

PENGARUH KEADAAN LOKASI TERHADAP DISAIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR *)

Iyos Subki

Dinas Reaktor, PRAB – BATAN

ABSTRAK.

Suatu PLTN, di samping dirancang sebagai sebuah pembangkit yang ekonomis, tapi juga sekaligus dirancang sebagai sistem yang aman terhadap lingkungan dan penduduk di sekitarnya.

Di sini akan diuraikan secara garis besar pendekatan teknis (engineering) dalam disain PLTN sehingga kemungkinan kecelakaan (accident) dapat ditekan sampai minimal dan paparan zat radioaktif, kalau pun terjadi, harus dijaga dalam batas-batas yang diperbolehkan.

Suatu PLTN dapat dibagi atas, pertama sistem proses yang meliputi elemen bahan bakar, tabung tekan, sistem pendinginan primer dan sekunder, kedua sistem pengamanan, yang meliputi sistem shutdown, sistem isolasi dan sistem pendinginan darurat.

Kriteria untuk kedua sistem di atas akan diuraikan dalam hubungannya dengan keamanan dan keandalan PLTN dalam jaringan listrik.

1. PENDAHULUAN.

Penentuan lokasi untuk suatu instalasi pembangkit tenaga makin lama makin sulit, mengingat terbatasnya tempat-tempat yang cukup jauh dari wilayah yang berpenduduk padat dan sekaligus memenuhi persyaratan teknis yang diperlukan. Dewasa ini kita harus lebih mengarah kepada sistem teknologi, yang dalam disainnya dan konstruksinya memperhitungkan interaksi antara sistem pembangkit dengan lingkungan, untuk menjamin keamanan penduduk dan personil.

Disini risalah kriteria keamanan sistem nuklir lebih ditekankan daripada kriteria lokasi, meskipun yang terakhir ini tidak dilupakan, mengingat antara lain persyaratan teknis lokasi tetap harus dipenuhi.

Kriteria keamanan harus dirumuskan secara fleksibel dan umum. Selanjutnya kriteria diuraikan atas prinsip-prinsip operasional untuk melakukan analisa dan disain bagi sistem pengamanan dan meliputi : prinsip umum, syarat keandalan (reliability) dan prinsip disain.

2. KRITERIA KEAMANAN.

Kriteria keamanan meliputi prinsip-prinsip yang harus diterapkan, sesuai dengan tingkat kemajuan ilmu dan teknologi, agar dapat menjamin keselamatan. Untuk tujuan analisa dan disain, kriteria keamanan dapat dituliskan secara kuantitatif, misalnya sebagai tercantum dalam Appendix I.

Meskipun demikian kriteria ini tidak usah menjadi peraturan yang kaku, sebab adanya pengembangan dalam teknologi keamanan dan perbedaan dalam komponen dan subsistem berbagai PLTN. Belum lagi kalau kita menginginkan agar kriteria ini juga berlaku bagi sistem reaktor cepat.

Prinsip-prinsip dasar dari kriteria keamanan :

2.a. Prinsip umum.

Untuk evaluasi dan analisa keamanan, sistem PLTN dibagi atas :

- (1) Sistem proses yang meliputi peralatan dan komponen sistem yang diperlukan bagi berfungsinya PLTN itu secara normal.

A. RAJAK :

Karena air pendingin adalah masalah yang penting dan Lokasi PLTN, maka kami ingin penjelasan karena adanya perbedaan yang menyolok dari Paper Pak Marjono hal. 5 dan Paper Saudara hal. 5 dan 6.

M. NURDIN :

Kemungkinan perbedaan adalah pada asumsi yang diambil semula dan pada kegunaan apa kebutuhan air pada peper pak Marjono tidak dijelaskan.

Untuk maksud-maksud pendinginan seperti uraian saya, sejauh mana asumsi-asumsi yang saya ambil – jelas perincian yang ada pada paper saya memang seharusnya demikian.

MARJONO N. :

Lokasi dan management panas suatu PLTN :

- 1) Apakah reference yang Saudara pakai untuk patokan-patokan dalam penyediaan zat pendingin ? (hal. 4).
- 2) Menurut patokan-patokan tersebut kebutuhan air pendingin adalah $50 \text{ m}^3/\text{det}$. Pengalaman di PLTU Priok memberikan angka untuk pendingin PLTU dengan Unit 500 MW lebih kurang $11 \text{ m}^3/\text{det}$. Berarti kebutuhan PLTN adalah $\pm 400\%$ lebih tinggi daripada PLTU dengan Unit yang sama. Berhubung besarnya perbedaan tersebut kami sarankan agar angka kebutuhan air pendingin diteliti lebih jauh.

