

## **BAHAYA NUKLIR PLTN TERHADAP LINGKUNGAN: SUATU ANTISIPASI PENCEGAHAN**

Oleh

**Sukir dan Sunaryo Soenarto**

### **Abstrak**

Eksplorasi sumber daya konvensional untuk pembangkit tenaga listrik dirasakan sudah tidak dapat memenuhi jumlah kebutuhan tenaga listrik yang makin meningkat tajam. Tahun yang lalu (1992), Perusahaan Listrik Negara, sudah sulit memenuhi permintaan sambungan listrik para konsumen. Pembangunan Jangka Panjang Tahap II mengisyaratkan proses industrialisasi akan diprioritaskan. Dan untuk menopang hal tersebut, tersedianya jumlah energi listrik yang cukup dan handal mutlak diperlukan. Saat ini pemerintah berupaya mencari sumber daya alam alternatif; salah satunya Uranium.

Uranium sebagai bahan baku Pusat Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) merupakan sumber daya alam yang mempunyai aspek menguntungkan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang makin meningkat, dan sekaligus mempunyai aspek yang merugikan karena ancaman radioaktif yang dapat memusnahkan manusia dan makhluk lain di sekitarnya. Sejak permulaan perkembangan teknologi nuklir telah disusun kode, standar dan kriteria keselamatan yang sangat ketat, tidak seperti teknologi lainnya. Bahkan peraturan keselamatan ternyata telah berkembang mendahului realisasi teknik dari teknologi nuklirnya sendiri. Oleh karena itu, sejak dini perlu diantisipasi usaha-usaha pencegahan timbulnya potensi bahaya PLTN demi kelestarian ekosistem yang ada. Usaha pencegahan terjadinya bahaya radiasi nuklir bagi manusia, meliputi aspek keselamatan alamiah, aspek keselamatan teknik dan aspek pengamanan darurat serta pelaksanaan pengawasan administratif yang optimal.

Dengan menerapkan konsep lapisan ganda (multi-barrier concept) pada tahapan perencanaan, pembangunan dan operasi PLTN, maka radiasi nuklir yang membahayakan lingkungan sekitarnya akan tetap tertahan dalam reaktor.

### **Pendahuluan**

Kebutuhan listrik di Indonesia akan terus meningkat sejalan dengan lajunya pembangunan. Hasil studi energi yang dilakukan oleh Direktorat Jenderal Listrik dan Energi menun-

jukkan kebutuhan listrik di pulau Jawa yang merupakan barometer pertumbuhan di segala aspek bagi bangsa Indonesia, pada tahun 2000 mencapai 16.000 mega watt. Sedangkan pada tahun 2015 diprediksi kebutuhan listrik membengkak menjadi 27.000 mega watt. Sementara itu, pada akhir Pelita IV kapasitas terpasang yang dibangkitkan pusat pembangkit tenaga listrik baru mencapai 5800 mega watt (Supriharyono, 1991:8). Dengan demikian, baik kini maupun untuk mengantisipasi kebutuhan di masa yang akan datang pendirian pusat pembangkit tenaga listrik baru mutlak diperlukan.

Sumber daya konvensional untuk pembangkit tenaga listrik, seperti air, minyak bumi, gas alam, batubara, dan panas bumi diperhitungkan tidak dapat memenuhi jumlah kebutuhan tersebut. Hasil survai geologi, menemukan 25 daerah di Indonesia yang mengandung uranium. Di antara daerah tersebut yang paling menonjol potensinya, yakni daerah Kanal (Kalimantan), pulau Bangka serta pulau Belitung. Di pulau Bangka dan Belitung berpotensi sebagai penghasil elemen thorium yang menjadi ikutan dalam penambangan timah, sedangkan di daerah Kanal terkandung cadangan yang setara dengan 10.000 ton uranium (Iyah R Subhi, 1991:1).

Ditinjau dari potensi sumber daya manusia, BATAN bersama Departemen PUTL (waktu itu), tahun 1972 telah membentuk Komisi Persiapan Pembangunan Pusat Listrik Tenaga Nuklir (A. Baiquni, 1974:1).

