

## ANALISIS KECELAKAAN KEHILANGAN PENDINGIN (KKP) KEBOCORAN BESAR PADA PLTN AP-600, TAHAP KEDUA

Endiah Puji Hastuti, Iman Kuntoro, Darwis Isnaini, Asnul Sufmawan

### ABSTRAK

**ANALISIS KECELAKAAN KEHILANGAN PENDINGIN (KKP) KEBOCORAN BESAR PADA PLTN AP-600, TAHAP KEDUA.** Analisis kecelakaan kehilangan pendingin pada PLTN AP-600 telah dilakukan dengan cara membuat simulasi perhitungan di teras reaktor menggunakan paket program COBRA IV-I. KKP kebocoran besar merupakan kecelakaan hipotetis terberat pada suatu PLTN. Pemodelan dilakukan dengan membagi teras simetri menjadi 1/8 bagian dan pengamatan dilakukan terhadap suhu kelongsong maksimum sesuai dengan kriteria keselamatan LOCA. Mengingat keterbatasan paket program yang tersedia analisis tidak dapat dilakukan secara utuh, maka data sistem pada saat terjadinya kecelakaan diperoleh dari hasil perhitungan yang dilakukan oleh Westinghouse. Hasil perhitungan suhu kelongsong maksimum saat terjadinya LOCA adalah sebesar 1500°F, hasil perhitungan ini memberikan prosentase perbedaan <15% dibandingkan hasil perhitungan Westinghouse.

### ABSTRACT

**ANALYSIS OF LARGE BREAK LOCA IN THE NPP AP-600, SECOND PHASE.** Analysis of large break LOCA in nuclear power plant AP-600 was done by reactor computational simulation using a computer program COBRA IV-I. Large break LOCA is considered as the severest hypothetical accident in the pressurized water reactor. 1/8 symmetrical core is used in the calculation model, and peak cladding temperature is monitored as a LOCA accident criteria. To do this analysis, it was required such system data during the transient condition from the Westinghouse calculation. Calculation results of peak cladding temperature during LOCA is 1500°F, this calculation showed that there is difference <15% with the Westinghouse calculation.

### PENDAHULUAN

Sebagai salah satu usaha pemenuhan listrik di masa mendatang, pemerintah merencanakan untuk membangun PLTN pada abad ke 21. Usaha ini perlu disertai peningkatan kemampuan/pengetahuan sumber daya manusia (SDM) mengenai teknologi reaktor daya sesuai dengan Renstra BATAN dalam bidang teknologi nuklir pada PELITA VI yaitu menguasai teknologi keselamatan reaktor daya.

Salah satu kecelakaan hipotetis terberat bagi PLTN jenis air bertekanan adalah kecelakaan kehilangan pendingin (KKP), terutama pada hal kebocoran besar (KB) /1/. Kecelakaan jenis ini bisa mengancam disain rancang bangun suatu PLTN, sehingga meskipun keboleh jadiannya kecil sekali suatu analisis perlu dilakukan. Dari analisis tersebut, harus

bisa ditunjukkan bahwa rancang bangun masih memenuhi kriteria keselamatan meskipun terjadi KKP.

KKP kebocoran besar terburuk terjadi apabila kedua kaki pipa sistem pendingin reaktor patah, yang biasanya disebut kebocoran *guillotine (gulotin)*. Jika KKP KB gulotin terjadi, air akan mengucur dengan deras dari kedua pipa yang patah, bersamaan dengan itu terjadi penurunan tekanan tinggi dalam waktu yang sangat pendek. Penurunan tekanan ini menyebabkan suhu jenuh air menurun, sehingga air di dalam teras akan menguap. Karena penguapan ini, hantaran kalor dalam teras menjadi sangat menurun sedangkan suhu teras meningkat. Sementara itu penurunan tekanan pada pipa telah terdeteksi dan memacu *sistem pendingin darurat (SPD)* bekerja. SPD akan

