

KEMUNGKINAN PENCEMARAN LINGKUNGAN SUATU MASALAH YANG PERLU DIPERHATIKAN DIDALAM PEMILIHAN LOKASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR

Oleh :
Aprilani Soegiarto,
Lembaga Oseanologi Nasional

RINGKASAN

1. Menurut suatu proyeksi yang realistis pada tahun 2000 di Indonesia akan terpasang tenaga listrik dengan bahan nuklir dengan kapasitas 15.000 MW, dimana 80% nya (12.000 MW) diperlukan di P. Jawa. Ini berarti 12 PLTN dengan masing-masing berkapasitas 1.000 MW atau beberapa PLTN masing-masing berkapasitas lebih besar dari 1.000 MW.
2. Mengingat bahwa :
 - a. PLTN memiliki efisiensi termis lebih rendah daripada PLN biasa dan
 - b. kemungkinan timbulnya bahaya radiasi di hampir setiap tahap dari "siklus bahan bakar"—nya,
maka akan diperlukan baik jumlah air, maupun perairan yang mempunyai daya dukung yang cukup besar. Mengingat pula akan serba gunanya (mandi, cuci, minum, rekreasi, mencari ikan) suatu perairan tawar di P. Jawa, kemungkinan besar PLTN akan diletakkan di ekosistem pantai.
3. Didalam memilih lokasi PLTN di ekosistem pantai perlu diperhatikan :
 - a. Bahwa perairan tropis yang dangkal, seperti laut Jawa, merupakan daerah yang subur dan penting bagi pengembangan perikanan dan aqua-culture.
 - b. Type endapan, batuan dasar dan masyarakat biota dimana PLTN akan didirikan.
 - c. Adanya perkiraan bahwa mendekati tahun 2.000 P. Jawa akan semakin padat penduduknya ("island cities").
4. Perlu pula diperhatikan tentang frekwensi yang tinggi dari adanya gempa bumi di Indonesia, khususnya di dalam membuang bahan-bahan radio-aktif di dalam tanah.
5. Agar segi penyediaan tenaga, peralatan dan biaya untuk survey pendahuluan penelitian, monitoring dan percobaan laboratoris dapat terjamin, disarankan agar usaha melindungi lingkungan dari bahaya pencemaran ini menjadi bagian yang integral dari setiap rencana pembangunan PLTN.

I. PENDAHULUAN

1. Kapasitas listrik terpasang di Indonesia telah diproyeksikan (Baiquni dan Sudarsono, 1974), akan menjadi berlipat ganda dari 2000 MW pada saat ini menjadi kira-kira 64.000 MW pada tahun 2000. Dari kapasitas ini diperkirakan 80% akan diperlukan di P. Jawa, dimana kira-kira 46.000 MW akan dipasang sesudah tahun 1985.

DISKUSI

APRILANI SOEGIARTO :

- 1) PLTN akan dibangun di Jawa yang sangat padat penduduknya (lebih-lebih 10 – 20 tahun lagi) apakah ini tak merupakan kesulitan yang besar ?
- 2) Tampaknya disamping wewenang “fuel cycles” juga perundang-undangan ada di tangan BATAN.
Saya kira ini agak bias, karena operator yang menyiapkan peraturan pengawasannya.

MUNDI PURNOMO :

1. Masalah penduduk memang juga menjadi pertimbangan di dalam pemilihan lokasi suatu PLTN, di samping masalah-masalah lain. Jika sekiranya suatu calon lokasi mempunyai nilai yang kurang dilihat dari segi penduduk maka calon itu juga akan menduduki urutan yang di belakang.
2. Kami anggap pertanyaan ini sebagai komentar, sehingga komentar ini tidak usah dikomentari lebih panjang, walaupun demikian BATAN kalau akan bertindak sebagai operator perlu memenuhi persyaratan dalam peraturannya.

KETUA (PROF. A. BAIQUNI) :

Karena kita tinggal di Pulau yang padat penduduknya maka memang bisa dipikirkan pembangun PLTN di depan pantai. Kalau nanti pada tahun 2000 P. Jawa menjadi Kota maka kita bangun saja di depan pantai.

NILOPERBOWO

Apakah himpunan Undang-undang dan Peraturan Perundang-undangan tentang Tenaga Atom bisa didapatkan di BATAN ?

MUNDI PURNOMO :

Bisa.

2. Diharapkan bahwa minyak akan tetap mengambil peranan yang penting di dalam masalah ketenagaan di Indonesia di tahun 2000. Akan tetapi sumber-sumber lain perlu juga dikembangkan, khususnya batubara dan tenaga nuklir. Hal ini juga tercermin pada perincian proyeksi kebutuhan tenaga listrik untuk tahun 200 (SEMINAR ENERGI NASIONAL, Jakarta, Juli 1974):

Sumber	Kekuatan (1000 MW)	%
Tenaga air	4 - 5	6 - 8
Minyak bumi	12,8 - 39	20 - 61
Geotermi	0,5 - 6,0	1 - 9
Batubara	8 - 16	12 - 25
Nuklir	15 - 25	23 - 29