M. NURDIN :

- 1) Patokan adalah ilmu perpindahan panas yang juga bisa dibaca dari banyak literatur Heat & Mass Transfer, begitu pula dari referensi paper kami.

$$\begin{aligned} \text{PLTN}_{\text{candu}} \text{ 500 MWE} & : P_w = 500 \text{ MW} \times \frac{0,71}{0,29} \times \frac{0,24 \text{ kalori}}{\text{W}} \\ & = 294 \text{ M. cal.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PLTU Priok 500 MWe} & : P_w = 500 \text{ MW} \times \frac{0,60}{0,90} \times \frac{0,24 \text{ kalori}}{\text{W}} \\ & = 180 \text{ M. cal.} \end{aligned}$$

Seperti hasil diatas, jelas tidak mungkin, PLTU, bisa didinginkan hanya dengan aliran $11 \text{ m}^3/\text{det}$.

Jadi perbedaan ini adalah perbedaan dalam mengambil ΔT , mungkin ΔT pada condensor PLTU jauh lebih tinggi dari pada PLTN.

A. KUSNOWO :

Ada hubungan yang erat antara lokasi dan jenis serta kapasitas PLTN yang akan dibuat. Apakah tidak sebaiknya diambil cara dalam menentukan lokasi, jenis dan kapasitas reaktor juga dijadikan parameter ?

M. NURDIN :

Masalah jenis dan kapasitas bisa dijadikan parameter dalam menentukan lokasi suatu PLTN.

- (2). **Sistim proteksi** yang meliputi sistim atau peralatan yang dibuat untuk mencegah kerusakan terhadap bahan bakar disebabkan oleh kegagalan sistim proses atau kesalahan operasionil.
- (3). **Sistim isolasi** adalah sistim atau struktur yang digunakan untuk membatasi pemaparan zat radioaktif yang mungkin lolos dari sistim proses.

2b. Standar keandalan.

Standar keandalan yang dapat dicapai dengan teknologi dewasa ini adalah :

- (1). Frekwensi kecelakaan dalam sistim proses tidak boleh melebihi **satu kali per tiga tahun**.
- (2). Kemungkinan kegagalan sistim proteksi tidak boleh melebihi 0,003.
- (3). Kemungkinan kegagalan sistim isolasi tidak boleh melebihi 0,003.

Dalam kenyataannya dari pengalaman diberbagai negara untuk sistim proses dan proteksi dapat dicapai keandalan yang lebih tinggi.

Suatu lokasi dianggap tepat dari segi keamanan, bila sistim proteksi dan atau isolasi berfungsi sebagaimana mestinya hingga suatu kecelakaan pada sistim proses tidak menimbulkan bencana kepada penduduk di luar daerah pengucilan. Suatu bencana mungkin akan timbul, bila terjadi kegagalan yang koin-siden pada ketiga sistim. Namun hal ini kemungkinannya sangat kecil.

Standar keadaan di atas merupakan suatu petunjuk bagi perancang maupun para operator dalam hubungannya dengan program pengucilan dan inspeksi.

2.c. Prinsip-prinsip disain.

disamping prinsip-prinsip umum di atas, diperlukan prinsip2 operasionil dalam disain komponen dan sistim PLTN. Di sini akan disebut beberapa prinsip yang paling penting antara lain :

- (1). Sistim proteksi dan sistim isolasi harus dirancang sedemikian hingga mudah diuji keandalannya.
- (2). Sistim proteksi harus terpisah dari sistim untuk pengaturan reaktor. Sistim proteksi harus mampu mencegah/memperkecil kerusakan bahan bakar jika terjadi kegagalan pada sistim pengaturan reaktor.
- (3). Sistim primer harus dirancang sesuai dengan standar teknis yang dianggap terbaik.
- (4). Sistim pendinginan darurat (Emergency Core Cooling System-ECCS) harus tersedia dan mampu mencegah/memperkecil kecelakaan karena kerusakan bahan bakar jika terjadi kegagalan (pecah) pada pipa terbesar atau bejana dalam sistim primer.

