

ANALISIS EKSPERIMEN PECAHNYA PIPA UAP UTAMA PADA ROSA-IV/LSTF DENGAN RELAP5/MOD2

Rickwan Mucksin

Pusat Penelitian Teknologi Keselamatan Reaktor- Badan Tenaga Atom Nasional

ABSTRAK

ANALISIS EKSPERIMEN PECAHNYA PIPA UAP UTAMA PADA ROSA-IV/LSTF DENGAN RELAP5/MOD2. Analisis data eksperimen pada ROSA-IV/LSTF mensimulakondisi daya nol yaitu kondisi *hot standby*, dan pecahan (break) disimulasikan pada bagian setelah restriktor aliran dari pipa uap utama. Perhitungan dilakukan dengan RELAP5/MOD2. Terdapat beberapa perbedaan yang teramati antara data eksperimen dan hasil perhitungan. RELAP5 mengestimasi pendinginan sistem primer, penurunan tekanan, dan penurunan level air pada sistem sekunder terlalu besar. Studi sensitivitas dilakukan untuk mengurangi perbedaan tersebut. Dengan memperkecil koefisien *interfacial drag* aliran dua fasa pada sistem sekunder dari pembangkit uap dengan 1/10 nya, didapat bahwa perhitungan mengestimasi data eksperimen dengan baik.

ABSTRACT

THE ANALYSIS ON THE CRACKING EXPERIMENT OF PRIMARY STEAM VESSEL ON ROSA-IV/LSTF WITH RELAP5/MOD2. Analysis of the ROSA-IV/LSTF experiment simulating Main Steam Line Break Accident of PWR were performed. The experiment was conducted from the hot zero power condition i.e. hot standby condition, and the break was simulated at the main steam line downstream of the flow restrictor. The calculation was done with RELAP5/MOD2. Some discrepancies were observed between the calculation and the experiment. The primary system cooling, the pressure decrease, and the water level decrease in the secondary side were overestimated. Sensitivity studies were performed to diminish the discrepancies and it was found that by reducing the two-phase interfacial drag coefficient multiplied by 0.1 in the secondary side of the steam generators, the calculation results estimated well the experimental results.

PENDAHULUAN

Eksperimen mensimulasikan kecelakaan pecahnya pipa uap utama (Main Steam Line Break/ MSLB) pada reaktor tipe PWR telah dilakukan pada instalasi termohidrolik ROSA-IV/LSTF yang mempunyai JAERI, Jepang. Instalasi ini merepresentasikan reaktor jenis PWR dengan skala rasio volume 1/48, dua *loop* dan daya maksimum 10 MW yang dibangkitkan oleh batang-batang pemanas listrik pada bagian terasnya. Tujuan dari eksperimen ini ialah untuk mengetahui respons sistem sekunder, perilaku termohidrolik dan temperatur pendingin primer selama kecelakaan terjadi pada kondisi *hot standby*. Kecelakaan ini dapat menyebabkan pendinginan lebih pada sistem primer (dapat memberikan reaktivitas positif pada teras) dan kemungkinan menaikinya kembali tekanan sistem primer saat perpindahan panas dari sistem primer ke sekunder pada pembangkit uap menurun akibat inventori air yang habis keluar dari pecahan. Kondisi eksperimen dibuat lebih konservatif dengan mengoperasikan pom-

pa primer utama selama eksperimen transien dilakukan.

DASAR TEORI

Dalam peristiwa kecelakaan pecahnya pipa uap utama, tekanan sistem sekunder akan turun dengan drastis, yang akan menyebabkan pendidihan meningkat pada sistem sekunder dan proses perpindahan panas sangat baik dari sistem primer ke sekunder. Hal ini berarti sistem primer akan terlalu terdinginkan yang menyebabkan turunnya tekanan dan temperatur pada sistem primer. Tekanan dan temperatur sistem primer akan naik kembali setelah proses perpindahan panas pada pembangkit uap memburuk secara drastis, akibat habisnya inventori air pada sistem sekunder akibat penguapan.