3. Dipandang dari segi biaya pembangkit untuk setiap satuan kapasitas terpasang dan dari segi efisiensi pemanfaatan sumber kekayaan alam tampaknya tenaga nuklir merupakan alternatif yang paling menarik. Bahkan pihak BATAN telah pula memilih jenis PLTN yang dianggap paling sesuai untuk Indonesia, ialah jenis PHWR (Pressurized Heavy Water Reactor). Pertimbangannya antara lain mengurangi ketergantungan bahwa uranium yang diperkaya dari negara-negara maju (terutama Amerika dan Rusia) dan tidak diperlukannya teknologi yang terlalu tinggi.
4. Bila kita dapat sependapat dengan Ir. Wijarso (1975) bahwa 25.000 MW kapasitas terpasang dari tenaga nuklir merupakan angka yang terlalu ambisius dan 15.000 MW sebagai angka yang realistis, maka di tahun 2000 di P. Jawa sudah diperlukan kira-kira 12.000 MW (80% dari kebutuhan di Indonesia) kapasitas terpasang berasal dari tenaga nuklir. Ini berarti 12 PLTN masing-masing berkapasitas 1.000 MW atau beberapa ribu MW.
5. Untuk menentukan lokasi atau lokasi-lokasi dari PLTN ini perlu dipelajari secara sungguh-sungguh tentang keuntungan, kerugian dan bahaya-bahayanya yang mungkin ditimbulkan, khususnya terhadap tata lingkungan dan penduduk tentang kemungkinan adanya bahaya pencemaran lingkungan ini.

II. BEBERAPA CATATAN TENTANG PLTN

1. Reaktor yang ada sekarang kebanyakan adalah dari jenis "Light Water Reactor" (LWR) yang menggunakan uranium yang diperkaya sebagai bahan bakarnya. Karena bahan bakar ini hampir menjadi monopoli Amerika dan Rusia, maka banyak negara (antara lain Inggris, Kanada dan Perancis) telah mencoba mengemukakan jenis reaktor lain dengan sebanyak mungkin menggunakan uranium alam, termasuk PHWR yang telah dipilih oleh BATAN. Jenis-jenis lain dari reaktor nuklir telah diikhtisarkan secara umum oleh Sumitro Djojohadikusumo pada Seminar Energi Nasional yang lalu.
2. Bila ditinjau dari masalah lingkungan di satu pihak reaktor nuklir sangat menguntungkan karena :
 - a. Tak menimbulkan pencemaran udara secara umum; tidak menghasilkan oksida sulfur dan nitrogen, tidak ada abu dan tidak ada karbon monoksida.
 - b. Pada kapasitas yang sama, memerlukan areal tanah yang lebih kecil dari pada generator dengan bahan bakar batu bara.

Namun dilain pihak ada kelemahannya dan akan menimbulkan masalah lingkungan yang mungkin lebih besar :

- c. Pengadaan bahan bakarnya merupakan masalah yang sulit. Diperlukannya teknologi yang lebih tinggi dan investasi modal yang cukup besar.
- d. Mempunyai "effisiensi termis" rendah, sehingga menghasilkan panas buangan yang lebih besar per satuan output listrik dari pada PLTU (bahan bakar minyak atau batu bara).
- e. Pada setiap mata rantai dari Siklus Bahan Bakarnya ("fuel cycle" ialah tahap-tahap sejak eksplorasi, penambangan, pengolahan, pengangkutan, penyimpanan, penggunaan di dalam reaktor, pengolahan kembali "spent fuel", pembuangan sisa-sisa, dan lain-lainnya), selalu terkadung bahaya radiasi terhadap pekerja, penduduk dan lingkungan sekitarnya. Radiasi ini biasanya pada level yang sangat rendah, tetapi dalam beberapa hal ada kemungkinan bahaya radiasi yang sangat besar pada beberapa mata rantai.

Di bawah ini diberikan beberapa catatan singkat tentang dua macam bahan pencemar yang ditimbulkan oleh PLTN, ialah air panas dan bahan radioaktif.

III. PENCEMARAN AIR PANAS

(Diringkaskan dari tulisan A. SOEGIARTO pada *Pewarta OCEANA* Tahun I, 1974. No. 8, hal. 1 - 4).

1. a. **Sumber.** Pembangkit tenaga listrik yang menggunakan suatu sistim siklus uap ("Steam cycles"). Sumber tenaga dapat berasal dari batu-bara, gas, minyak atau nuklir. Waktu uap dirubah menjadi air di dalam kondensor, maka timbul panas yang harus dibuang.
 - b. **Cara Pembuangan.** Yang paling ekonomis dan praktis adalah memindahkan panas tersebut ke air. Cara yang termurah adalah dengan sistim "Once through cooling", ialah dengan jalan menghisap air pendingin dari sungai, danau atau laut, dilewatkan ke kondensor dan dibuang kembali ke sumbernya 10-15°C lebih panas.
2. **Ilustrasi Besarnya Pencemaran**
 - a. Untuk pembangkit tenaga listrik yang dijalankan dengan minyak berkapasitas 1 juta KW dan mempunyai effisiensi sebesar 40% maka akan mampu meningkatkan suhu sebesar 15°F per jam pada hampir sejumlah 110 juta liter (30 juta gallon).
 - b. Untuk yang bertenaga nuklir dengan kapasitas 1 juta KW dengan effisiensi 30%, maka dia akan mampu meningkatkan suhu sebesar 15°F per jam pada air sejumlah 190 juta liter (50 juta gallon).
3. **Bahaya :** Masih bersifat kontroversi, terutama untuk daerah dingin. Di sana air panas ini masih ada beberapa kegunaannya, meskipun tetap kerugian-kerugiannya akan "out-weigh" keuntungannya.
 - a. Kita semua menginsyafi bahwa suhu merupakan faktor yang sangat penting yang dapat mempengaruhi makhluk hidup. Pada dasarnya bila suhu meningkat, maka derajat metabolisme juga akan bertambah cepat dan akan memerlukan zat pembakar (O_2) yang lebih banyak. Tapi hal ini justru bertentangan dengan sifat fisika air, dimana suhu meningkat justru menurunkan daya kandung zat asam. Sehingga zat asam akan menjadi faktor pembatas.
 - b. Bila kenaikan suhu cukup tinggi, maka ada kemungkinan terjadinya "break down" dari sebagian atau seluruh sistim dari makhluk-makhluk hidup di dalam-