mengucurkan air ke dalam teras. Tetapi karena suhu di dalam teras tinggi, pada saat awal air dari SPD ini akan menguap, baru setelah beberapa saat air ini akan mulai menggenang di bawah dan berangsur-angsur merendam teras, gambar sistem pendingin reaktor AP-600 dapat dilihat pada Gambar 1. PLTN AP-600 adalah reaktor daya jenis air ringan bertekanan dengan SPD pasif. Berbeda dengan SPD aktif yang telah digunakan sejak lama, SPD pasif ini merupakan konsep baru. Pada sistem pasif ini, SPD diaktifkan tanpa menggunakan bantuan tenaga pompa, tetapi memanfaatkan tenaga potensial gravitasi.

Dari urutan kejadian (waktu), peristiwa KKP KB bisa dibagi dalam tiga kejadian, yaitu penghempasan (*blow down*), pengucuran (*refill*) dan perendaman (*reflood*). Analisis yang dilakukan pada penelitian ini adalah KKP KB tahap pengucuran. Analisis dilakukan dengan cara simulasi perhitungan menggunakan bantuan paket program COBRA IV-I.

#### DESKRIPSI KKP KB PADA REAKTOR AP-600, /2/.

Kecelakaan kehilangan pendingin pada tahap pengucuran tak dapat dipisahkan dari urutan kejadian KKP KB secara keseluruhan. Kecelakaan ini diawali oleh kejadian sebagai berikut. Pada awal kejadian sebelum kebocoran terjadi, pemindahan panas dari teras reaktor ke sistem pendingin sekunder dalam keadaan setimbang. Selama tahap penghempasan, panas yang berasal dari hasil peluruhan fisi dan bagian internal reaktor tetap dipindahkan ke pendingin reaktor. Pada awal tahap penghempasan, panas dari teras reaktor diambil oleh aliran *subcooled* sistem pendingin reaktor secara konveksi paksa dengan pendidihan inti yang telah penuh

terbentuk (*fully developed nucleate boiling*). Setelah terjadi kebocoran perpindahan panas di dalam teras berlangsung berdasarkan kondisi aliran pendingin setempat, dengan mekanisme perpindahan panas utama pendidihan transisi dan pendidihan film aliran terdispersi. Perpindahan panas antara sistem pendingin reaktor dan sistem sekunder dapat berlangsung dengan berbalik arah, bergantung pada beda suhu relatif. Dalam kasus pembuangan panas ke sistem sekunder, tekanan sistem sekunder meningkat dan katup pengaman uap utama (*the main steam safety valves*) beroperasi untuk membatasi tekanan. Sinyal injeksi pengaman akan mengaktifkan sinyal isolasi air umpan, yang mengisolasi aliran air umpan dengan cara menutup katup isolasi air umpan utama.

Pompa-pompa pendingin reaktor diasumsikan untuk trip secara otomatis selama kecelakaan. Pengaruh *coastdown* pompa telah tercakup di dalam tahap penghempasan. Tahap penghempasan ini berakhir ketika sistem pendingin reaktor mencapai tekanan atmosfer pengungkung reaktor (yang pada awalnya bertekanan 2250 psia).

Ketika terjadi sinyal S (sinyal tekanan pengungkung mencapai kondisi maksimum), katup-katup *core makeup tank* (CMT) membuka. *Core makeup tank* mulai menginjeksi air borat ke dalam bejana reaktor secara langsung ke dalam pipa-pipa injeksi.

Ketika tekanan sistem pendingin reaktor mencapai 700 psia, akumulator mulai menginjeksi air borat secara langsung ke dalam pipa-pipa injeksi bejana.

Aktivitas akumulator menghentikan injeksi aliran dari CMT. Setelah aliran akumulator habis, CMT melanjutkan mengalir

bejana reaktor, yang disebut dengan tahap pengucuran (*refill*).