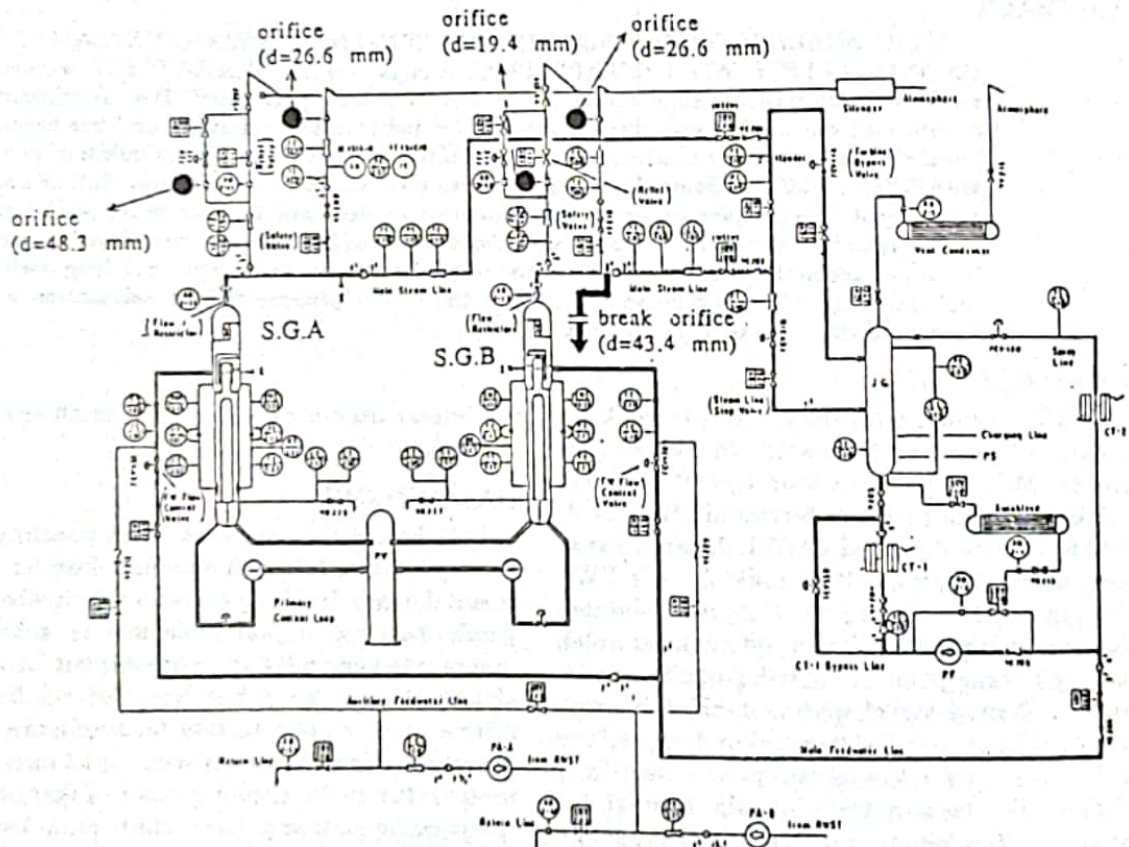
Pada model hidrodinamika RELAP5 diperlukan empat persamaan konstruktif untuk menunjang persamaan dasar hidrodinamika (persamaan kekekalan massa, kekekalan momen-

tum dan kekekalan energi) yang digunakan yaitu: laju pembentukan uap, *interphase drag*, *wall friction*, dan *wall heat transfer*. Persamaan-persamaan tersebut pada umumnya adalah persamaan empiris. Karena itu kemampuan dari setiap model hidrodinamika dalam mengestimasi fenomena alam dengan akurat, sangat bergantung pada keakuratan persamaan-persamaan konstruktif tersebut.

TATA KERJA DAN METODE EKSPERIMEN

Diagram dari LSTF diberikan pada Gambar 1.

Pada eksperimen ini pembangkit uap yang tidak terafeksi mensimulasikan dua dari tiga pembangkit uap PWR sedangkan pembangkit uap terafeksi mensimulasikan satu pembangkit uap PWR. Untuk itu, sebelum eksperimen transien dilakukan, inventori air pada sisi tidak