nya. Akibatnya dapat terjadi kematian total atau partial dari makhluk tersebut.

- c. Peningkatan suhu juga dapat merubah komposisi jenis yang hidup di perairan tsb. Perubahan ini dapat menguntungkan, tetapi lebih sering merugikan. Misalnya hilangnya ikan-ikan ekonomi, merajalelanya penyakit pada ikan-ikan tertentu, merajalelanya algae/ganggang hijau dan tanaman pengganggu (aquatic weed). Yang terakhir ini tentu juga akan mengakibatkan menurunnya nilai perairan tersebut untuk rekreasi dan sebagai sumber air minum penduduk.
- d. Menurunnya kadar zat pembakar di dalam air sebagai akibat meningkatnya suhu mempunyai akibat tak langsung yang merugikan. Ialah menurunnya daya asimilasi air terhadap zat-zat buangan. Karena untuk memecahkan zat-zat buangan secara kimiawi diperlukan zat pembakar. Dengan demikian proses pembusukan semakin lambat dan zat-zat buangan semakin tertimbun lebih banyak. Hal ini tentu saja akan semakin mempengaruhi mutu perairan tersebut baik ditinjau dari ekosistem keseluruhannya, maupun penggunaannya oleh manusia.
- e. Kita tahu bahwa air panas akan menguap lebih cepat dari pada air dingin. Akibatnya adalah bahwa volume air panas akan lebih berkurang, yang menyebabkan lebih terkonsentrasinya unsur-unsur tertentu di dalam air. Bila proses ini berjalan terus, maka pencemaran unsur-unsur tersebut tak dapat dihindari lagi, karena konsentrasinya akan melebihi daya cernak dari air yang bersangkutan.

4. Usaha penanggulangannya.

Hampir semua yang diketahui masih bersifat "prohibitive" untuk diterapkan di Indonesia. Misalnya :

a. "Artificial Cooling Pond"

Sebelum air dibuang ke perairan bebas, ditampung dahulu di dalam suatu kolam agar mendingin. Untuk generator berkapasitas 1 juta KW diperlukan kolam seluas 400 - 500 ha, suatu daerah yang terlalu luas untuk keadaan dimana tanah semakin langka dan harga semakin menggila.

b. "Wet Cooling Tower"

Mendinginkan air panas ini dengan cara menyemprotkan udara ke dalamnya (atau mempertemukan aliran air panas dengan aliran udara). Penguapan akan terjadi dan airpun mendingin. Tapi usaha ini biasa merubah iklim secara lokal, karena biasanya air yang harus didinginkan berjumlah berjuta-juta liter perharinya. Pembangunan menaranya harus cukup besar (kira-kira "diameter 200 m dengan tinggi 170 m).

c. "Dry Cooling Tower"

Sistimnya semacam bekerjanya radiator di dalam mobil. Sistim ini sebetulnya yang terbaik, tetapi juga yang termahal. Diperkirakan akan menambah biaya 10% dari biaya keseluruhannya. Untuk "artificial cooling pond" diperkirakan hanya 0,5 % dan "wet cooling tower" kira-kira 5 %.

IV. BAHAYA RADIASI.

A. Radiasi dan Kesehatan.

Sebagian besar dari bahaya yang berhubungan dengan produksi enersi dari bahan

nuklir adalah radiasi. Oleh karena itu sangat bermanfaat untuk mengetahui sedikit latar belakang mengenai masalah ini.

1. Zat radioaktif adalah unsur-unsur yang atomnya mengalami perubahan struktur nuklir yang spontan-disintegrasi nuklir-dengan mengeluarkan partikel yang energetik dan/atau gelombang elektromagnetik.

Jumlah radioaktivitas biasanya diukur dengan curie ialah jumlah disintegrasi yang terjadi per detik pada 1 gr Radium. Dosis radiasi diukur dengan Rads atau Rem (1 Rads-jumlah energi yang diserap oleh suatu benda per satuan berat). Karena aktivitas pada dosis rendah sangat penting artinya secara biologi, maka ukuran-ukuran microcurie ($\frac{1}{10^6}$ Curie) dan millirad ($\frac{1}{10^3}$ Rad) sering digunakan.