3. MACAM KECELAKAAN PADA SISTIM NUKLIR

Untuk maksud-maksud disain dan analisa, dua situasi kecelakaan dan kriteria keamanannya ditunjukkan pada Appendix I.

3.a. Kecelakaan Tunggal (Single Failure)

Ini adalah kecelakaan pada sistim proses dan masih terkendalikan oleh sistim proteksi.

Kriteria keamanan untuk ini tidak boleh melebihi batas tahunan untuk operasi normal.

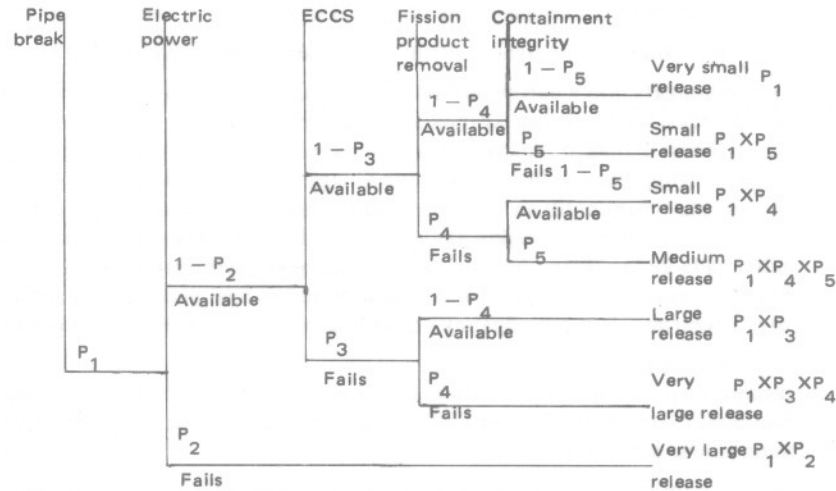
3.b. Kecelakaan Ganda (Double Failure).

Disini terjadi kecelakaan pada sistim proses yang koinsiden dengan kegagalan sistim proteksi.

Kriteria keamanan untuk ini dapat dilihat juga pada Appendix I.

Yang disebut Maximum Credible Accident (MCA) termasuk pada kelompok Kecelakaan Ganda. Dan ini biasanya dalam bentuk pecah ganda pada pipa primer yang mengakibatkan hilangnya pendinginan pada bahan bakar (Loss of Coolant Accident - LOCA).

Untuk LOCA ini model probabilistik tahap-tahap kejadiannya tertera dalam bagan berikut :



Bagan di atas berlaku untuk sistim PWR/BWR, untuk sistim CANDU-HWR diperlukan sedikit modifikasi. Selanjutnya gambar 1. menunjukkan daya panas yang ada dalam teras reaktor sebagai fungsi waktu, sesudah reaksi berantai diberhentikan. Sisa panas inilah yang memungkinkan mencairnya bahan bakar pada LOCA. Pada gambar yang sama ditunjukkan temperatur-temperatur kritis pada bahan bakar.

4. KOMPONEN SISTIM NUKLIR SERTA ASPEK KEAMANANNYA.

4.a. Bejana tekan dan tabung tekan.

Sistim nuklir dengan air biasa (Light Water Reactor) menggunakan bejana tekan (pressure vessel) yang dibuat sesuai dengan ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section III (Nuclear Vessels).

Kemungkinan pecahnya bejana tekan adalah kecil sekali, tapi meskipun demikian tak dapat diabaikan samasekali. Adanya Section IX (In-service Inspection of Nuclear Reactor Coolant Systems) dari ASME Code dapat memperkecil lebih lanjut kemungkinan pecahnya bejana tekan.

Sistim CANDU-HWR menggunakan tabung tekan terbuat dari alloy zirconium yang juga dibuat sesuai dengan ASME Nuclear Vessel and Power Piping Code.

Pengendalian kualitas dan inspeksi tabung tekan jauh lebih mudah dari bejana tekan. Penelitian sampai sekarang menunjukkan bahwa kegagalan tabung

tekan akan terbatas pada tabung calandria, jadi tidak akan merembet. Selain itu kriterium "leak before break" akan dipenuhi selama usia tabung itu dalam reaktor, hingga tindakan pengamanan dapat segera dilakukan. Efek "creep" karena radiasi pada tabung tekan telah banyak diselidiki, batas-batas disain tabung tak akan dilewatkan selama tabung itu dalam reaktor (30 tahun).

