

ASPEK—ASPEK PENGAMANAN P.L.T.N. JENIS AIR BERAT BERTEKANAN TINGGI

(P. H. W. R.)

Oleh :

Martias Nurdin, Bakri Arbie dan Iyos R. Subki *)

ABSTRAK :

Makin penting dan makin potensiil suatu instalasi maka syarat pendirian instalasi tersebut makin rumit, sehingga kewanan-pengamanan terhadap instalasi, personil yang bekerja dan publik serta alam lingkungan disekitar instalasi jauh-jauh sebelumnya sudah harus disadari — dimengerti serta diketahui keandalannya.

Sehubungan dengan pendirian instalai nuklir, jenis P.L.T.N. Air Berat Bertekanan Tinggi (Pressurized Heavy Water Reactor, P.H.W.R.), akan dibicarakan masalah-masalah sistim keamanan dan teknologi serta evolusi sistim isolasi (containment).

Sistim Pendinginan Darurat (SPD) serta bagaimana kemungkinan dan akibat dari suatu kecelakaan nuklir dengan dan tanpa adanya SPD atau fungsinya merupakan salah satu pembahasan utama dalam kertas karya ini.

I. PENDAHULUAN

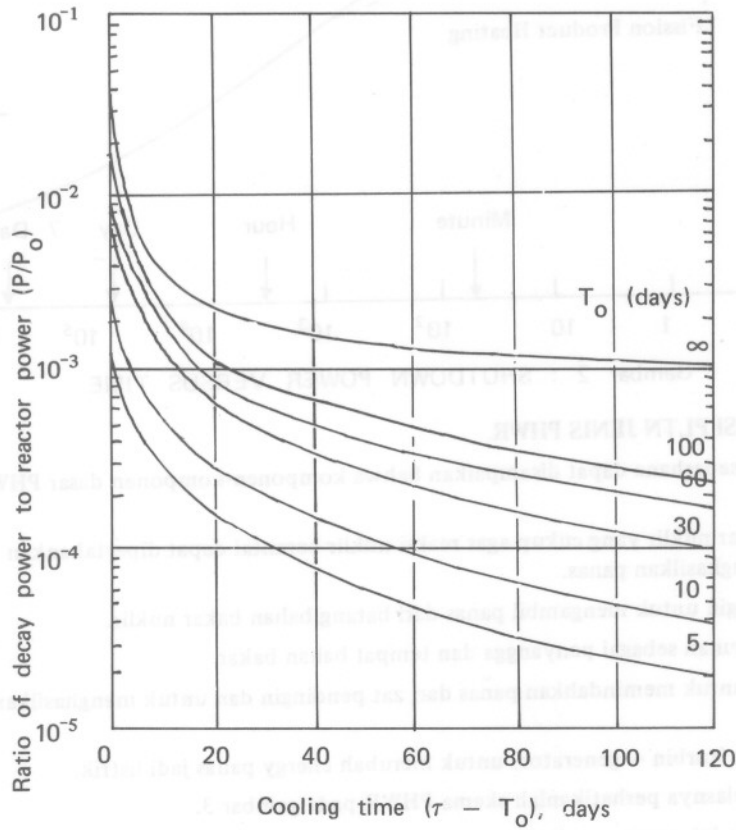
Bahaya potensiil yang dominan dari suatu kecelakaan Pusat Listrik Tenaga Nuklir bukanlah dalam bentuk tenaga seperti yang terjadi pada bom nuklir tetapi merupakan keluar dan tersebarnya zat-zat radioaktif kependuduk dan alam sekitarnya.

Kecelakaan paling buruk untuk PLTN jenis PHWR adalah terjadinya kehilangan pendingin (Loss of Coolant Accident LOCA). Pada kecelakaan ini pipa primer pecah dan mengakibatkan keluarnya zat pendingin yang berfungsi mendinginkan batang-batang bahan bakar nuklir. Pada saat LOCA tersebut reaksi fisi berhenti (dihentikan oleh sistim proteksi), tetapi panas yang dihasilkan oleh peluruhan dari produk-produk fisi bisa membuat teras reaktor mencair (bila sistim pendingin darurat tidak ada atau tidak berfungsi) sehingga sejumlah besar produk-produk fisi keluar dari sistim primer. Oleh karena panas sisa yang begitu besar bisa mencairkan teras reaktor (lihat gambar 1) dan menyebabkan keluarnya zat-zat radio aktif, maka secara teknis diberikan peralatan yang mampu mengatasi kemungkinan pelelehan tersebut. Dengan ini kita mengenal konsep keamanan reaktor (reactor safety) yang didasarkan pada jaminan mutu (quality assurance) dan pengendalian kwalitas (quality control) dalam setiap tahap dari pada disain, pembuatan, konstruksi dan operasi serta program dan metode inspeksi yang teliti.