2. Satu sifat lagi dari isotop radioaktif adalah "half-life"-nya, ialah waktu yang diperlukan agar setengah jumlah dari atomnya telah mengalami disintegrasi radioaktif. Akan diperlukan dua puluh "halflives" agar jumlah atom radioaktif berkurang menjadi seperjuta dari kekuatan semula. Kita harus menunggu sedemikian lama untuk dapat mengatakan isotop yang dihasilkan dalam reaktor menjadi tak berarti. Beberapa isotop memiliki "half-life" hanya di dalam beberapa detik, beberapa menit, beberapa jam atau beberapa hari. Akan tetapi ada yang memiliki "half-life" beberapa tahun, puluhan tahun (Ce-137, Sr-90) sampai puluhan ribu tahun (mis. Plutonium 239; 24.400 tahun).

3. Pengaruh Terhadap Kesehatan.

a. Manusia selalu hidup di dalam atmosfer yang penuh dengan radiasi yang berasal dari sinar kosmis, zat-zat radioaktif dari kerak bumi dan dari isotop alami yang beredar di dalam biosphera.

Radiasi alamiah ini disebut "natural background" atau "Latar Belakang Alami" (LBA) yang besarnya berkisar antara 0,08 sampai 0,15 Rad/orang/tahun. Meskipun begitu ini tidak berarti bahwa kita dapat mengatakan tidak akan berbahaya apabila kita menghadapi seseorang atau suatu populasi pada radiasi yang sama besar; atau bahkan lebih kecil sekalipun, dengan LBA tersebut.

b. Tentu saja pengaruh radiasi terhadap manusia akan sangat terasa bila dosisnya besar. Sakit radiasi yang akut bisa disebabkan oleh radiasi 100 Rad, atau lebih, dikenakan pada seluruh badan di dalam waktu yang pendek. Dosis sebesar ini dapat berasal dari penggunaan senjata nuklir atau kecelakaan yang dapat terjadi di dalam suatu reaktor karena, misalnya penanganan yang kurang hati-hati. Dosis 500 Rad akan mengakibatkan kematian di dalam waktu \pm 30 hari 50 % dari populasi yang menerimanya.

c. Akibat jangka panjang dari radiasi, meskipun dosis yang sangat kecil, ada tiga macam: memperpendek umur, menyebabkan kanker dan kerusakan genetik (atau mutasi). Dua yang pertama belum akan terlihat untuk 10-20 tahun, sedangkan akibat ketiga baru akan tampak pada generasi-generasi berikutnya. Ilmu pengetahuan belum berhasil mengetahui secara pasti mekanisme cara bagaimana kanker disebabkan dan cara bagaimana pengaruh memperpendek umur ini. Sudah jelas bahwa akibatnya akan meningkat dengan peningkatan besarnya dosis radiasi. Akan tetapi belum ada cukup bukti apakah ada hubungan langsung ataukah melalui mekanisme yang lebih kompleks pada dosis yang sangat rendah.

4. Standar.

- a. Sebagian besar standar untuk exposure radiasi yang diizinkan berasal dari Komisi Internasional Proteksi Radiasi (International Commission on Radiation Protection = ICRP). Pada prinsipnya mencakup hal untuk dosis maximum yang diizinkan sebagai berikut :
 - 5 (lima) Rad per tahun bagi mereka yang bekerja di dalam teknologi nuklir.
 - 0,5 Rad per tahun bagi masing-masing orang di dalam masyarakat umum.
 - 0,17 Rad per tahun rata-rata bagi sebagian besar penduduk.Standar ini adalah dosis di atas Radiasi LBA, dan belum termasuk dosis radiasi pengobatan (X-ray dll-nya). Tetapi harus pula diinsyafi bahwa radiasi bersifat kumulatif, sehingga angka 0,17 Rad di atas mencerminkan maksud untuk membatasi pengeksposan genetika untuk sebagian besar penduduk pada 5 Rad di dalam 30 tahun pertama dari hidupnya.
- b. Angka dosis di atas digunakan untuk memperhitungkan standar yang lebih luas bagi Konsentrasi Maximum Yang Diizinkan (KMD–Maximum Permissible Concentration) untuk berbagai radio isotope di air dan udara dan untuk pembuangan yang diizinkan bagi isotope-isotope tersebut dari suatu PLTN dan kegiatan-kegiatan yang berhubungan dengan itu. Perhitungan ini harus memperhatikan pula sifat-sifat berbagai isotope-isotope di dalam tubuh manusia, kemungkinan pemekatan biologis di dalam rantai makanan dan akibat terkena radiasi dari berbagai sumber.
- c. Bisa dicatat disini bahwa:
 - Dosis Maximum yang Diizinkan (0,17 Rad/orang/tahun) tidak merupakan suatu ambang, dimana tidak akan ada akibat apa-apa terhadap manusia pada dosis yang lebih rendah dari pada 0,17 Rad/orang/tahun.
 - Bila akibat radiasi betul-betul sebanding dengan dosisnya sampai pada tingkatan yang sangat rendah, maka dapat dikhawatirkan bahwa mendapatkan penduduk pada DMD 0,17 Rad akan menambah kematian yang di sebabkan oleh kanker di samping akibat-akibat sampingan lainnya.

B. Sumber Radiasi.

Teknologi dari PLTN menyangkut kemungkinan terlepasnya (bahaya) radioaktivitas ke lingkungan pada banyak mata rantai di sepanjang Siklus Bahan Bakar.