4.b. Elemen bahan bakar.

Elemen bahan bakar dirancang untuk mampu mengisolasi produk fisi sedemikian rupa hingga dalam kondisi normal dan abnormal tidak terjadi kerusakan terhadap elemen bahan bakar. Sistem proteksi lebih lanjut mencegah kerusakan terhadap bahan bakar dalam kondisi transien.

Dalam sistem CANDU-HWR, kerusakan pada pipa primer dengan sistem proteksi berfungsi sebagaimana mestinya, paparan radiosktifitas tidak akan melebihi tahunan untuk paparan rutin.

Untuk sistem LWR, kecelakaan diatas (pipe break) merupakan suatu Maximum Credible Accident.

Pengalaman dengan bahan bakar selama ini menunjukkan bahwa bahan bakar dapat bekerja 20 – 25 % di atas batas disainnya tanpa kegagalan. Temperatur disain untuk kelongsong adalah 300°C dan telah dicoba pada temperatur 500°C untuk waktu yang lama tanpa kerusakan.

Transien daya hingga menimbulkan kondisi "dry-out" juga tidak menimbulkan kerusakan langsung pada kelongsong, dilain pihak "time constant" yang panjang dari UO_2 sangat membantu menahan kenaikan temperatur dalam kondisi transien. Ini menunjukkan juga bahwa kelongsong dari zircalloy serta fabrikasi dan pengendalian kualitasnya yang mudah merupakan bahan yang tepat dari segi keamanan.

4.c. Sistem Isolasi (Containment):

Sistem isolasi untuk CANDU – HWR dan LWR berbeda dalam spesifikasi dan detail teknisnya, tetapi dasar disainnya (design basis) sama yaitu :

Kecepatan kebocoran maksimum yang dibolehkan dalam kecelakaan ganda tidak boleh dilewati, adanya temperatur dan tekanan uap yang timbul pada waktu kecelakaan harus diperhitungkan. Demikian pula harus diperhitungkan efek reaksi kimia, sedang pendingin dan penurunan tekanan sistem isolasi perlu pula disediakan.

Persyaratan lain: sistem isolasi harus dapat diuji secara periodik untuk membuktikan keandalannya.

Gambar 2 menunjukkan bagan sistem isolasi CANDU – HWR yang terbuat dari beton, sistem ECCS dan penurun tekanan uap dalam struktur.

4.d. Sistem Pendingin Darurat (ECCS).

Jika terjadi kemungkinan pecahnya pipa primer yang dapat melelehkan sebagian atau seluruh bahan bakar karena pemanasan sinar gamma, maka suatu sistem pendingin darurat harus disediakan.

Dasar disain sistem pendingin darurat :

- menahan kenaikan temperatur hingga tidak mengubah geometri struktur bahan bakar.
- mengurangi reaksi kimia eksotermik sampai tingkat minimal.
- mendinginkan teras reaktor.
- menahan temperatur teras secara kontinu hingga tak ada lagi bahaya lelehnya bahan bakar.

Syarat lain : Sistim harus dapat diuji secara periodik untuk menunjukkan keandalannya.

Gambar 2 menunjukkan sistim ECCS pada CANDU – HWR dan Gambar 3 menunjukkan sistim ECCS untuk suatu Pressurized Water Reactor (PWR).

5. Ringkasan dan saran.

Aspek-aspek teknis dari sebuah PLTN, khususnya yang langsung berpengaruh pada keamanan, telah ditinjau secara garis besar.

Aspek-aspek ini meliputi : sistim kendali, sistim primer, elemen bahan bakar, sistim isolasi dan sistim pendingin darurat, yang kesemuanya dalam interaksinya yang kompleks dengan lingkungan dapat mempengaruhi keamanan.

Dalam mengatasi hal-hal terakhir inilah sekarang kita harus mengerahkan pemikiran kita. Hal ini meliputi antara lain :

- a. Program pengendalian dan supervisi kualitas material, komponen dan struktur, dalam setiap tahap disain, konstruksi dan operasi PLTN untuk menjamin keandalan dan keamanannya. Perlu adanya dokumentasi yang teliti dan lengkap untuk setiap tahap kegiatan ini.
- b. Perlu segera mempelajari kemungkinan adaptasi standar dan kode teknis dalam disain dan konstruksi komponen dan sistim PLTN.
- c. Perlu segera menegakkan prosedur standar dalam disain komponen, peralatan sistim dan struktur PLTN khususnya dalam interaksinya dengan kondisi geologi, kekuatan seismik dan kondisi meteorologis.