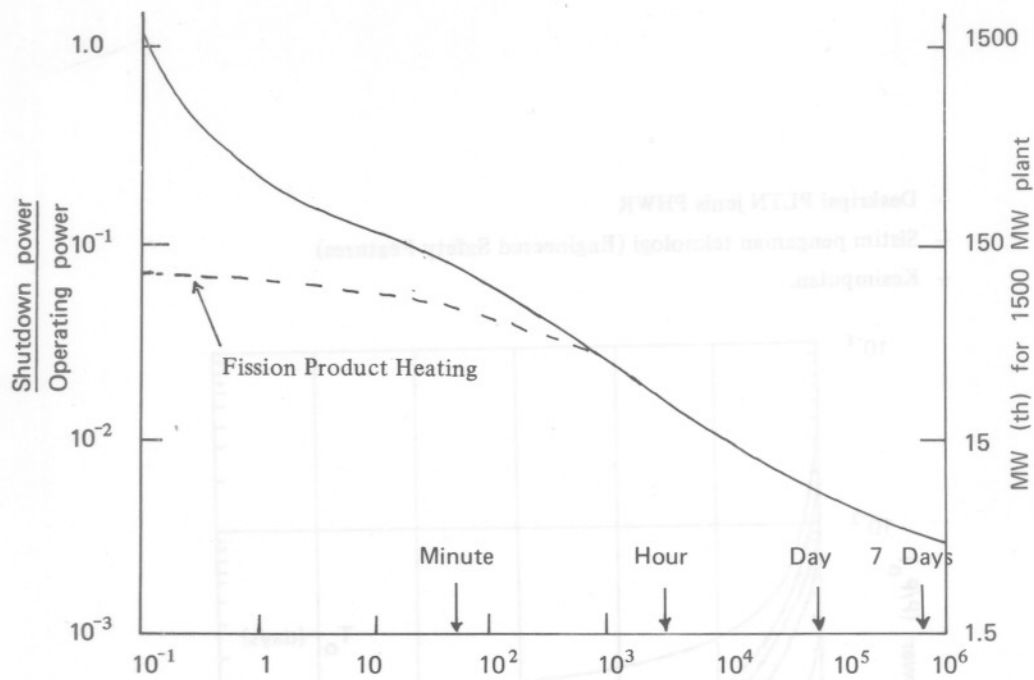
Dengan falsafah tersebut diatas maka kemungkinan terjadinya kecelakaan akan kecil sekali, tapi walaupun terjadi kecelakaan akibatnya tidak begitu berarti. Untuk sampai pada masalah yang dituju, pembahasan kita meliputi :

*) Pusat Reaktor Atom Bandung.

- Deskripsi PLTN jenis PHWR
- Sistem pengaman teknologi (Engineered Safety Features)
- Kesimpulan.



Gambar 1 : DECAY POWER AS FUNCTION OF TIME AFTER SHUTDOWN.



Gambar 2 : SHUTDOWN POWER VERSUS TIME

II. DESKRIPSI PLTN JENIS PHWR

Secara sederhana dapat disampaikan bahwa komponen-komponen dasar PHWR meliputi :

- bahan bakar nuklir yang cukup agar reaksi nuklir berantai dapat dipertahankan untuk menghasilkan panas.
- zat pendingin untuk mengambil panas dari batang bahan bakar nuklir.
- suatu banayunan sebagai penyangga dan tempat bahan bakar.
- peralatan untuk memindahkan panas dari zat pendingin dan untuk menghasilkan uap.
- sebuah alat (turbin – generator) untuk merubah energy panas jadi listrik.

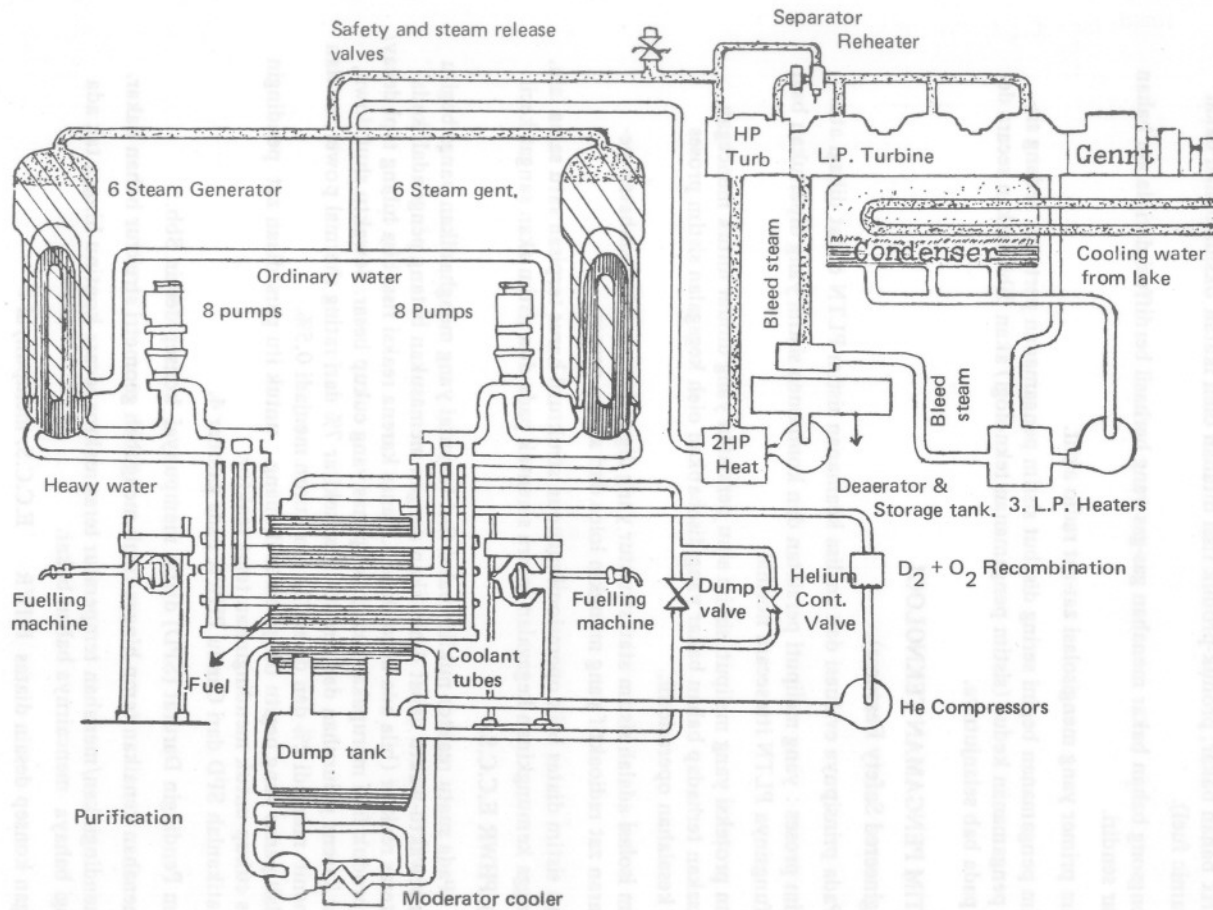
Untuk lebih jelasnya perhatikanlah skema PHWR pada gambar 3.