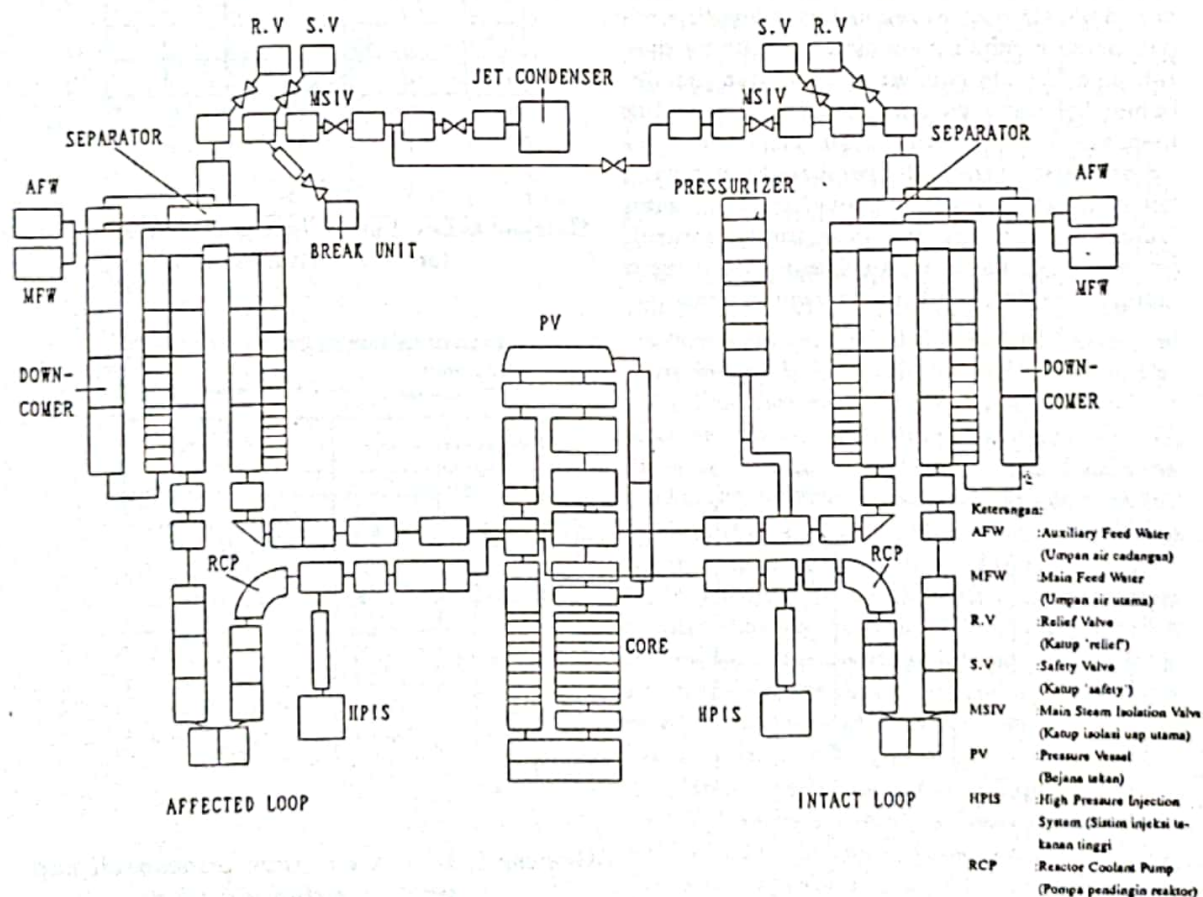


Gambar 1. Diagram alir dari LSTF

terafeksi dipertahankan lebih tinggi daripada sisi terafeksi. Kebocoran dari sisi tidak terafeksi yang disebabkan oleh kegagalan katup *check* pada pipa uap utama, disimulasikan dengan membuka katup *relief* dan *safety* pada sisi tidak terafeksi. Aliran sistem pendinginan teras darurat (ECCS) pada sistem primer terafeksi diasumsikan gagal. Daya teras ditetapkan pada 1,5% dari daya nominal (1,07 MW pada LSTF) sedangkan tekanan sistem primer, tekanan

sistem sekunder, temperatur pendingin pada kaki dingin sistem primer dan laju alir pendingin pada keadaan sebelum eksperimen transien dipertahankan sama dengan keadaan operasi normal reaktor PWR.