Meskipun faktor jarak (distance factor) ke wilayah penduduk merupakan salah satu faktor keamanan yang penting, akan tetapi sistim keamanan teknis tetap merupakan penghalang utama antara radiasi dan penduduk.

BIBLIOGRAFI :

1. Boyd, F.C., **Containment and Siting Requirements in Canada**, Containment and Siting of Nuclear Power Plants, IAEA, 1967.
2. Hake, G., **The Relation of Reactor Design to Siting and Containment in Canada**, Containment and Siting of Nuclear Power Plants, IAEA, 1967.
3. Grancher, D.W., **Nuclear Power – Regulatory, Safety and Environmental Aspects**, AINSE Engineering Conference, Lucas Heights, N.S.W., 1974.
4. **Organization of Regulatory Activities for Nuclear Reactors**, Technical Reports Series No. 153, IAEA, 1974.
5. Rasmussen, N.C., **The AEC Study on the Estimation of Risks to the Public from Potential Accidents in Nuclear Power Plants.**, Nuclear Safety, Vo. 15, No. 4, 1974.

APPENDIX I
RADIATION EXPOSURE LIMITS

1. NORMAL OPERATION

1.1. Individual member of public at exclusion boundary :

0.5 rem/yr whole body

5 rad/yr thyroid

1.2. Integrated exposure to population :

10^4 man-rem/yr

10^4 man thyroid-rad/yr

(Integration is to be carried out for individual doses exceeding 5×10^{-3} rem/yr.).

2. ACCIDENT CONDITIONS (see text for application)

2.1. Individual member of public at exclusion area boundary :

25 rem whole body

250 rad thyroid

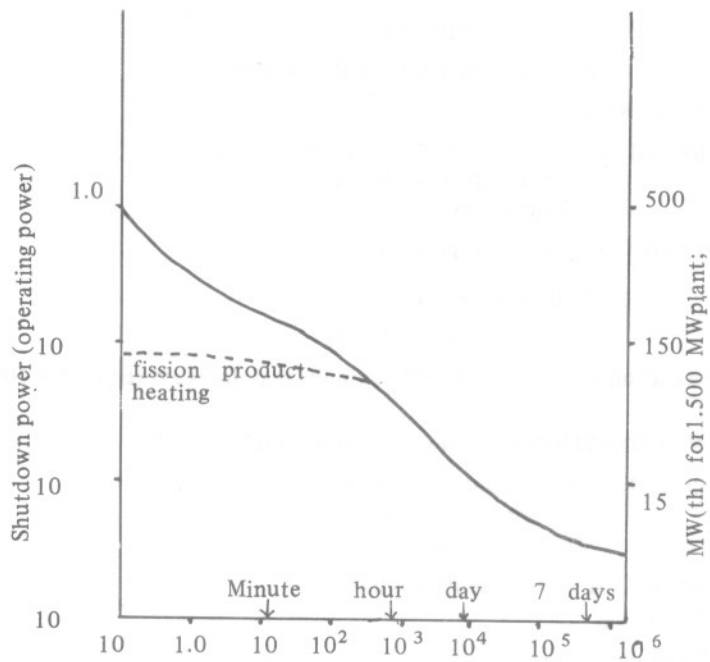
2.2. Integrated exposure to population :