Reaktor Candu ini mempunyai susunan-susunan tabung tekan yang ditempatkan dalam bejana Calandria.

Bahan bakar dalam bentuk batang selindris disusun dalam tabung tekan sehingga berupa suatu cluster.

Air berat D_2O (coolant) dipompakan melalui tabung tekan untuk mendinginkan elemen bahan bakar, inlet temperatur $267^{\circ}C$ dan outlet temperatur $295^{\circ}C$.

Moderator D_2O ditempatkan dalam bejana Calandria, dan mengelilingi tabung-tabung tekan yang diisolasi dengan tabung silinder lainnya. Sistem moderator mempunyai sistem pendingin dan pemurnian sendiri. Untuk keperluan regulasi (keamanan target operasi), sistem moderator dilengkapi pula dengan dump tank.



Gambar 3 : Simplified station flow diagram

Pemisahan antara sistem moderasi dengan sistem zat pendingin merupakan heat sink tambahan bila pada suatu kecelakaan tertentu temperatur bahan bakar naik dengan cepat. Sewaktu operasi normal pencegahan terhadap keluar dan menyebarnya zat-zat radioaktif antara lain adalah oleh :

1. matrix bahan bakar; produk-produk fisi ditahan oleh ikatan oksida bahan bakar (ceramic fuel).
2. kelongsong bahan bakar menahan gas-gas yang berhasil berdiffusi dari dalam bahan bakar sendiri.
3. sistem primer yang mengisolasi zat-zat radio aktif.
4. sistem pengamanan begini sering disebut sistem pengamanan pertama, sedang sistem pengamanan kedua (sistem pengamanan teknologi) akan dibicarakan secara detail pada bab selanjutnya.

III.SISTIM PENGAMAN TEKNOLOGI

(Engineered Safety Features).

Pada prinsipnya evaluasi dan analisa keamanan sistem PLTN dapat dibagi atas :

1. **Sistem proses** : yang meliputi peralatan dan komponen sistem yang diperlukan bagi berfungsinya PLTN itu secara normal;
2. **Sistem proteksi** yang meliputi sistem atau peralatan yang dibuat untuk mencegah kerusakan terhadap bahan bakar yang disebabkan oleh kegagalan sistem proses atau kesalahan operasionil.
3. **Sistem isolasi** adalah sistem atau struktur yang digunakan untuk membatasi pemaparan zat radioaktif yang mungkin lolos dari sistem proses.

Ketiga sistem diatas baik operasionil maupun struktural harus terpisah satu sama lain. Sehingga kemungkinan kegagalan secara serentak pada dua sistem akan sangat kecil

1. a). PHWR E.C.C.S.

Pada suatu reaktor nuklir, reaksi fisi berantai yang menghasilkan panas begitu besar sewaktu-waktu dapat dihentikan dengan memasukkan batang pengendali kedalam teras reaktor (bila ada kecelakaan). Panas karena reaksi fisi bisa hilang tapi decay/ dari produk fisi merupakan penghasil panas yang cukup besar. Sewaktu shut down, panas karena peluruhan dari produk fisi sekitar 7% dari rating thermal power; setelah 10 menit menjadi 2% dan dalam 24 jam turun menjadi 0,5%.

Jumlah panas yang begitu tinggi harus dibuang untuk itu persediaan zat pendingin harus cukup untuk mendinginkan teras reaktor.

Perhatikanlah SPD dari Candu PHWR pada gambar 4.

Sistem Pendingin Darurat (SPD) diatas mempunyai konsep desain Sbb.:

- menahan kenaikan temp hingga tidak mengubah geometri struktur bahan bakar.
- mendinginkan/menahan temperatur teras reaktor secara kontinu hingga tak ada lagi bahaya mencairnya bahan bakar.