1. a. Pengaruh eksplorasi untuk mencari deposit uranium boleh dikatakan sangat kecil: pengeboran untuk contoh-contoh uranium dan invasi manusia dan mesin ke alam.
- b. Usaha penambangan bahan radioaktif menghadapkan buruh tambang kepada radiasi yang berbahaya. Sumber utama radiasi di tambang adalah gas radioaktif "radon", suatu hasil pembusukan radioaktif dari aktinium, salah satu hasil pecahan U-235. Sebagai akibatnya adalah kemungkinan yang lebih besar untuk menderita kanker paru-paru bagi para buruh tambang uranium dari pada penduduk atau buruh tambang lainnya.
- c. Mengolah bahan tambang uranium menimbulkan dua macam bahaya radiasi: air buangan yang toksik dan radioaktif serta bahan buangan padat semacam pasir ("tailings"). Diperkirakan hanya 0,2 % bijih uranium yang dapat dipisahkan dalam bentuk U_3O_8 . Ini berarti hanya kira-kira 2 kg U_3O_8 dihasilkan

dari setiap ton bijih uranium. Pengolahan untuk mendapatkan ekstrak 2 kg U_3O_8 ini akan menghasilkan lebih dari 3000 liter air buangan ("liquid waste"), yang toksik dan radioaktif. Biasanya air buangan ini dialirkan ke sungai-sungai yang ada. Sehingga pernah terjadi bahwa penduduk di sepanjang sungai di Colorado, Amerika Serikat menerima 1,5 sampai 3 kali dari pada Konsentrasi Maksimum Yang Diizinkan (lihat Bab V) dari radium—salah satu isotop yang paling berbahaya—dari cara pembuangan semacam ini. "Tailings" biasanya ditimbun saja di dekat pusat pengolahan bahan tambang. Ini dapat mencapai puluhan juta ton. Karena dibiarkan begitu saja di udara terbuka, maka dapat disebar luaskan oleh angin dan air hujan ke daerah-daerah permukiman penduduk.

- d. Bahaya radiasi selama pengangkutan dari pusat pengolahan bijih uranium ke reaktor (atau ke pusat "enrichment plant") relatif kecil. Karena U_3O_8 ini telah menjadi bahan yang sangat berharga, sehingga biasanya ditangani secara hati-hati. Meskipun bahaya kecelakaan akan tetap selalu ada.
2. Potensi bahaya radiasi yang terbesar barangkali terletak pada reaktornya sendiri.
 - a. Pola dasar dari cara pembangkitan listrik suatu PLTN pada umumnya hampir sama dengan PLTU biasa. Perbedaan utamanya terletak pada bahan bakarnya. Pada PLTU diperlukan gas alam, minyak bumi atau batu bara, sedang pada PLTN pada umumnya U-235, salah satu isotop dari uranium yang terdapat di alam, sebagai bahan bakar.
 - b. Uranium-235 ini memiliki keistimewaan ialah dapat dipecahkan (fission) secara spontan menjadi pecahan-pecahan yang dapat "menangkap" neutron bebas. Fission ini disertai dengan konversi massa inti uranium menjadi energi sesuai dengan rumus Einstein yang terkenal $E = mc^2$. Di samping itu dihasilkan juga hasil sampingan berupa neutron bebas (kira-kira 2,5 setiap reaksi) yang akan mampu memecah U-235 lebih lanjut. Sehingga akan terjadi suatu reaksi berantai yang dapat menghasilkan energi yang sangat besar (Dengan proses ini setiap kilogram U-235 dapat menghasilkan energi yang sama dengan membakar 3 juta kg batu bara).
 - c. Bila U-235 pecah, akan dihasilkan berbagai ragam hasil pecahan di samping neutron. Banyak hasil pecahan ini sangat radioaktif; banyak hasil pecahan lain yang semula tidak radioaktif akan menjadi radioaktif waktu kena tembakan-tembakan neutron. Sebagian besar dari hasil pecahan ini akan tetap terikat pada elemen bahan bakar dari alloy yang kedap panas dan radiasi bersama-sama dengan U-235 dan U-235 yang belum terbelah. Akan tetapi sejumlah kecil gas radioaktif secara rutin terlepas dari reaktor ke udara, biasanya melalui cerobong yang tinggi, dan ke air pendinginan dari kondensor.
 - d. Pada umumnya masalah serious dihadapi secara rutin di dalam operasi reaktor adalah gas-gas radioaktif seperti Krypton-85 dan Tritium. Krypton adalah gas yang inert sehingga tidak dapat dihilangkan secara kimiawi, sedangkan Tritium sangat sukar dikuasai karena menyebar secara mudah kelogam dan kecenderungannya untuk mengganti atom hidrogen dari air. Isotop lain yang berbahaya misalnya J-131, Ce-137 dan Sr-90 dapat sampai pada air pendingin reaktor apabila logam pembungkus elemen bakarnya pecah. Kecelakaan semacam ini, yang disebabkan oleh panas dan radiasi yang besar, sangat umum terjadi sehingga pada tingkat teknologi saat ini hampir tidak dapat dihindarkan.

Para pembuat reaktor sekarang sedang berusaha keras untuk mengembangkan sistim yang disebut "Zero-release" untuk menangkap dan mengisolasi semua isotop radioaktif di dalam gedung reaktor.