10^6 man-rem

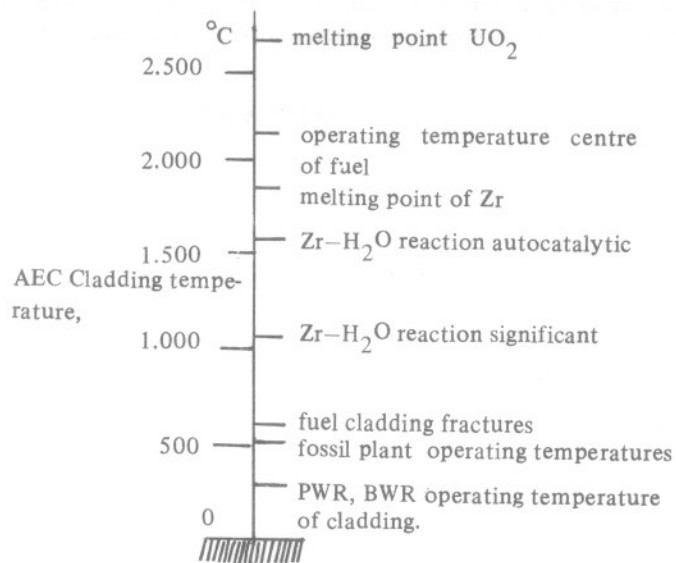
10^6 man thyroid-rad

(Integration to be carried out for individual doses exceeding 0.5 rem).

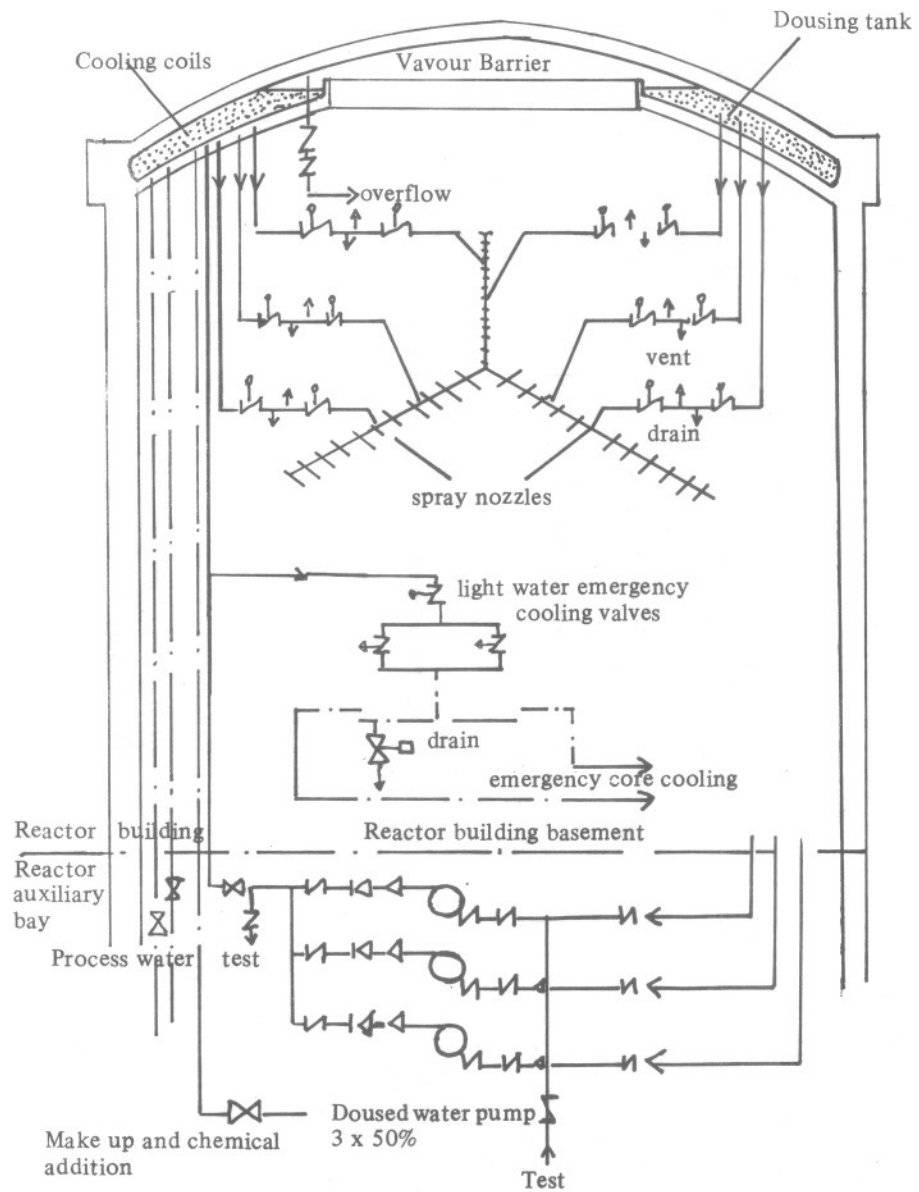
(In applying 2. it shall be assumed that Pasquill type F weather prevails and the wind is directed towards the person at risk or the densest population.).