Tahap perendaman terjadi setelah bejana reaktor terisi dengan air yang mencukupi, sehingga kenaikan suhu teras berhenti dan suhu elemen bakar menurun. Pada akhir tahap penghempasan dan mulainya tahap perendaman, tangki akumulator secara cepat mengalirkan air borat ke dalam sistem pendingin reaktor untuk membantu menggenangi teras reaktor. Ketika

tangki akumulator telah kosong, injeksi air borat terus berlangsung dari CMT dan tangki penyimpan elemen bakar (IRWST). Setelah air pendingin dari IRWST habis, pendinginan jangka panjang berlangsung melalui resirkulasi langsung air borat ke dalam bejana reaktor.

Kronologi kecelakaan kehilangan pendingin seperti yang telah diuraikan di atas dirangkum dalam Tabel 1.

Tabel Kronologi kejadian KKP KB pada reaktor AP-600

NO	TAHAP	KEJADIAN	WAKTU (detik)
1.	Penghempasan	• Kebocoran terjadi	0,0
		• Reaktor trip (tekanan prezurizer tinggi)	
		• Signal S (tekanan pengungkung tinggi)	1,0
		• Injeksi CMT mulai	2,2
		• Injeksi akumulator mulai	12,5
		• Trip RCP otomatis terjadi	17,2
		• Akhir penghempasan	34,0
2.	Pengucuran	Dasar teras tertutupi	56,5
3.	Perendaman	• PCT terhitung terjadi	102,0
		• Akumulator kosong: injeksi CMT & IRWST mulai.	164,0
4.	Pendinginan jangka panjang.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ADS aktif karena signal S level CMT rendah.</li> <li>• IRWST kosong: pendinginan berlangsung lewat resirkulasi air <i>sump</i> di bejana reaktor. ADS aktif karena signal S level CMT rendah.</li> <li>• IRWST kosong: pendinginan berlangsung lewat resirkulasi air <i>sump</i> di bejana reaktor.</li> </ul>	

Keterangan :

CMT Core make-up tank

IRWST: In-containment refueling water storage tank

RCP Reactor coolant pump

ADS : Automatic depressurization system

PCT Peak clad temperature

## TEORI

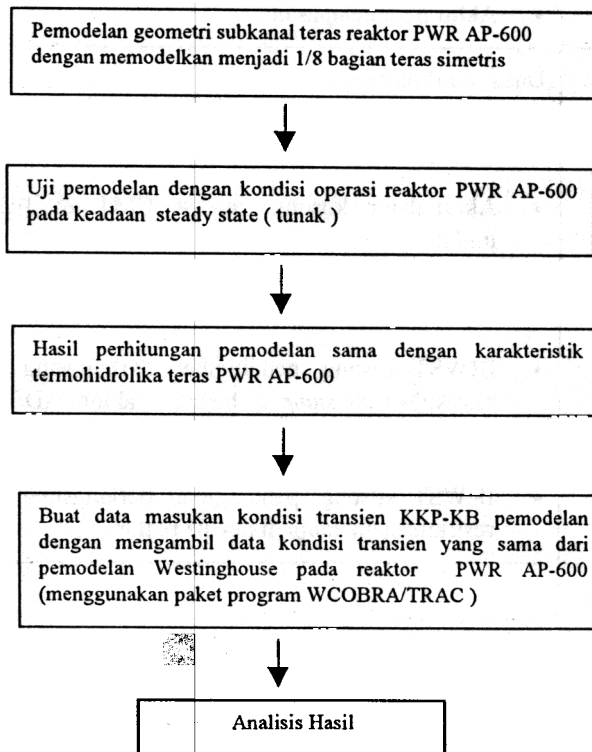
### Pemodelan menggunakan paket program COBRA IV-I