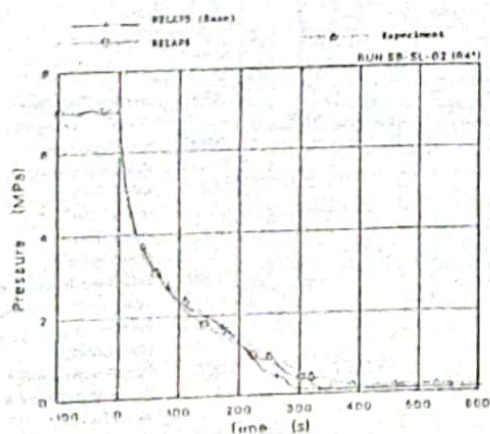
Eksperimen transien dimulai dengan membuka katup *safety* dan *relief* dari kedua pembangkit uap, dan katup *break* pada pipa uap utama sisi terafeksi secara serempak. Sinyal injeksi keselamatan (SI) dihasilkan pada saat



Gambar 2. Nodalisasi dari LSTF pada RELAP5

tekanan sistem sekunder sisi terafeksi turun mencapai 4,24 MPa dan kemudian akan menyebabkan menutupnya katup umpan air sistem sekunder ke kedua sisi dari pembangkit uap, menutupnya kedua katup MSIV (Main Steam Isolation Valve) dua detik setelah SI, menutupnya katup *relief* dan *safety* sisi tidak terafeksi dua detik setelah SI, mengalirnya injeksi dari ECCS pada kaki dingin sisi tidak terafeksi delapan detik setelah SI, dan mengalirnya umpan air cadangan (auxiliary feedwater) pada sistem sekunder sisi tidak terafeksi 29 detik setelah SI. Keadaan tersebut dibiarkan hingga tekanan pada pembangkit uap sistem sekunder sisi terafeksi mencapai tekanan atmosfer (kurang lebih 700 detik dari awal transien).

Nodalisasi utama untuk instalasi LSTF pada RELAP5/MOD2 telah dibuat di INEL, Amerika (Gambar 2). Beberapa modifikasi dilakukan untuk menyesuaikan data masukan bagi simulasi eksperimen ini, yaitu: menghilangkan sistem injeksi tekanan rendah (LPIS), penambahan nodal untuk aliran ke katup *break*, penodalisasi kembali pada sistem sekunder daerah pipa U pada pembangkit uap dan penambahan beberapa variabel kontrol baru untuk mendapatkan tekanan primer dan tinggi level air pada sistem sekunder pembangkit uap yang konstan sebagai kondisi awal dari keadaan transien. Koefisien *discharge* untuk seluruh *break orifices* ditetapkan sebesar 0,85 dengan mengasumsikan kondisi aliran uap murni.

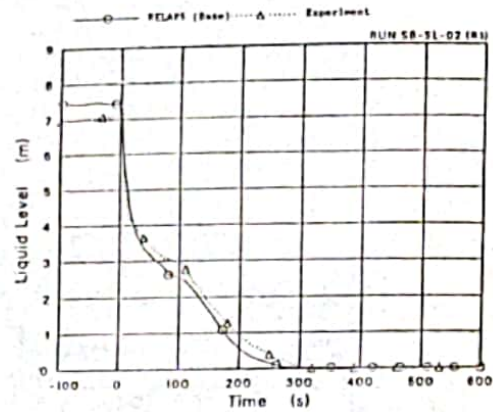


Gambar 3. Tekanan sistim sekunder terafeksi.

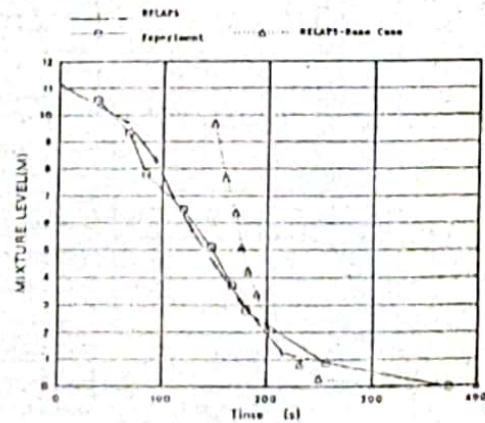
HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 3 memperlihatkan transien dari tekanan sistem sekunder untuk sisi terafeksi. Pada transien 200 detik pertama, penurunan tekanan pada perhitungan mendekati hasil eksperimen dengan baik.