Dengan konsep desain diatas PHWR E.C.C.S. mempunyai :

- Low pressure injection system
- High pressure injection system

– persediaan zat pendingin yang cukup (Untuk 600 Mwe, disain memberikan volume sebesar 675.000 gallon = 2550 metric ton air pendingin yang selalu didinginkan dengan coil-coil diatas containment).

(Lihat gambar 5).

1.b). LOCA tanpa sistim pengaman

Rangkaian kejadian sesaat setelah kecelakaan LOCA pada PWR dan BWR tanpa alat pengaman dapat dilukiskan sbb. :

1. "Blow down" dari pendingin melalui sistim primer yang pecah - orde 10 detik.
2. Temperatur teras naik oleh karena panas peluruhan dengan kecepatan $10^{\circ}\text{C}/\text{detik}$.
3. Setelah 1 menit bahan pembungkus didaerah bahan bakar yang terpanas akan mencair (temp. 1850°C) dan bahan bakar UO_2 mulai desintegrasi dan terkumpul pada dasar bejana reaktor (gambar 6).
4. Dalam waktu 10 - 60 menit seluruh teras akan mencair dan terkumpul pada dasar bejana reaktor.
5. Setelah ± 2 jam, elemen bahan bakar akan menembus bejana reaktor dan satu-satunya penghalang dengan lingkungan adalah sistim isolasi.
6. Pada keadaan 5 diatas, sistim isolasi belum tentu berfungsi sempurna, karena timbulnya tekanan pada saat keluarnya air pada sistim primer bisa menimbulkan kerusakan pada sistim isolasi (Containment).

Untuk PLTN PHWR (pendingin dan moderator terpisah) karena masih adanya moderator sebagai "heat sink" dan panas volumetrik yang lebih rendah maka urutan kejadian ke 2 dst-nya akan berlangsung dalam waktu yang relatif lebih lama.

2. CONTAINMENT.

Berbicara perihal containment, sekaligus berbicara masalah bejana tekan dan perkembangannya.

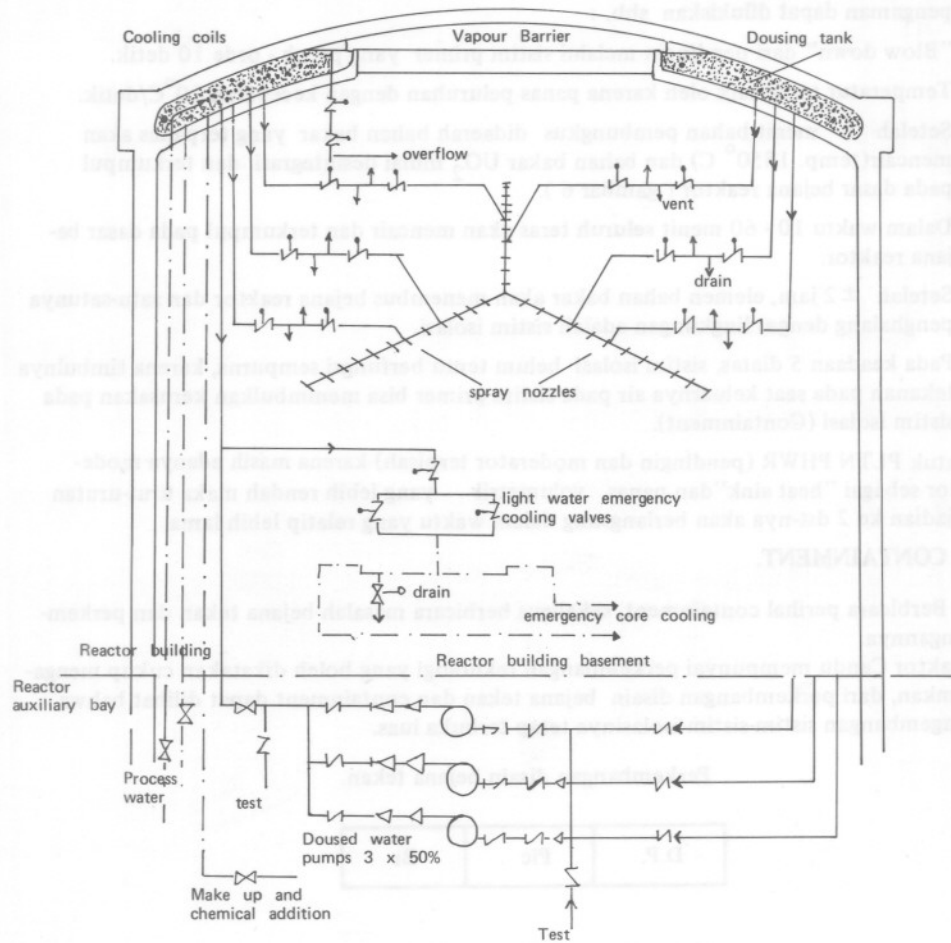
Reaktor Candu mempunyai perkembangan teknologi yang boleh dikatakan cukup mengagumkan, dari perkembangan disain bejana tekan dan containment dapat dilihat bahwa pengembangan sistim-sistim isolasinya tetap terbuka luas.