Gambar 1. Shut Down Power Versus Time.

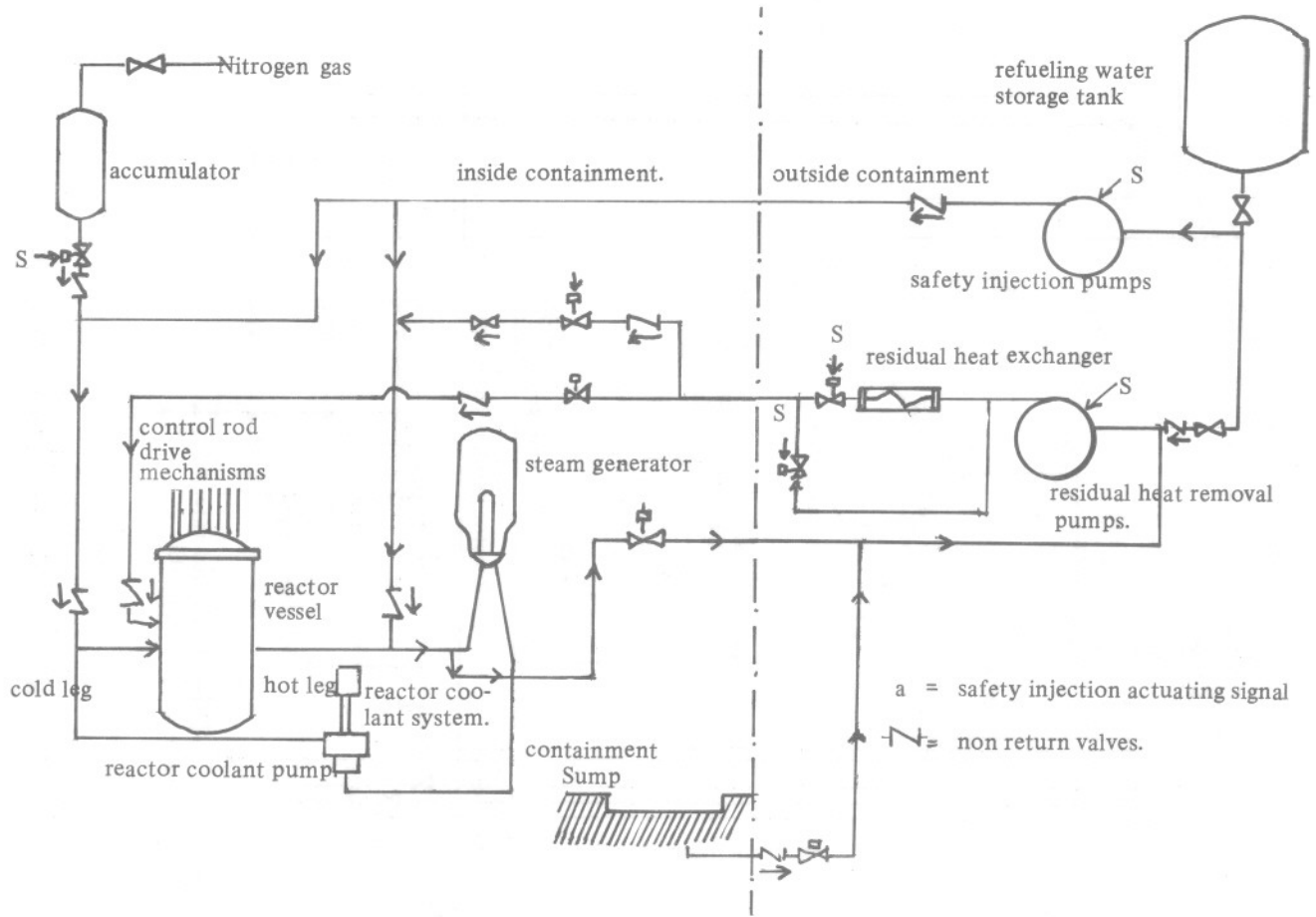


CRITICAL TEMPERATURES IN REACTOR OPERATION.



Gambar 2. :

CANDU - HWR DOUSING AND EMERGENCY COOLING SYSTEM.



Gambar 3. Diagram of Typical PWR Safety Injection System.