Program komputer COBRA IV-I (*Coolant Boiling in Rod Arrays*), merupakan paket program yang digunakan untuk menghitung distribusi entalpi, suhu, kecepatan dan tekanan pendingin dan batas keselamatan terhadap akhir pendidihan inti (*DNB=Departure from Nucleate Boiling*) dalam perangkat elemen bakar dan teras baik pada kondisi tunak maupun transien, /3/. Untuk menyelesaikan masalah aliran di dalam banyak kanal yang terhubung secara kontinyu di sepanjang kanal, COBRA IV-I menggunakan metoda analisis subkanal. Metoda penyelesaian ini sesuai dengan karakteristik susunan perangkat elemen bakar di dalam teras reaktor AP-600, dimana tidak terdapat pembatas aliran antar perangkat elemen bakar sehingga air pendingin dapat secara bebas menjelajahi segenap lini teras.

Simulasi perhitungan KKP KB tahap pengucuran dimulai dari akhir tahap penghempasan dan dilanjutkan hingga suhu kelongsong maksimum tercapai dimana injeksi aliran pengaman ke dalam bejana lebih besar dari pada aliran yang hilang.

Westinghouse menyelesaikan analisis kecelakaan seperti ini dengan menggunakan paket program WCOBRA/TRAC, sedangkan paket program yang digunakan dalam penelitian ini (COBRAIV-I) belum dilengkapi dengan subrutin kinetika reaktor, panas peluruhan dan trip, maka daya reaktor selama waktu transien perlu dimasukkan ke dalam program tersebut. Untuk itu data-data yang diperlukan diambil dari hasil perhitungan Westinghouse seperti terlihat pada Gambar 2.

Berdasarkan sifat simetrinya, konfigurasi teras reaktor AP-600 dapat diwakili oleh 1/8 sektor, yang dibagi lagi dalam beberapa subkanal /4,5/, seperti terlihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



## TATA KERJA

Simulasi perhitungan KKP KB menggunakan paket program COBRA IV-I dilakukan dengan komputer Dec Alpha milik PPI-BATAN, adapun langkah-langkah perhitungannya dapat digambarkan dengan diagram diatas.

Dari diagram alir di atas terlihat bahwa dalam analisis KKP-KB sebelum menggunakan data hasil perhitungan Westinghouse, perlu dilakukan pemodelan dan pengujian dalam penggunaan program COBRA IV-i.

## HASIL PERHITUNGAN DAN KESIMPULAN

Kebocoran dimodelkan terjadi di salah satu *cold legs* di dalam untai CMT, sesuai analisis yang dilakukan oleh Westinghouse yang dilakukan dengan WCOBRA/TRAC. Segera setelah LOCA terjadi tekanan bejana reaktor menurun dengan cepat dan laju alir pendingin di dalam teras mengalir dengan arah berlawanan. Pergantian arah ini menyebabkan perangkat elemen bakar mengalami kenaikan suhu yang tinggi dan terjadi *dry out*. Sistem pembangkit uap diasumsi terisolasi secara tiba-tiba pada awal terjadinya kebocoran sehingga energi yang tersimpan mencapai tingkat maksimum. Satu detik setelah kondisi transien tercapai, terjadi sinyal "S" akibat tekanan pengungkung maksimum. Adanya sinyal proses tunda menyebabkan katup isolasi CMT dari kaki dingin (*cold legs*) ke pipa injeksi bejana langsung (*direct vessel injection line*) mulai membuka yang terjadi pada detik ke 2,2 setelah transien. Trip RCP secara otomatis terjadi 17,2 detik setelah transien LOCA. Setelah itu reaktor padam karena terjadinya *void* (lowong).

Keluarnya aliran pendingin akibat kebocoran menyebabkan sistem mengalami penurunan tekanan, untuk mengkompensasi keadaan tersebut maka pengatur tekanan (*pressurizer*) mengalirkan air pendingin selama 7 detik dan injeksi akumulator terjadi 12,5 detik setelah transien. Akumulator ini akan menyebabkan aliran pendingin dari CMT berhenti, dimana tinggi permukaan cairan CMT tetap dipertahankan di atas sistem penurunan tekanan otomatis (*ADS = Automatic depressurization system*). Antara detik ke 11 dan 18 kombinasi antara aliran yang kontinyu dan yang keluar adalah sebesar 600-700 lb/detik; aliran pendingin ke luar berlangsung terus selama 23 detik.