Berdasarkan potensi sumber daya uranium yang ada serta potensi sumber daya bangsa Indonesia saat ini, pemerintah merencanakan pembangunan PLTN di semenanjung Muria Jawa Tengah.

### **Keuntungan dan Potensi Bahaya PLTN**

Merujuk pendapat Iyah R. Subhi (1991:4), terdapat beberapa pertimbangan yang menguntungkan dalam pembangunan PLTN, antara lain:

1. Sebagai upaya diversifikasi bahan bakar dalam sistem pembangkit tenaga listrik sehingga stabilitas persediaan sumber energi lebih terkendali.
2. Mengurangi ketergantungan terhadap bahan migas yang kandungannya semakin menipis.

3. Tidak terpengaruh oleh cuaca global karena sistem nuklir tidak menimbulkan  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , logam berat, dan  $\text{CO}_2$ .
4. Teknologi nuklir dapat menyediakan energi dalam jangka yang sangat panjang.
5. Dari segi ekonomi energi nuklir kompetitif terhadap energi konvensional.

Dari keuntungan tersebut, tampak bahwa pembangunan PLTN sangat relevan dengan kebijakan pemerintah dalam aspek diversifikasi sumber energi.

Di samping beberapa keuntungan tersebut, pembangunan PLTN memiliki sisi laten berupa bahaya nuklir yang sangat membahayakan lingkungan, baik manusia, hewan, tumbuhan, tanah, air maupun udara. Ancaman terjadinya kebocoran reaktor nuklir merupakan malapetaka yang menakutkan. Bahaya nuklir inilah merupakan pangkal tolak polemik yang kontra terhadap pembangunan PLTN sampai kini.

Reaktor untuk pembangkit tenaga seperti pada PLTN merupakan sumber kontaminasi radioaktif yang dapat mengganggu keamanan lingkungan di sekitarnya. Walaupun reaktor dibangun menurut rencana yang telah dipikirkan dan diperhitungkan dengan sangat seksama sehingga boleh dikatakan "fail-safe" dan "fool-proof", tetapi kecelakaan dapat saja terjadi di luar kemampuan staf reaktor. Misalnya, akibat kesalahan sistem, bencana alam, tertimpa pesawat udara yang mengalami kerusakan mesin, dan sebagainya. Ledakan yang terjadi pada reaktor akan menimbulkan kontaminasi radioaktif yang tidak jauh bedanya dengan ledakan senjata nuklir.

Oleh karena itu, perencanaan, pembangunan dan pengoperasian PLTN di Indonesia harus dapat mengantisipasi upaya-upaya pencegahan terhadap bahaya nuklir.

### **Perencanaan Teknis PLTN**

Menurut Prayoto (1979:138) menyatakan bahwa tujuan utama dari usaha pencegahan ditempuh dalam tahapan perencanaan, pembangunan dan operasi PLTN ialah menahan sekecil mungkin kemungkinan tersebarnya bahan radioaktif.

sehingga tidak akan menimbulkan bahaya radiasi bagi lingkungan sekitarnya. Tujuan ini telah disadari sejak permulaan dari perkembangan teknologi nuklir, dan penerapannya telah menghasilkan apa yang disebut konsep lapisan ganda (multi-barrier concept). Secara ringkas, konsep lapisan ganda ini mengusahakan agar bahan-bahan radioaktif tetap tertahan dalam bahan bakar. Artinya, bahan radioaktif tersebut tetap di dalam bahan kelongsong, tetap dalam sistem pendingin primer, tetap dalam ruang kungkungan primer dan sekunder sehingga secara keseluruhan tercapailah suatu sistem lapisan penahan ganda yang sangat efektif.

Pertimbangan keselamatan di atas tidak hanya berlaku untuk keadaan operasi normal dari PLTN, tetapi juga keadaan terjadinya kecelakaan potensial. Pendekatan yang lebih konservatif digunakan untuk menganalisis secara terperinci serangkaian bentuk-bentuk kecelakaan yang potensial. Dari yang paling ringan sampai yang paling parah. Bentuk-bentuk kecelakaan yang dipelajari mulai dari penyimpangan-penyimpangan sederhana, yang dapat terjadi sehari-hari, sampai kecelakaan paling parah. Keadaan ini lazim disebut "angka kemungkinan terjadi sebesar 1 : 5 milyar" Prayoto, 1979:139). Untuk memenuhi persyaratan-persyaratan yang ditetapkan seperti di atas, desain dari reaktor dilaksanakan dengan sejauh mungkin memanfaatkan hukum-hukum alam yang menjamin adanya faktor keselamatan alamiah (inherent safety). Di samping itu, diusahakan pula adanya faktor keselamatan buatan atau teknik (applied safety), yaitu dengan menggunakan peralatan dan instrumentasi yang akan lebih memperkecil lagi kemungkinan terjadinya kecelakaan potensial.