Setelah itu RELAP5 menghitung penurunan tekanan lebih cepat hingga sekitar detik ke 275, tekanan telah mendekati tekanan atmosfer. Perbedaan ini dapat dianalisis sebagai akibat dari perbedaan luasan permukaan perpin-



Gambar 4. Level air *collapsed* pembangkit uap terafeksi sistim sekunder

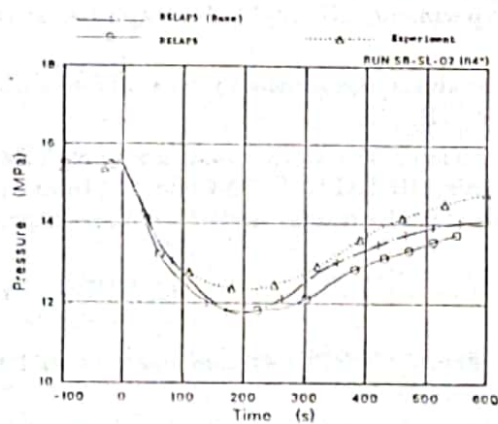


Gambar 5. Level air *mixture* pembangkit uap terafeksi sistim sekunder

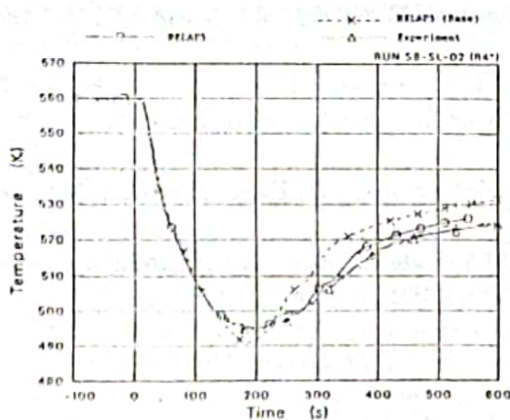
dahan panas pada pipa U pembangkit uap pada sistem sekunder. Seperti pada Gambar 4, terlihat bahwa RELAP5 mengestimasi terlalu

besar penurunan level air *collapsed*, tetapi mengestimasi terlalu rendah penurunan level air *mixture* (Gambar 5).

Disimpulkan bahwa pada perhitungan, uap yang terbentuk sepanjang sistem sekunder dari pembangkit uap membawa lebih banyak air sehingga mengakibatkan level air *mixture* lebih tinggi dan proses perpindahan panas yang baik antara sistem primer ke sekunder terjadi lebih lama. Efeknya terhadap sistem primer terlihat bahwa RELAP5 mengestimasi tekanan sistem dan temperatur pendingin pada kaki dingin sisi terafeksi sedikit terlalu besar seperti terlihat pada Gambar 6 dan 7.



Gambar 6. Tekanan sistim primer



Gambar 7. Temperatur kaki dingin sisi terafeksi

Alasan ini diperkuat dengan kekurangan akuratan pada model *interfacial drag* antara fasa

air dan uap pada RELAP5/MOD2 yang diidentifikasi oleh Kukita et.al [9] untuk aliran dua fasa pada geometri kanal seperti perangkat bahan bakar. Dengan mereduksi koefisien *interfacial drag* dua fasa hingga 1/10 nya, diperoleh hasil perhitungan untuk memprediksi hasil eksperimen dengan sangat baik. Pada studi ini, konfigurasi dari pipa U pada pembangkit uap dianggap sangat mirip dengan konfigurasi perangkat bahan bakar, maka analisa di atas digunakan untuk ke dua pembangkit uap, mulai dari masukan hingga keluaran pada sistem sekunder.

Hasil studi sensitivitas ini menunjukkan bahwa uap pada pembangkit uap sistem sekunder kini lebih mudah terlepas dari *break* meninggalkan bagian air, dan sebagai efeknya, laju penurunan tekanan yang lebih tinggi (Gambar 3 dan 6), dan ketinggian level air *mixture* yang lebih rendah daripada perhitungan dasarnya. Pada bagian sisi tidak terafeksi, tekanan sistem sekunder kembali naik pada sekitar 70 detik setelah transien dimulai, dikarenakan oleh perpindahan panas yang terjadi sebaliknya, yaitu dari sistem sekunder ke sistem primer setelah konveksi alam berlangsung dan umpan air cadangan dialirkan. Fenomena selanjutnya akan menambah jumlah energi panas yang harus dipindahkan dari sistem primer pada pembangkit uap terafeksi, menyebabkan perubahan dari laju penurunan level air *collapsed* pada detik ke 100 (Gambar 4). Begitu pula dengan level air *mixture* (Gambar 5), kali ini RELAP5 memprediksi dengan baik sekali data eksperimen. Dapat dilihat bahwa pada kondisi awal, level air *mixture* adalah lebih tinggi daripada pipa U, dimana hal ini mengindikasikan fenomena *flashing* terjadi dengan sangat aktif selama 100 detik pertama. Tetapi ketika level air *mixture* turun hingga kurang lebih 3/4 dari tinggi pipa U, mekanisme pendidihan titik mendominasi perpindahan panas pada sistem sekunder, dan fenomena ini memberikan laju perpindahan panas dari sistem primer ke sekunder yang hampir sama untuk data eksperimen dan hasil perhitungan (Gambar 4).