Perkembangan disain bejana tekan.

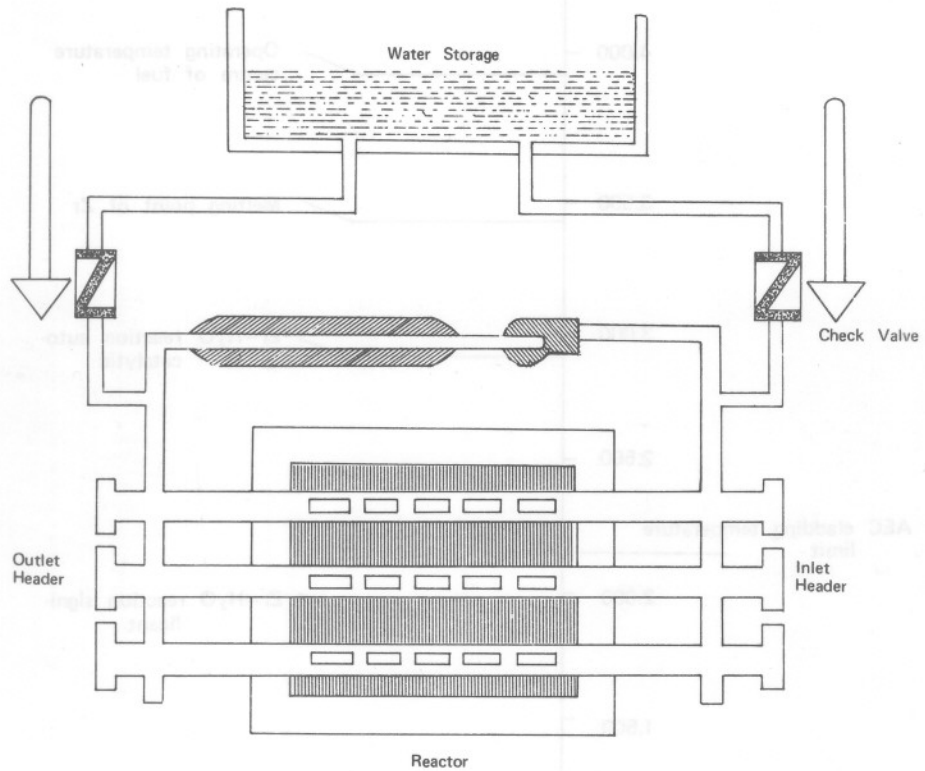
D.P.	Pic	Br
------	-----	----

Perkembangan disain containment