Akibat penurunan tekanan di dalam bejana reaktor selama tahap penghempasan, cadangan pendingin menurun sehingga fraksi lowong pada perangkat panas meningkat. Kurang lebih 12,5 detik setelah transien akumulator mulai menginjeksi air pendingin ke dalam *upper downcomer region*; sebagian segera keluar melalui bagian yang mengalami kebocoran. Kira-kira 21 detik air dari akumulator mulai mengalir ke dalam *lower plenum*.

Kurang lebih 56 detik, *lower plenum* terisi air hingga air mulai membanjiri bagian bawah teras. Fraksi lowong pada bagian bawah teras mulai menurun, pendinginan teras mulai terjadi dan suhu maksimum kelongsong menurun sesuai dengan kenaikan tinggi permukaan air.

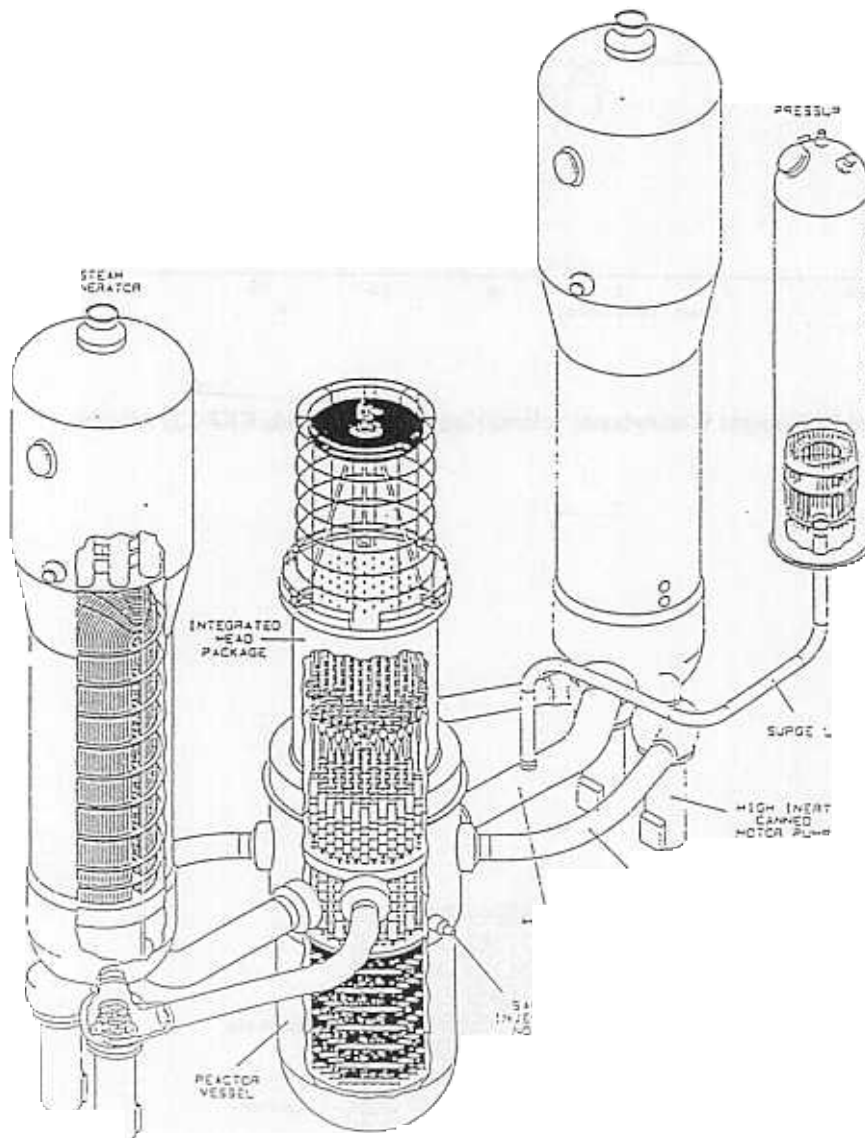
Pengamatan hasil perhitungan diarahkan pada suhu kelongsong sesuai dengan kriteria keselamatan untuk KKP (LOCA) di dalam 10 CFR 50.46 .6/, yang dibuat berdasarkan pada suhu kelongsong maksimum yaitu sebesar 2200°F (1204°C). Dari hasil perhitungan segera setelah kebocoran terjadi tekanan sistem