Hasil studi sensitivitas juga membuat RELAP5 memprediksi perubahan temperatur kaki dingin (Gambar 7) dengan sangat baik. Temperatur pendingin turun hingga 495 °C (perbedaan temperatur kurang lebih 65 °C) sekitar 200 detik dari inisiasi *break* untuk kemudian naik kembali perlahan-lahan setelah inventori air pada sistem sekunder pembangkit uap terafeksi berkurang, yang berarti perpindahan

panas dari sistem primer menjadi kurang efektif.

KESIMPULAN

1. Secara kualitatif, RELAP5 memprediksi data eksperimen dengan baik, khususnya pada urutan waktu kejadiannya.
2. RELAP5 mengestimasi penurunan dari level air *collapsed* pada pembangkit uap terafeksi sistem sekunder terlalu besar sehingga mengestimasi pendinginan dari sistem primer terlalu tinggi.
3. Aplikasi koefisien *interfacial drag* aliran dua fasa sama dengan 0,1 untuk sistem sekunder pembangkit uap pada RELAP5, membuat estimasi perhitungan lebih baik.
4. Temperatur kaki dingin sisi terafeksi turun hingga 495 °C sebelum naik kembali karena penurunan dari luas perpindahan panas efektif mengikuti penurunan dari level air pada pembangkit uap sistem sekundernya.
5. RELAP5 kurang dapat mensimulasikan dengan baik peristiwa *flashing* yang dominan terjadi pada awal transien.

DAFTAR PUSTAKA

1. Timothy, J. Boucher, "Results of semiscale Mod-2C feedwater and steam line break", Experiment Series: Main Steam Line Break Accident Experiment, NUREG/CR-4971, EGG-2516 (March 1988).
2. Glenn, J. Neises, Terry J. Garrett, Steam line break analysis comparison to the wolf creek updated safety analysis report, Nucl.Tech.vol.93 (Jan 1991) 22- 35.
3. Kuo-Shing Liang, Song-Feng Wang, Systematic Evaluation of the Main Steam Line Break Accident for a typical Westinghouse Three Loop Plant using RELAP5/MOD1 Code, 2nd International Topical Meeting on Nuclear Power Plant Thermal Hydraulics and Operations (April 1986).
4. Smethurst, A. J., Post test analysis of LOBI Test BT- 12 using RELAP5/MOD2, NUREG/IA-0079 (April 1992).
5. The ROSA-IV Group, ROSA-IV Large Scale Test Facility (LSTF) system description for second simulated fuel assembly", JAERI-M 90-176 (October 1990).
6. Victor, H. Ransom, et. al, RELAP5/MOD2 Code Manual, vol.1: Code Structure, System Models, and Solution Methods, NUREG/CR-4312 (August 1985).
7. *ibid*, RELAP5/MOD2 Code Manual, vol. 2: Users Guide and Input Requirements, NUREG/CR-4312 (December 1985).
8. Chauliac, C., Kukita, Y., Kawaji, M., Nakamura, H., Tasaka K., Post - test analysis with RELAP5/MOD2 of ROSA-IV/LSTF natural circulation test ST-NC-02", JAERI-M 88-215 (October 1988).
9. Kukita, Y., Anoda, Y., Nakamura, Y., Tasaka, K., Assessment and improvement of RELAP5/MOD2 code's interphase drag models, AIChE Symposium Series no.257 vol. 83 (1987).
10. Abramson, P. B., Guidebook to Light Water Reactor Safety Analysis, Hemisphere Publishing Corp. (1985).
11. Borut Mavko, Stojan Petelin, Oton Gortnar, RELAP5 modeling of the westinghouse model D4 steam generator, Nuclear Technology, Vol. 101 (Febr.1993).