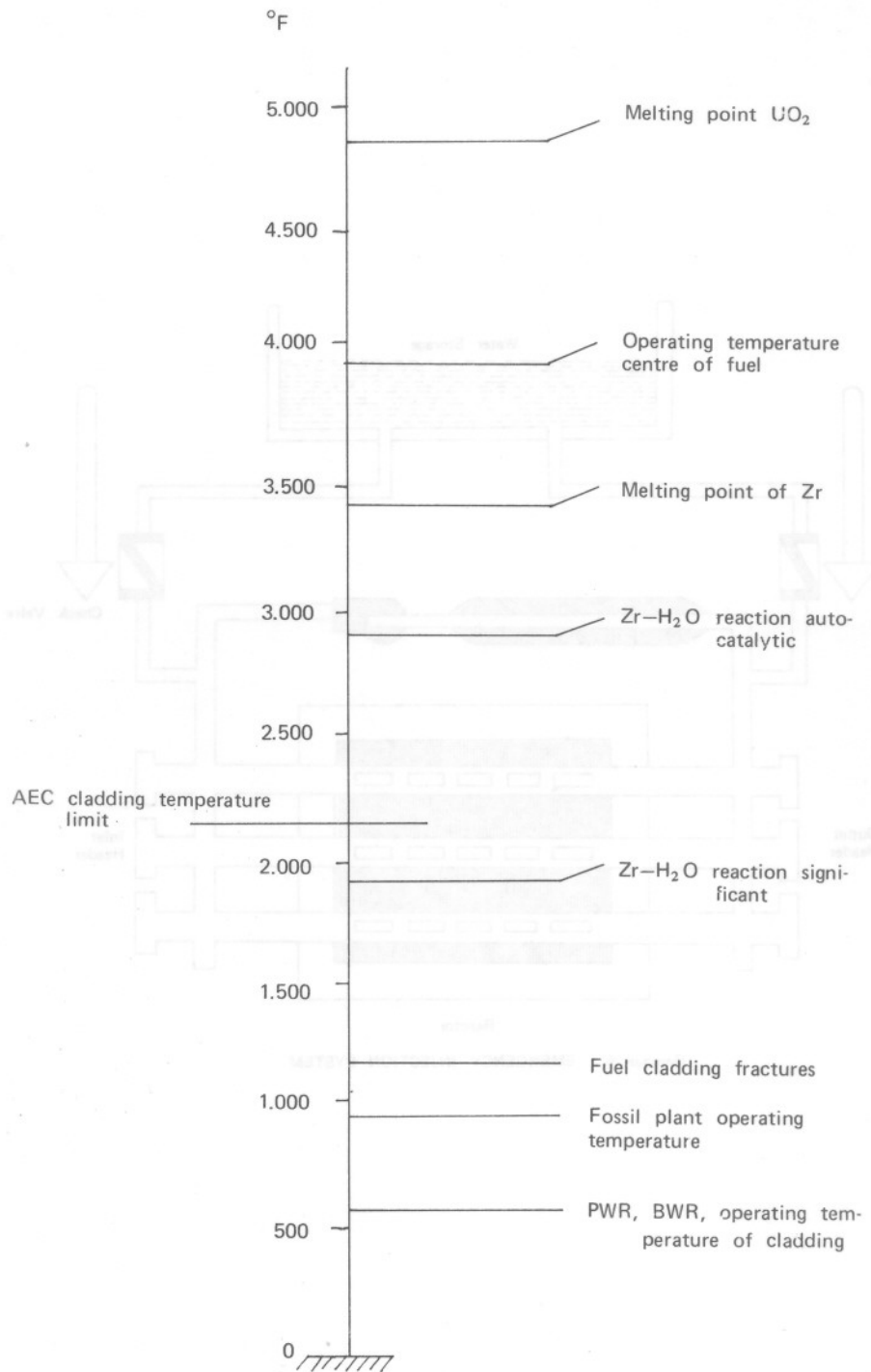
D.P.	Pic	Br
------	-----	----



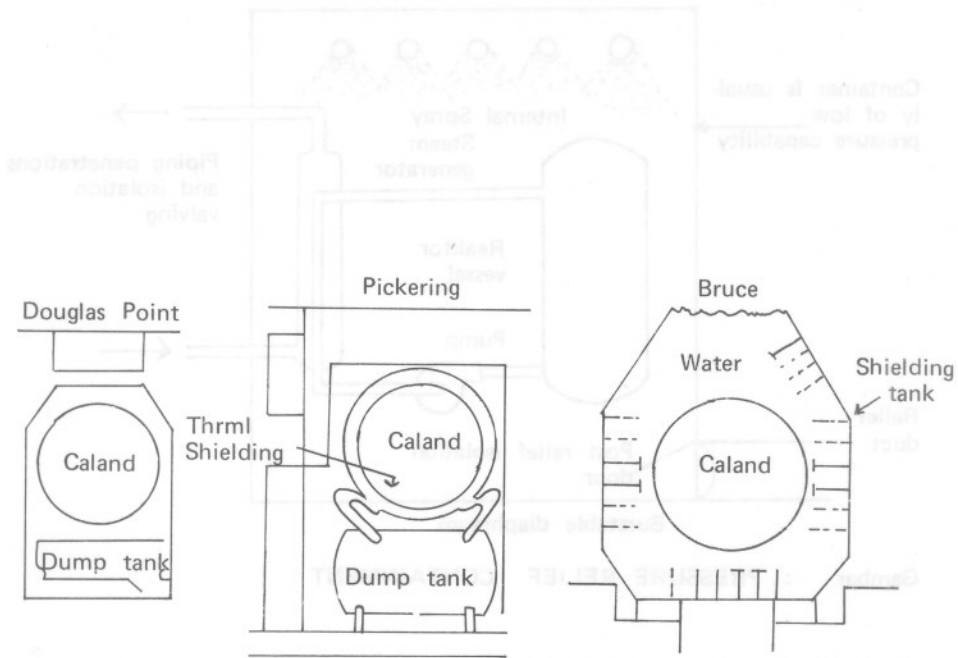
Gambar 4. CANDU-HWR DOUSSING AND EMERGENCY COOLING SYSTEM