pendingin turun drastis dan aliran teras berbalik arah. Selama aliran balik, suhu kelongsong naik pesat dan mencapai puncaknya pada sekitar 1500°F (816°C) (Gambar 5). Akibat aliran yang relatif membaik setelah 10 detik pada kondisi transien, suhu kelongsong menurun. Hasil perhitungan suhu kelongsong maksimum ini memberikan prosentase perbedaan <15 % dibandingkan dengan hasil perhitungan Westinghouse. Perbedaan ini terjadi karena keterbatasan program perhitungan yang digunakan dimana analisis seharusnya dilakukan secara simultan dan tidak dilakukan secara independent seperti dalam pendekatan perhitungan KKP ini, perbedaan ini akan diteliti dan akan diatasi dengan melakukan iterasi.

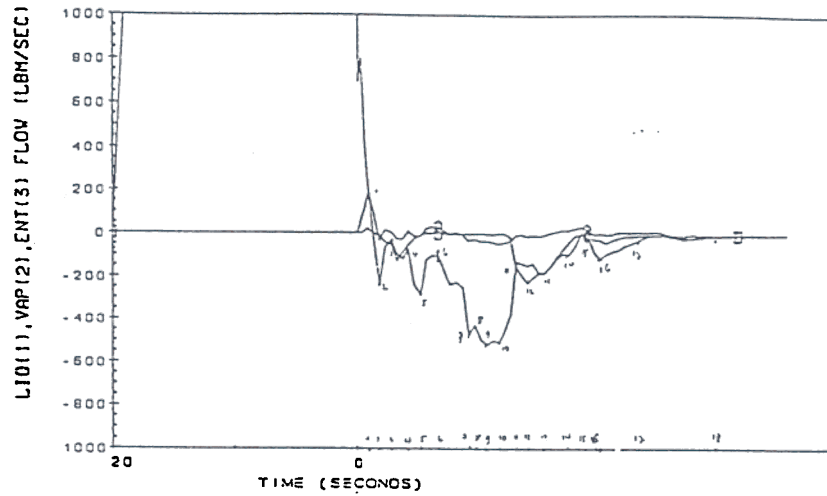
Belum dilakukannya analisis secara lengkap maka kesimpulan tingkat keselamatan pada analisis LOCA ini belum dapat dilakukan. Untuk itu diperlukan analisis lanjut dan analisis banding yang lebih rinci.

