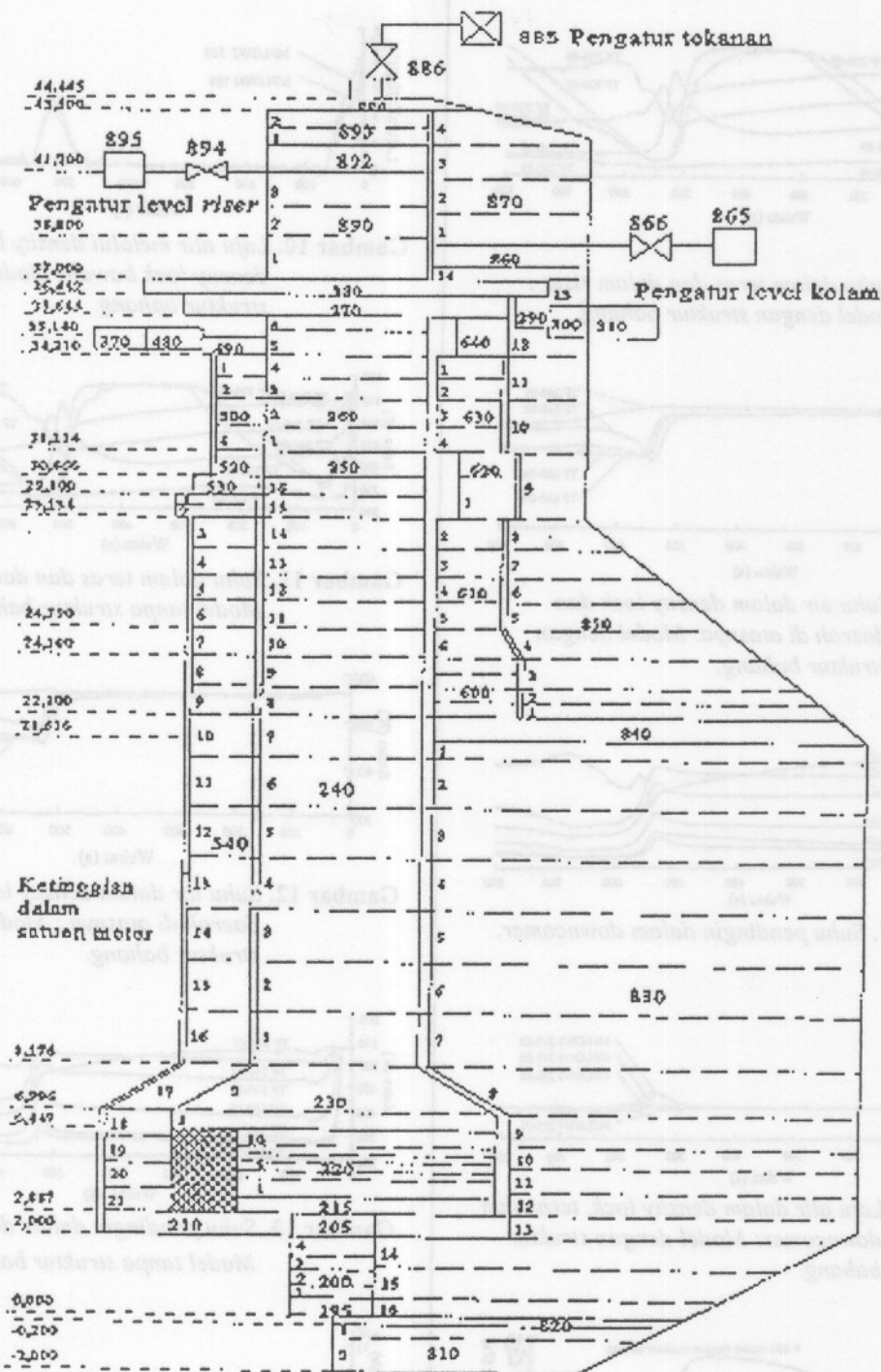
Gambar 2. Daya reaktor



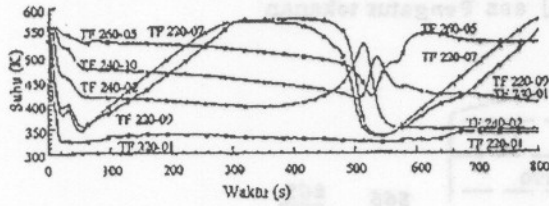
Gambar 3. Laju putaran pompa dan tahanan uap pada saluran keluar pembangkit uap



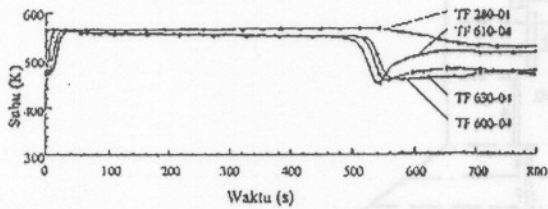
Gambar 4. Laju alir melalui density lock atas dan density lock bawah : Model dengan struktur bahang.