Walaupun sudah ada upaya pencegahan melalui faktor-faktor keselamatan alamiah dan teknik seperti disebutkan di atas, sebagai usaha keselamatan selanjutnya masih dipikirkan adanya cara-cara pengamanan darurat (engineered safeguards).

Selanjutnya, untuk memberikan gambaran lebih konkrit, berikut ini akan diberikan usaha-usaha pencegahan tersebut.

### **Aspek Keselamatan Alamiah**

Pemanfaatan hukum/sifat alam merupakan pedoman utama dalam menjamin keselamatan reaktor nuklir. Tujuan utamanya yaitu mencegah/membatasi pelepasan bahan-bahan

radioaktif yang dapat membahayakan keselamatan umum. Beberapa contoh segi keselamatan alamiah dari sistem PLTN yang ada dewasa ini adalah sebagai berikut.

#### *Bahan Bakar Nuklir Bentuk Oksida*

Bahan bakar dalam bentuk oksida mempunyai kemampuan yang besar dalam menahan bahan-bahan hasil belahan radioaktif dalam keadaan suhu tinggi karena susunan kristal dan titik leburnya sangat tinggi. Pengalaman operasi PLTN yang menyangkut keretakan kelongsong bahan bakar menunjukkan bahwa pelepasan bahan-bahan radioaktif sangat kecil dan hampir tak terdeteksi. Hal ini merupakan jaminan keselamatan yang tersedia secara alamiah untuk sistem PLTN yang menggunakan bahan bakar oksida.

#### *Bahan Bakar Dengan Tingkat Perkayaan Rendah*

Tingkat perkayaan U-235 bahan bakar oksida dalam PLTN hanya sekitar 3 atau 4 kali tingkat perkayaan dalam uranium alam. Hal ini memungkinkan pemanfaatan efek Doppler yang ditimbulkan oleh adanya U-238 dalam bahan bakar. Pada dasarnya efek Doppler akan menurunkan kecepatan reaksi pembelahan nuklir dalam bahan bakar apabila terjadi kenaikan suhu bahan bakar yang agak besar. Sifat alamiah inilah yang akan bertindak sebagai alat pemutus otomatis yang akan mencegah terjadinya peledakan seperti dalam bom atom. Dalam keadaan operasi normal, suhu bahan bakar masih beberapa ribu derajat di bawah titik leburnya sehingga tersedia cukup ruang gerak bagi efek Doppler sebagai alat pemutus otomatis.

#### *Bahan Moderator Dalam Bentuk Zat Cair ( $H_2O/D_2O$ )*

Penggunaan air sebagai pendingin dan moderator ternyata memberikan pula segi keselamatan alamiah tersendiri. Apabila daya reaktor karena suatu sebab naik, suhu air akan naik pula, sedang kerapatan air akan turun. Keadaan ini akan mengurangi efisiensi air sebagai moderator sehingga daya reaktor akan cenderung untuk turun lagi. Hal ini merupakan suatu mekanisme pemutus yang bekerja secara otomatis. Oleh karena itu, reaktor dengan moderator air biasanya dapat dikendalikan dengan mudah dan memiliki watak-watak operasi yang mantap.

### **Aspek Keselamatan Teknik**

Kalau segi keselamatan alamiah akan membatasi bentuk kecelakaan yang dapat terjadi, maka segi keselamatan teknik dimaksudkan untuk membatasi kemungkinan terjadinya kecelakaan tersebut. Beberapa contoh dari segi keselamatan teknik yang umum diterapkan dalam sistem PLTN dewasa ini adalah sebagai berikut.