## DAFTAR PUSTAKA

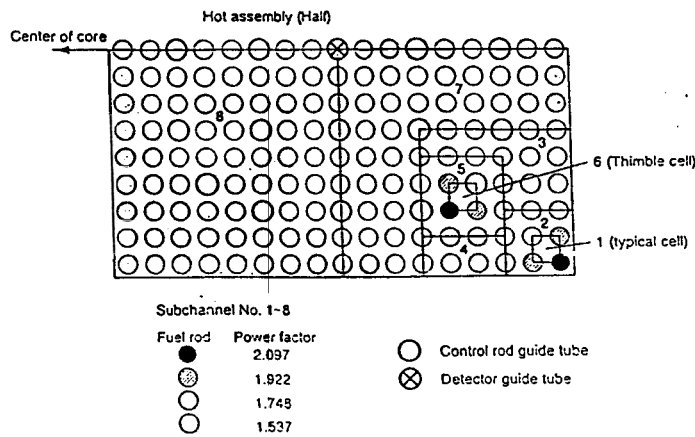
1. TODREAS, NEIL E., AND KAZIMI., *Nuclear Systems II: Elements of Thermal Hydraulics Design*, Hemisphere Publishing Corporation, USA, 1990.
2. *Preliminary Analysis Report of AP-600*, Rev. 0, Westinghouse, 1992.
3. WHEELER, C.L., *COBRA IV-I: An Interim version of COBRA for Thermal Hydraulic Analysis of Rod Bundle Nuclear Fuel Elements and Cores*, Battele, USA, 1976.
4. STEWART, C.W., et al., *COBRA IV-I: The Model and The Method*, Battele, USA, 1977.
5. SUMEDI I., *Studi Termohidraulika teras reaktor AP-600 pada kondisi tunak dengan menggunakan paket program COBRA IV-I*, Thesis Jurusan Teknik Nuklir, FT UGM, 1996.
6. 10 CFR 50.46, *Acceptance Criteria for Emergency Core Cooling Systems for Light Water Cooled Nuclear Power Reactors*, and Appendix K to 10 CFR 50, ECCS Evaluation Models.



Gambar 1.1 Sistem Pendingin Reaktor AP-600

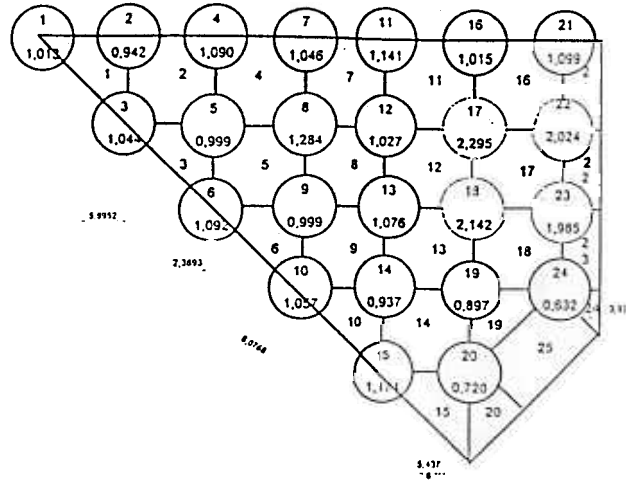


Gambar 2. Hasil Perhitungan Westinghouse Selama Kondisi Transisi pada KKP-KB AP-600

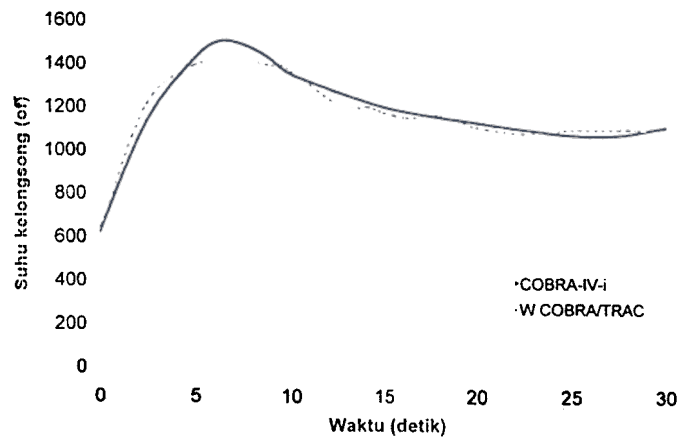


Gambar 3. Pemodelan Sub Kanal





Gambar 4. Pemodelan 1/8 Teras AP-600



Gambar 5. Suhu Kelongsong pada KKP-KB Hasil Perhitungan menggunakan Paket Program COBRA IV-i dan WCOBRA/TRAC