- e. Di dalam praktek kebanyakan reaktor sekarang melepaskan bahan radioaktif jauh di bawah tingkatan yang diizinkan oleh peraturan. Model reaktor terbaru dibuat sedemikian rupa agar di dalam keadaan yang sangat jelekpun hanya melepaskan bahan radioaktif kira-kira 1/100 dari yang diizinkan. Bahkan biasanya reaktor-reaktor ini dilengkapi dengan alat pengontrol otomatis untuk menghindari kecelakaan yang besar. Misalnya termasuk alat penghentian kerja reaktor secara otomatis, sistim pendingin darurat bila tiba-tiba alat pendingin primer tak berfungsi, pemangkit tenaga listrik darurat bila tiba-tiba tenaga listrik yang ada padam dll.-nya. Maka hampir dapat dikatakan bahwa dengan adanya segala "devices" ini kemungkinan terjadinya kecelakaan besar dimana terlepas bahan radioaktif yang sangat besar jumlahnya, pada suatu reaktor hampir sangat tidak mungkin ("improbable"). Namun akibat dari kemungkinan yang "improbable" ini menurut Dr. Edward Teller, bapak bom hidrogen dan seorang penyokong sangat gigih dari enersi nuklir, tak dapat dibayangkan. Menurut istilah beliau kita dihadapkan pada suatu "the zero infinity dilemma". Kemungkinan terjadinya hampir zero (tak ada), tetapi bila betul terjadi akibatnya hampir "infinite" (tak terbatas). Misalnya satu reaktor dengan kapasitas satu juta KW sesudah beroperasi 1 tahun akan mengandung radioaktivitas 100 kali lebih besar dari pada bom atom yang dijatuhkan di Hiroshima. Bila semua atau sebagian besar dari bahan radioaktif semacam ini terlepas ke lingkungan, maka hal ini akan merupakan bencana yang tak ada bandingnya.
 - f. Suatu studi oleh Badan Tenaga Atom (AEC) Amerika Serikat, (1957), "Theoretical possibilities and consequences of major accidents in large nuclear power plants") meramalkan bahwa bencana semacam itu pada suatu reaktor nuklir yang kecil saja dapat menewaskan 3.400 orang, melukai 45.000 orang dan menimbulkan kerugian tujuh billion dollar. AEC tak berani meramalkan apa yang terjadi bila bencana ini terjadi pada reaktor yang lebih besar dan terletak di dekat kota besar atau pusat permukiman. (Misalnya hasil studi universitas Michigan tentang "Fermi Fast Breeder Reactor" yang terletak 30 mil dari Detroit meramalkan bahwa bila terjadi kecelakaan besar dengan mudah akan dapat menewaskan 133.000 orang).
3. Potensi lain dari bahaya radiasi adalah pada tahap pengolahan kembali dari bahan bakar yang telah terpakai ("spent-fuel re-processing") dan pada cara penanganan bahan buangan radioaktif.
- a. Setelah elemen bahan bakar berada di dalam reaktor untuk 1 - 2 tahun, maka mereka telah begitu terkontaminasi dengan hasil-hasil reaksi pemecahan ("fission"), sehingga mereka dapat menyerap neutron bebas. Hal ini akan sangat mengurangi kemungkinan terjadinya reaksi berantai yang sangat diperlukan oleh suatu PLTN (lihat juga pada IV.B.2b. diatas). Waktu elemen bahan bakar ini dipindahkan, mereka masih mengandung U-235 yang belum dipecahkan maupun hasil pemecahan Plutonium-239 dalam jumlah yang besar. Pengolahan kembali bahan bakar adalah usaha

untuk memisahkan U-235 dan Pu-239 dari unsur-unsur radioaktif lainnya.

- b. Pengolahan kembali ini biasanya dilakukan ditempat lain. Sehingga masalah yang pertama akan timbul adalah cara bagaimana mengangkut "spent-fuel", yang disamping sangat panas juga sangat radioaktif ini dari lokasi PLTN ke Pusat Pengolahan kembali Bahan bakar (fuel reprocessing plant). Tabung pembawa harus dilengkapi dengan sistim pendingin tersendiri dan harus tahan bantingan yang bagaimanapun kerasnya, tahan api dan tahan air. Pertanyaan yang mengkhawatirkan adalah kemungkinan terjadinya kecelakaan selama didalam pengangkutan.
- c. Di Pusat Pengolahan Kembali, elemen bahan bakar dipotong-potong dan dilarutkan ke dalam asam untuk pemisahan secara kimiawi. Hampir semua pekerjaan pada Pusat Pengolahan ini harus dilakukan dengan "remote control", karena besarnya bahaya radiasi. Sebagian besar bahan buangnya yang berupa gas akan dibuang melalui cerobong (Krypton-83, J-131) sedangkan Tritium dibuang melalui air buangan.
- d. Residu terakhir dari pengolahan kembali bahan bakar ini akan berupa cairan pekat yang sangat radioaktif dan hampir terus menerus mendidih. Pada tingkat teknologi kini setiap ton pengolahan kembali bahan bakar, akan dihasilkan kira-kira 400 l air buangan semacam ini, yang mengandung bahan radioaktif sebesar hampir 15.000 Curie/l. Kira-kira 1/50-nya terdiri dari Sr-90. (Di Amerika Serikat KMD Sr-90 di air minum adalah kurang dari $0,1 \times 10^9$ Curie/gallon). Pada umumnya air buangan ini disimpan di dalam suatu tanki khusus di bawah tanah lengkap dengan sistim pendinginnya.