#### *Monitoring dari Flux Neutron Dalam Reaktor*

Hal ini dilaksanakan dengan beberapa sistem monitoring yang tidak saling tergantung satu sama lain. Sistem monitoring dilakukan dengan mengukur di beberapa titik pengukuran dalam reaktor. Hasil pengukuran menunjukkan secara langsung tingkat daya reaktor dan dihubungkan dengan sistem "shutdown" yang akan menghentikan reaktor secara otomatis apabila tingkat daya reaktor melampaui batas atas yang ditetapkan sesuai dengan syarat keselamatan. Hal ini berarti operator dapat senantiasa mengamati tingkat daya reaktor dan di samping itu tersedia sistem proteksi otomatis.

#### *Sistem Pengendalian Reaktor*

Tingkat daya reaktor diatur dan dikendalikan dengan bahan penyerap neutron seperti boron. Cara yang biasa dipakai untuk menghentikan reaktor, yaitu memasukkan bahan penyerap neutron ini ke dalam reaktor, misalnya dimasukkan dalam bentuk batang pengendali atau sebagai larutan boron. Untuk menjamin adanya sistem "shutdown" yang aman dan dapat diandalkan biasanya dipakai lebih dari satu cara pemasukan bahan penyerap tersebut.

#### *Rangkaian Instrumen*

Perlu disediakan peralatan untuk mengamati semua parameter operasi sistem PLTN dan semuanya dihubungkan dengan sistem "shutdown" otomatis. Untuk menjamin hasil pengamatan yang betul-betul dapat dipercaya, semua peralatan ini harus bekerja dengan beberapa sumber isyarat yang tidak saling tergantung satu sama lain sehingga kerusakan dari salah satu atau beberapa komponen peralatan tidak akan mengganggu bekerjanya sistem "shutdown".

### *Penggandaan Catu Daya Listrik*

Sistem "shutdown" tidak boleh tergantung pada catu daya listrik yang normal. Jadi, harus tersedia sumber daya listrik cadangan/darurat yang cukup mampu untuk menjalankan sistem "shutdown". Misalnya, dapat dipakai pembangkit listrik diesel atau sistem penyimpanan listrik baterai dan ini pun harus disediakan rangkap.

### *Integritas Sistem Reaktor*

Sistem proses reaktor berperan sebagai salah satu lapisan yang harus mampu menahan pelepasan bahan-bahan radioaktif. Oleh karena itu, integritas reaktor harus betul-betul dijaga, yaitu dengan jalan menggunakan bahan-bahan pilihan yang sudah teruji kekuatannya. Kecelakaan berupa kehilangan pendingin -yang biasanya dipakai sebagai patokan desain reaktor- sebenarnya sangat kecil kemungkinannya terjadi, mengingat segi-segi keselamatan alamiah dan teknik. Kalau karena suatu hal kecelakaan semacam ini akan terjadi juga, prosesnya jelas akan merupakan proses bertahap mulai dari keretakan atau kebocoran kecil, yang kemudian akan membesar. Dan bukannya sebagai proses terputusnya pipa utama secara mendadak seperti dipostulasikan sistem monitoring yang ada. Dengan sistem "shutdown" dapat dijalankan jauh sebelum proses keretakan betul-betul membahayakan keselamatan lingkungan sekitarnya.

### *Aspek Pengaman Darurat*

Walaupun aspek keselamatan alamiah telah membatasi terjadinya kecelakaan potensial dan aspek keselamatan teknik akan memperkecil angka kemungkinan terjadinya kecelakaan potensial, namun masih diusahakan adanya teknik pencegahan bahaya. Pengamanan keadaan darurat ini bertujuan untuk mempertahankan kemampuan mendinginkan teras reaktor dalam keadaan kecelakaan terparah sekalipun, termasuk kecelakaan kehilangan pendingin. Apabila melelehnya bahan bakar dalam setiap kecelakaan dapat dicegah maka bahan-bahan hasil belahan radioaktif akan tetap tertahan dalam bahan bakar. Bagian utama dari teknik pengamanan darurat adalah sistem pendinginan teras darurat (Emergency Core