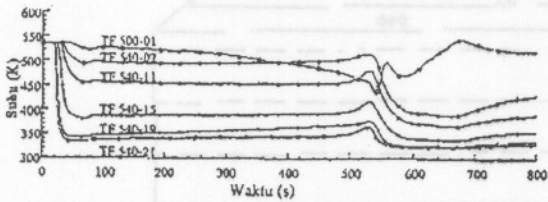
Gambar 1. Nodalasi reaktor PIUS berdasarkan RELAP5/MOD2



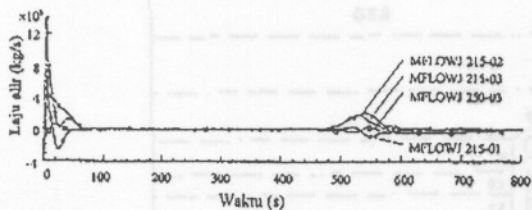
Gambar 5. Suhu dalam teras dan dalam riser : Model dengan struktur bahang.



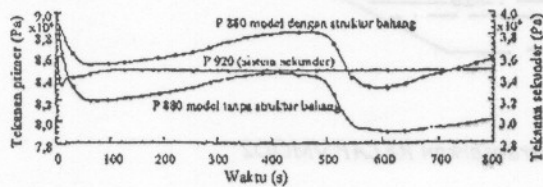
Gambar 6. Suhu air dalam density lock dan daerah di atasnya: Model dengan struktur bahang.



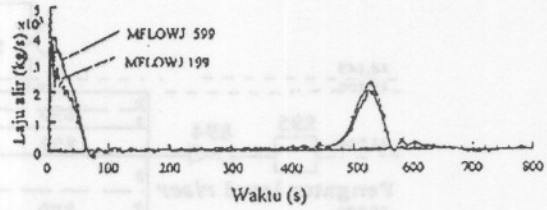
Gambar 7. Suhu pendingin dalam downcomer.



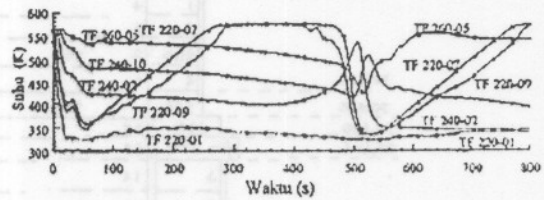
Gambar 8. Laju alir dalam density lock, teras dan downcomer: Model dengan struktur bahang.



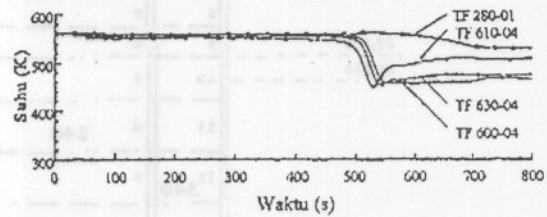
Gambar 9. Tekanan pressurizer dan sisi sekunder pembangkit uap: Perbandingan antara kedua model.



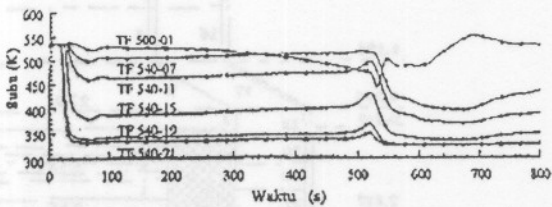
Gambar 10. Laju alir melalui density lock atas dan density lock bawah: Model tanpa struktur bahang.



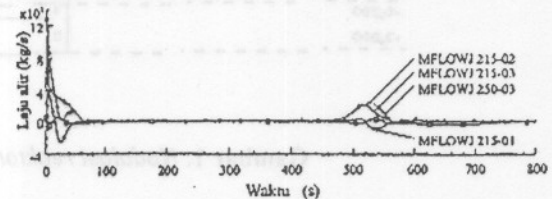
Gambar 11. Suhu dalam teras dan dalam riser: Model tanpa struktur bahang.



Gambar 12. Suhu air dalam density lock atas dan daerah di atasnya : Model tanpa struktur bahang.



Gambar 13. Suhu pendingin dalam downcomer : Model tanpa struktur bahang.



Gambar 14. Laju alir dalam density lock bawah, teras dan downcomer : Model tanpa struktur bahang.