V. BEBERAPA BAHAN PERTIMBANGAN

1. Di atas telah diuraikan akibat-akibat sampingan serta bahaya-bahaya yang mungkin ditimbulkan oleh suatu reaktor nuklir untuk menjadi bahan pertimbangan bagi penentuan lokasi PLTN yang akan dibangun di Indonesia. Uraian ini tidak dimaksudkan untuk menakut-nakuti, tetapi agar kita semua betul-betul sadar dengan kemungkinan yang dapat terjadi sehingga jauh-jauh telah dapat mengadakan langkah-langkah pengamanan yang diperlukan.
2. Meskipun dapat diharapkan bahwa tingkat teknologi reaktor nuklir dimasa 10 tahun y.a.d. (dimana diharapkan bahwa Indonesia telah akan mulai memiliki PLTN-nya yang pertama) telah akan demikian majunya, sehingga bahaya-bahaya yang sekarang masih sering terjadi pada reaktor nuklir itu dapat dihindari, namun kita juga perlu menginsyafi bahwa di dalam sistim teknologi yang sangat kompleks-pun "improbable accident" dapat terjadi. Oleh karena itu peringatan Dr. Edward Teller yang mengatakan bahwa kita dihadapkan pada "Zero Infinity Dilemma" seperti telah diuraikan di atas perlu kita cam-kan betul-betul.
3. Di dalam pemilihan lokasi PLTN di P. Jawa perlu juga dipertimbangkan hal-hal sebagai berikut :
 - a. Diperkirakan bahwa di tahun 2000 P. Jawa telah menjadi kota kepulauan "island cities") dengan penduduk yang sangat padat, sehingga akan sangat sulit mencari lokasi PLTN agar tidak terlalu dekat dengan daerah permukiman untuk menghindari bahaya radiasi.

- b. Kecil sekali kemungkinannya ada perairan air tawar di P. Jawa yang memiliki daya dukung cukup besar untuk mengamankan bahan-bahan buangan dari suatu PLTN. Lebih-lebih mengingat fungsi serba-guna (mandi, mencuci, masak, minum, mencari ikan, dll.-nya) dari perairan di P. Jawa khususnya dan Indonesia pada umumnya.
- c. Perlu juga diperhatikan bahwa frekwensi gempa bumi di Indonesia relatif tinggi. Sehingga penempatan baik PLTN-nya, maupun buangan bahan radioaktif di bawah tanah harus sangat hati-hati, agar tidak mudah retak-retak karena gempa bumi.
- d. Bila lokasi PLTN akan diletakkan di suatu ekosistem pantai, maka perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut :
 - Sifat alami dari lautan tropis yang selalu bersuhu tinggi sehingga menyebabkan adanya pemisahan abadi lapisan air atas yang kurang subur-dengan lapisan bawah yang sangat subur mengakibatkan bahwa laut yang dangkal merupakan suatu daerah yang subur. Tak terkecuali pantai utara P. Jawa yang landai dan dangkal yang akan dapat mendukung usaha intensifikasi perikanan dan aqua-culture bagi peningkatan sumber protein hewani yang murah.
 - Adanya pengaruh angin musim di Indonesia yang selalu berganti arah arus harus diperhatikan di dalam membuang bahan buangan ke suatu ekosistem pantai.
 - Perlu diperhatikan type endapan, batuan dasar dan komposisi masyarakat biota dari daerah dimana akan dibangun PLTN agar dapat dibatasi pada kerugian-kerugian ekologis yang sekecil-kecilnya.
- c. Mengingat kompleks dan sulitnya permasalahan yang dihadapi, maka disarankan agar kegiatan penelitian lingkungan ini dijadikan bagian yang integral dari seluruh perencanaan pembangunan PLTN. Dengan demikian dapat diharapkan terjaminnya penyediaan tenaga, peralatan dan biaya yang diperlukan.

PUSTAKA :

- BAIQUNI, A dan B. SUDARSONO, 1974. Pola pengembangan Energi Nasional dilihat dari segi tenaga nuklir. Kertas Kerja pada Seminar Energi Nasional, Jakarta, 24 - 27 Juli 1974, 15 hal.
- DJOJHADIKUSUMO, SUMITRO. 1974. Pola Pengembangan Energi. Tinjauan jangka panjang. Seminar Energi Nasional, Jakarta 24 - 27 Juli 1974, 42 hal.
- HOLDREN, JOHN dan P. HERRERA. 1971. Energy. A sierra Club Battlebook, 252 hal.
- SOEGIARTO, APRILANI 1974. Beberapa catatan tentang pencemaran air panas berasal dari PLTU - PLTN. Pewarta OSEANA (Lembaga Oseanologi Nasional). Tahun 1 No. 8, hal. 1 - 4.
- - - - -, 1975. Aquatic resources in Indonesia, their problems and management. Simposium tentang masalah Energi, Sumber Alam dan Lingkungan. Jakarta, 25 - 28 Pebruari, 9 hal.

TELLER, EDWARD. 1975. The role and the need for technology in Society.
Simposium tentang masalah Energi, Sumber Alam dan Lingkungan.
Jakarta, 25 - 28 Pebruari.