Cooling System) yang pada umumnya harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- a. Suhu kelongsong bahan bakar harus dapat dipertahankan tetap di bawah harga suhu yang menurut data eksperimen merupakan suhu batas di mana integritas bahan bakar akan terancam. Dalam keadaan operasi normal, bahan bakar bekerja pada suhu beberapa ribu derajat di bawah suhu batas ini sehingga masih tersedia kelonggaran yang cukup untuk menjamin integritas bahan bakar.
- b. Untuk setiap kecelakaan yang menyangkut sistem pendinginan primer, sistem pendingin teras darurat harus dapat mendinginkan teras dengan menggunakan lebih dari satu macam cara pendinginan yang tidak saling tergantung satu sama lain, misalnya pembanjiran/penggenangan teras dari bawah dan penyemprotan teras dari atas. Dengan persyaratan ini, apabila karena suatu sebab salah satu cara gagal, masih tersedia cara lain untuk menggenangkan teras secara efektif.
- c. Setiap perlengkapan Sistem Pendingin Teras Darurat harus dibuat rangkap atau ganda termasuk sumber daya listrik darurat yang harus mampu menggerakkan Sistem Pendingin Teras Darurat apabila sumber daya listrik yang normal tidak tersedia.

Jadi, jelaslah bahwa dengan adanya konsep lapisan ganda, sifat keselamatan alamiah maupun teknik dalam desain reaktor, ditambah lagi dengan sistem pengamanan darurat maka kemungkinan terjadinya kecelakaan yang diakibatkan pelepasan bahan-bahan radioaktif adalah relatif kecil. Bahan-bahan radioaktif yang mungkin terlepas juga dari sistem proses reaktor, masih akan menghadapi lapisan penahan yang amat tangguh, yaitu ruang kungkungan (containment system). Dalam keadaan operasi normal sebenarnya tidak ada persyaratan operasi yang harus dipenuhi oleh sistem kungkungan ini. Namun demikian, keberadaan sistem kungkungan sebagai jaminan keselamatan tambahan tetap diperhatikan, untuk mengantisipasi kemungkinan terlepasnya bahan-bahan radioaktif karena kegagalan semua lapisan penahan dan sistem pengamanan darurat secara bersama-sama.

Jaminan keselamatan di atas dalam beberapa hal masih disempurnakan lagi dengan adanya ruangan kungkungan sekunder yang biasanya berupa bangunan sistem reaktor

sendiri. Tekanan dalam ruangan kungkungan sekunder ini selalu dipertahankan lebih rendah dari tekanan atmosfer dan di samping itu bahan-bahan radioaktif yang mungkin terlepas dari ruang kungkungan primer sebagai akibat kecelakaan patokan desain disaring oleh sistem filtrasi yang sangat efektif sehingga bahan-bahan radioaktif yang dapat terlepas dari ruang kungkungan sekunder adalah sangat rendah.

### **Optimalisasi Pengawasan Administratif Reaktor**

Banyak orang menduga bahwa reaktor dapat dibuat sedemikian rupa sehingga akan dihidupkan, bekerja dan dipadamkan secara otomatis. Jadi, pengendalian secara otomatis seperti ini dengan sendirinya akan menjamin reaktor selalu bekerja baik sehingga tidak akan ada bahaya. Reaktor yang seratus persen aman seperti yang diidam-idamkan ini tidak dapat dibuat oleh manusia.

Jaminan bahwa perawatan dilakukan dengan tepat sudah jelas merupakan persoalan pengawasan secara administratif. Sombu Pillay dan Soekardono (1970:384-386) menjelaskan bahwa pengawasan administratif pada reaktor harus dilakukan secara terus menerus selama penggunaannya yang meliputi pekerjaan operasi, supervisi dan perawatan.

### **Operasi**

Setelah reaktor selesai dibangun haruslah diadakan pemeriksaan yang seksama dan pengujian terhadap setiap bagian vital dari reaktor. Kriteria pengujian antara lain meliputi: pengisian bahan bakar nuklir dan posisi saat kritis, jumlah kelebihan reaktivitas dalam keadaan dingin dan pada temperatur kerja, kalibrasi lengkap dari semua batang-batang kontrol, kecepatan operasi dari batang-batang ini dan cara bekerjanya, kalibrasi titik-titik kontrol lainnya yang vital dan sebagainya.