DISKUSI

SUKARDONO

Untuk mendapatkan suatu dukungan baik dari Pemerintah maupun masyarakat, sebaiknya dijelaskan secara jelas yaitu :

- a. **Dengan kuantitatif** di sini dapat dibandingkan dengan PLTU di mana dapat suatu saving besarnya \$ 25 – \$ 50 juta. Besarnya Cost in term of money untuk biaya-biaya pengamanan atau sistim keamanan yang tidak terdapat dalam PLTU atau pembangkitan listrik lainnya.
- b. **Dengan Kwalitatif** : di sini bagaimana di uraikan bahwa PLTN tersebut adalah benar-benar safe serta kita mampu menanggulangnya suatu operation PLTN. Suatu analisa perbandingan tentang tingkat berbahayanya perlu dibuat seperti uraian Dr. Teller 1. Hidro, 2. T. Fosil dan 3. Nuklir (paling aman).
Apakah sequence ini berlaku di Indonesia ?

IYOS SUBKI :

- a. Saving di atas sudah termasuk biaya untuk sistim pengaman.
- b. Untuk rakyat awam memang sangat penting memberi pengertian tentang keamanan sistim nuklir vis a vis sistim non-nuklir. Dan ini dijelaskan secara populer, sebaiknya melalui publikasi, surat kabar dll. Di lain pihak penerangan-penerangan melalui TV, radio dan film. Inipun telah dirintis oleh BATAN.

A. SUGIARTO :

Menurut kertas karya Saudara kemungkinan adanya kecelakaan besar di suatu PLTN itu begitu remote (kecil), meskipun begitu tokoh masih di beri berbagai "safety devices". Pertanyaan saya adalah apakah telah dihitung berapa prosen biaya yang diperlukan untuk mengadakan "devices" tersebut dibandingkan biaya keseluruhan pendirian suatu PLTN.

IYOS SUBKI :

Biaya untuk sistim pengaman telah terintegrasi dengan biaya konstruksi, sistim pembangkit uap nuklir dan sistim kendali.
Tapi secara prosentuil tidak besar.

ANUNG K. :

Cara mana yang harus diambil :

- a. Disain ditentukan, lokasi dicari
- b. Lokasi ditentukan, disain dicari yang cocok.
- c. Disain dan lokasi ditentukan bersama-sama.

Bila terasa, biaya dan peraturan-peraturan ada cara c. yang terbaik. Sekarang ini, cara a. yang diambil.

IYOS SUBKI :

Sebaiknya, kita tentukan lokasi secara simultan dengan perhitungan biaya konstruksi ditempat itu. Hal ini menentukan data disain yang lebih lengkap,

demikian pula data lokasi. Alternatif lain adalah lokasi yang tersedia diidentifikasi, dan seterusnya kita disain PLTN sesuai dengan lokasi tadi.

PETER E. HEHANUSA :

Bila Saudara menganggap PLTN itu suatu yang aman, Apakah Saudara akan menganjurkan dengan kuat pendirian kompleks perumahan Direktur dan staf PLTN sekitar PLTN itu sendiri. Hal ini bisa menghindarkan perasaan was-was yang ada dalam masyarakat.

IYOS SUBKI :

Hal di atas dapat dianjurkan, jika kondisi teknis lainnya memungkinkan.

A. RAJAK :

- 1) Apakah rencana akan dibangun Industri penyangga (mis. air berat) dalam pembangunan PLTN mendatang ?
- 2) Kalau ada, dapatkah diberi gambaran industri penyangga yang akan dibangun dan kedua type reaktor yang akan dibangun (LWR/HWR).

IYOS SUBKI :

Jika falsafah swasembada ini kita pegang, maka secara bertahap kita harus dan sedang membina industri komponen PLTN ini. Tipe yang memungkinkan kita berpartisipasi secara aktif adalah tipe HWR, di mana kita dapat memproduksi sendiri (secara bertahap) : bahan bakar, air berat, tabung tekan, luds shields, calandria, fuelling machines, valves dan sistim kendali.

M.Z. DJAPRIE :

Selalu disain mengikuti jenis reaktor dan lokasi.
Bila tidak, biaya akan meningkat.

IYOS SUBKI :

Sebaiknya untuk setiap lokasi potensiil dihitung biaya konstruksi untuk berbagai alternatif PLTN. Lokasi dengan biaya minimal merupakan lokasi yang kita inginkan.