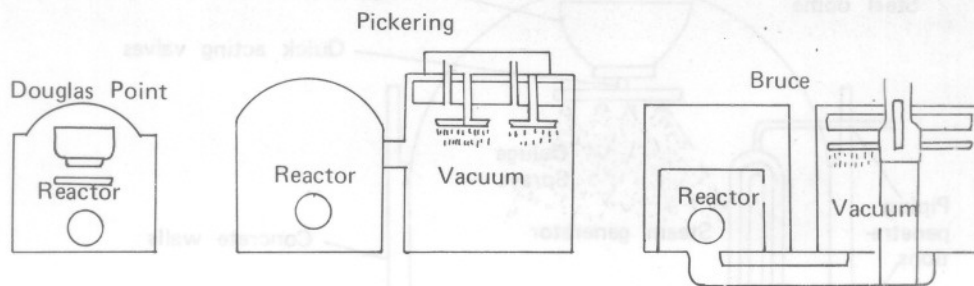
Gambar 5 : EMERGENCY INJECTION SYSTEM



Gambar 6 : CRITICAL TEMPERATURES IN REACTOR OPERATION

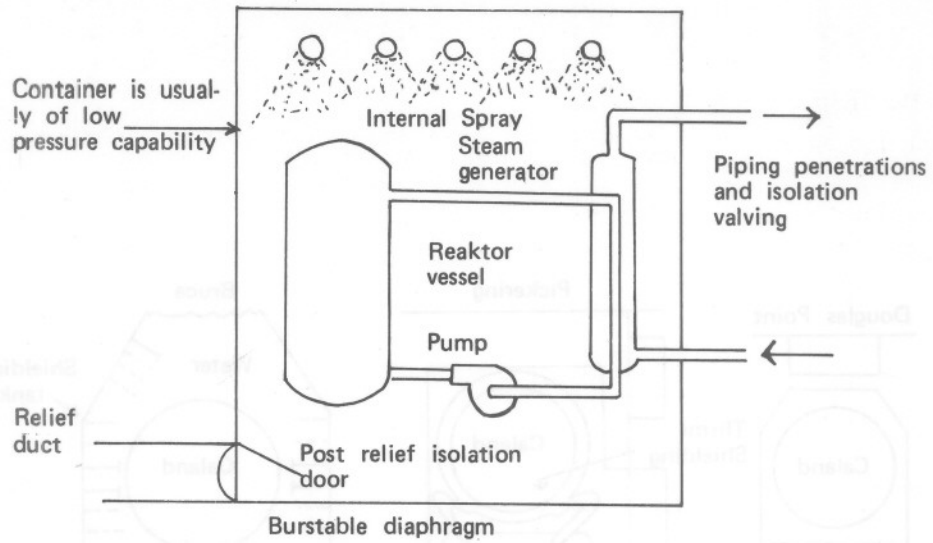


ARRANGEMENT OF REACTORS AND SHIELDING

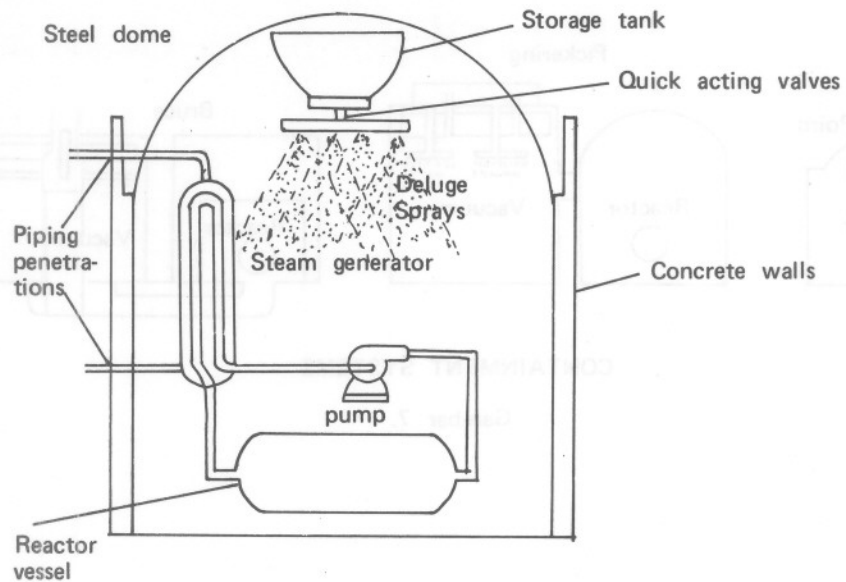


CONTAINMENT SYSTEMS

Gambar 7.



Gambar : PRESSURE RELIEF CONTAINMENT



Gambar 8. DOUGLAS POINT REACTOR BUILDING PRESSURE SUPPRESSION CONTAINMENT.

IV. KESIMPULAN

1. Pemisahan sistim moderasi & pendinginan dapat menambah faktor keamanan keselamatan Candu PHWR.
2. Panas volumetrik yang relatif rendah (10,8 Kw/liter) dibandingkan dengan LWR.
3. Perkembangan disain bejana tekan dan sistim isolasi menambah pula keandalan sistim; disamping ekonominya yang makin membaik.
4. Pada operasi normal kemungkinan keluarnya gas-gas hasil fisi dari fuel elemen karena defect bahan bakar sangat kecil karena umur pakai cluster bahan bakar yang lebih pendek ($\pm 1/3$ dari fuel pada LWR).
5. Pada kecelakaan terburuk, dengan adanya spray system pada containment maka lodine tertahan dalam sistim isolasi.
6. Atas konsep keamanan reaktor pada quality assurance dan quality control pada setiap tahap disain, manufacturing, konstruksi dan operasi serta program-metoda inspeksi yang mantap Reaktor Candu PHWR cukup aman, baik terhadap personil, PLTN-nya sendiri maupun terhadap publik dan alam lingkungan disekitarnya.

DAFTAR PUSTAKA :

1. G. HAKE, The Relation of Reactor Design to Siting and Containment in Canada, Proceedings of a Symposium IAEA April 1967.
2. Lecture Notes dari Australian School of Nuclear Technology 1974.
3. Iyos Subki & Arlinah Kusnowo, Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir Sistim Air Berat (HWR), Proceedings dan Lokakarya PLTN Maret 1974.
4. Iyos R. Subki, Pengaruh Keadaan Lokasi Terhadap Disain PLTN, Kertas Karya Seminar Lokasi PLTN 1975.
5. CANDU - HWR, AECL.

DISKUSI

PERTANYAAN :

A. Arismunandar :

Dalam kesimpulan Saudara menyatakan bahwa "sistim pendinginan darurat cukup mampu untuk memenuhi ketetapan dalam kriteria keselamatan". Apakah kesimpulan ini yang mestinya berlaku untuk jenis LWR saja (sesuai uraian dalam prasaran Saudara), dapat dipakai untuk menyimpulkan hal yang sama pada HWR? Sejauh mana hal ini telah diselidiki?