Menghidupkan reaktor, mengisi dan mengeluarkan bahan bakar nuklir, perawatan bagian yang penting serta prosedur pemadaman haruslah dilakukan menurut tata cara standar yang tertulis dan dipahami secara sungguh-sungguh. Aktivitas ini, selain dilakukan oleh operator harus di bawah pengawasan seorang ahli.

### **Supervisi**

Pekerjaan pengawasan ini sangat penting untuk merjamin terselenggaranya keadaan aman di dalam reaktor dan dilakukan oleh berbagai personil dengan sebutan shift supervisor, area supervisor dan senior supervisor. Seorang shift supervisor haruslah sekurang-kurangnya mempunyai pendidikan/latihan secukupnya untuk mengerti semua deviasi yang terjadi dari kondisi-kondisi standar dan sebab-sebab terjadinya deviasi tersebut. Personil staf supervisi di atas sekurang-kurangnya harus ada seorang yang betul-betul mengerti akan azas-azas reaktor nuklir beserta peralatannya. Karena kompetensi dan keahliannya dalam teknik nuklir maka tenaga ahli tersebut dapat menginterpretasikan data-data secara tepat dan menghindarkan terjadinya kerusakan-kerusakan yang serius.

### **Perawatan**

Perawatan yang salah pada reaktor mungkin merupakan sebab utama dari kecelakaan. Penggantian atau perbaikan suatu bagian dari suatu sistem haruslah mengembalikan sistem itu kepada kondisi asalnya yang identik seperti semula, kecuali jika ada keyakinan bahwa perubahan yang terjadi itu tidak ada artinya atau merupakan suatu perbaikan. Semua hanya dapat dikerjakan oleh pekerja-pekerja yang kompeten dan pengamanan administratif yang baik, seperti supervisi dan penilaian yang seksama dari semua bagian yang diperbaiki beserta peralatan yang berhubungan dengan pekerjaan itu. Supervisi perawatan merupakan suatu lapangan kegiatan lain yang membutuhkan tenaga ahli teknik nuklir.

### **Penutup**

Bahaya nuklir PLTN adalah terhimpunnya sejumlah besar bahan-bahan radioaktif dalam reaktor. Kemungkinan penyebaran bahan-bahan radioaktif dapat ditekan serendah mungkin berkat penerapan konsep lapisan penahanan gas (multi barrier concept) dan persyaratan-persyaratan yang amat ketat dalam perencanaan, pembangunan dan pengoperasian PLTN. Dengan demikian, melalui pembangunan PLTN dapat juga diperoleh sumber energi baru yang dapat menjamin kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lain serta kelestarian lingkungan dan ekosistem yang ada.

## Daftar Pustaka

- Baiquni, A. 1974. *Teknologi Pusat Listrik Tenaga Nuklir*. Jakarta: Batan.
- Glasstone, S. 1956. *Principles of Nuclear Reactor Engineering*. London: Macmillan & Co, Ltd.
- Pillay, S.S. dan Soekardono. 1970. "Beberapa Aspek Pertahanan/Keamanan dalam Pengembangan Tenaga Nuklir di Indonesia", makalah Seminar Terbatas. Cipayung: Batan
- Prayoto. 1979. "Usaha Keselamatan dalam Desain PLTN" *Tekno Ekonomi PLTN*. Jakarta: Batan.
- Somodiredjo, Soleh. 1979. "Antara Nilai Keuntungan dan Potensi Bahaya pada Suatu Instalasi PLTN (Aspek Tekno-Ekonomi dari Keselamatan Reaktor)". *Tekno Ekonomi PLTN*. Jakarta: Batan.
- Subhi, Iyah R. 1991. "Pengembangan Sumber Daya Insani dalam Pengembangan Program Nuklir Menuju Abad 21" Makalah Seminar Sumber Energi Strategis untuk Kesejahteraan Rakyat. Yogyakarta: Batan.
- Supriharyono. 1991. "Pembangunan Energi dan Lingkungan". Makalah. Semarang: Undip.
- \_\_\_\_\_. 1974. *Teknologi Pusat Listrik Tenaga Nuklir*. Jakarta: Batan.