JAWABAN :

Iyos Subki :

Disain SPD pada dasarnya sama saja untuk LWR atau HWR. Tetapi masalahnya terletak pada perbedaan kerapatan daya dan "heat sink" pada kedua sistim diatas.

Pada sistim LWR kerapatan daya lebih tinggi ditambah pula "heat sink" lebih kecil dari sistim HWR yang menggunakan uranium alam dan moderator D_2O dalam calandria. Ini akan menyebabkan bahwa risiko "melting" pada LWR jauh lebih besar daripada HWR, untuk kemampuan SPD yang sama. Jadi, kita lebih mudah untuk menyimpulkan bahwa, sejauh penyelidikan yang dilakukan dalam proses "blow down," kita disain SPD untuk HWR sampai sekarang, kriteria keselamatan lebih mudah dipenuhi untuk sistim HWR.

PERTANYAAN :

Sugimin W.W. :

Dari paper oleh Sutaryo Supadi disarankan adanya penerangan-penerangan kepada kelompok masyarakat terdidik dan kelompok selebihnya dari itu agar issue PLTN tidak aman dapat dihilangkan. Kemudian dari paper oleh Iyos R. Subki dkk karena response versus waktu, berbentuk pulsa dengan peak pada saat pemasangan. Kedua pemrasaran dari BATAN, karena itu pertanyaan saya : Kapankah dimulainya penerangan-penerangan tersebut agar sesuai dengan pengalaman yang telah digambarkan dalam kurva tersebut? Perlukah kedua kelompok dibedakan dalam kurva?

JAWABAN :

Iyos R. Subki :

Dalam hal ini tidak ada perbedaan pendapat, bahwa penerangan harus dimulai. Kurva response yang kami tunjukkan, kalau benar, akan memberikan kepada kita kapan waktunya yang tepat untuk pelaksanaan intensifikasi penerangan. Perlu juga kita mengetahui benar-benar siapa masyarakat itu atau siapa yang mewakili masyarakat!

PERTANYAAN :

Soekardono :

1. Benarkah kecelakaan yang terjadi pada reaktor air berat tidak menimbulkan efek tenaga sehingga tidak perlu dikawatirkan halnya seperti kecelakaan pabrik DAHANA yang sampai keluar kompleks instalasinya?
2. Bagaimana Sistim Pengaman D_2O sendiri?
3. Menurut saya analisa Sosio Tehnis yang dipaparkan tadi tidak berarti apa-apa. Setujukah pendapat saya itu?

JAWABAN :
Iyos Subki. :

1. Bahwa kecelakaan pada PLTN tidak mempunyai efek eksplosif seperti kecelakaan DAHANA adalah benar. Tapi bahwa dalam kecelakaan PLTN timbul masalah pembatasan efek energi panas dan uap, disamping efek radioaktif inilah yang menyebabkan kita berfikir secara mendalam tentang sistem-sistem pengamanan teknologi.
2. D₂O berada dalam sistem primer dan calandria yang kesemuanya berada dalam sistem isolasi. Dan karenanya berada dalam lingkungan yang aman.
3. Ini tergantung dari tingkat "affluence" dari masyarakat, Bisa penting bisa tidak, tapi mungkin selalu perlu diselidiki!

PENDAHULUAN

Pada umumnya harga energi nuklir telah menunjukkan angka yang sangat besar untuk menjamin kestabilan dan keamanan sektor daya, dan manfaat lebih dari tenaga industri lain yang bersaing. Walaupun demikian, ada kecemasan PLTN masih juga menjadi bahan perdebatan yang kontroversial, terutama di Amerika Serikat. Pihak pendukung nuklir sendiri menganggap bahwa kemungkinan terjadinya kecelakaan yang berpotensi dapat meluaskan ke lingkungan sekitarnya adalah sangat kecil, sekitar 10⁻⁶ tahun sekali. Walaupun angka kemungkinan tersebut juga menjadi bahan perdebatan pada umumnya dalam dunia pengembangan nuklir yang pesat.

Kritik kecemasan di Amerika Serikat telah merambat ke seluruh dunia. Pada masa kurang lebih 15 tahun yang lalu, berbagai kalangan seperti kelompok-kelompok sipil dengan alasan-alasan yang berbeda-beda, telah mengemukakan kekhawatiran-khawatiran mereka tentang PLTN. Mereka khawatir bahwa PLTN akan menimbulkan berbagai masalah lingkungan, kesehatan, keselamatan, dan masalah-masalah lainnya yang berkaitan dengan program tenaga nuklir. Dalam hal ini perdebatan yang telah dipicu di kalangan industri nuklir sendiri seperti "design base accident", "maximum credible accident", "reactor hic accident", dan lain sebagainya yang sudah dimunculkan oleh para kritikus dan insinyur ternyata sangat memunculkan kekhawatiran yang mendalam. Diambil oleh kelompok-kelompok masyarakat yang dapat melakukan hal-hal tersebut adalah sebagai berikut: (1) yang lain seperti Panel Listrik Konvensional, pemerintah, bahkan dalam masyarakat mobil atau masyarakat lain yang ternyata banyak ada dalam masyarakat industri dan masyarakat-kelompok lain yang sudah bisa