WIJARSO. 1975 Some aspects of energy resources development in Indonesia
to the year 2000. Simposium masalah Enersi, Sumber Alam dan
Lingkungan, Jakarta, 25 - 28 Pebruari.

- PUSTAKA :
- BAIQUN, A dan B. SUDARSONO. 1974. For pengembangan Energi Nasional
ditulis dari segi tenaga nuklir. Kertas Kerja pada Seminar Energi Nuklir
nasional, Jakarta, 24 - 27 Juli 1974, 12 hal.
- DIOWAHKURUMO, SUMITRO. 1974. For pengembangan Energi Nasional
juga pada Seminar Energi Nasional, Jakarta 24 - 27 Juli 1974,
42 hal.
- HOLDREN JOHN dan R. HERRERA. 1971. Energy. A new Oil Handbook,
322 hal.
- ROGIARTO, APRILANI 1974. Beberapa catatan tentang perkembangan di panas
bumah dan PLTU - PLTN. Pustaka OSEANA (Jurnal Geologi
Nasional), Tahun I No. 8, hal. 1 - 4.
- -- 1975. Aquatic resources in Indonesia. Their problems and
management. Simposium tentang masalah Energi, Sumber Alam dan
Lingkungan, Jakarta, 25 - 28 Februari, 9 hal.

DISKUSI

BUDI SUDARSONO :

Saya ingin memberi keterangan tambahan untuk menjelaskan bahaya-bahaya yang mungkin timbul akibat kecelakaan nuklir (lihat kutipan Sdr. Sugiarto pada hal. 11) USAEC telah membuat studi baru (WASH-1400) di mana dibuat perbandingan hasilnya dengan hasil studi yang lama (WASH-740 th. 1957). Menurut yang baru, kematian max 92 rata-rata 0,05 dan bukan max 200 rata-rata 0.01. Hasil yang berbeda ini disebabkan asumsi-asumsi yang lama telah dirubah disesuaikan dengan perkembangan dan juga laporan lama dibuat untuk "maximization" dari akibat kecelakaan nuklir karena ketika itu USA-EC sedang menyusun perundangan ganti-kerugian.

A. SOEGIARTO :

Sebagai orang yang tidak bergulat sehari-hari dengan bahan-bahan nuklir, kami tak selalu dapat mengikuti perkembangan-perkembangan yang mutakhir. Dari dua set data ini tampak adanya perbedaan yang begitu besar, ini kemungkinan cara pendekatan yang berbeda dan asumsi-asumsi yang berlainan yang dipakai untuk sampai pada angka-angka tersebut. Di dalam ilmu pengetahuan hal ini selalu mungkin saja.

VINCENT T. RAJA :

- 1) Apakah LON sudah ada rencana membuat Bathymetric Map. P. Jawa ?
- 2) Apakah sudah diselidiki macam-macam batas laut di pantai P. Jawa ?
- 3) Pantai Selatan Jawa lebih dalam daripada Pantai Utara Jawa karena erosi (sedimentasi lebih banyak di pantai Utara : S. Cimanuk, S. Citarum) sehingga kemungkinan batas laut lebih aman daripada di utara P. Jawa.

A. SUGIARTO :

- 1) Dalam batas-batas tertentu LON telah memiliki bathymetric Map laut Jawa (bukan P. Jawa). Tapi untuk sesuatu keperluan biasanya masih diperlukan bathymetric map yang lebih terperinci.
- 2) Juga dalam batas-batas tertentu LON telah punya, tapi untuk daerah yang khusus masih diperlukan penelitian yang lebih mendalam khususnya pengaruh musim terhadap komposisi jenis dan besar populasi.
- 3) Secara umum dapat dikatakan bahwa laut tropis dangkal memiliki kesuburan yang lebih besar daripada laut tropis yang dalam. Tetapi tentu ada berbagai kekecualian, misalnya di mulut Sungai yang bermuara di laut dalam pun bisa mempertinggi kesuburan (misal. S. Serayu).

PETER E. HEHANUSSA :

Tadi disebut bahwa perubahan arah arus terjadi sepanjang tahun. Untuk itu pantai Utara Jawa kemungkinan akan terpengaruh polusi. Atas dasar itu lebih dianjurkan pemakaian pantai Selatan Jawa. Apakah ini tidak berarti kita menyelamatkan orang Indonesia dan mengorbankan orang Australia.

A. SUGIARTO :

Kemungkinan pengaruh bahan pencemar dari Indonesia sampai ke Australia atau Negara lain di Samudera Indonesia itu sangat kecil mengingat jarak dan volume air yang harus dilalui oleh bahan pencemar tersebut. Kalaupun ada yang sampai mungkin begitu kecilnya, boleh kata tak berarti. Ini juga mengingat akan akibat pengenceran (dilution effect) dari Samudera Indonesia.

MURSID D. :

Apakah LON mempunyai data tentang maju/mundurinya pantai Pulau Jawa ?

A. SUGIARTO :

LON sendiri belum pernah secara khusus melakukan pengukuran semacam ini. Tetapi ada beberapa Pustaka yang dapat ditelusur, misalnya kecepatan pertumbuhan pantai Ancol (Bina Ria), delta Sungai Citarum, Cimanuk, pantai-pantai Riau Daratan dan lain-lainnya.

SOEHIRNO :

Apa gunanya kita mempelajari arus laut dan aurs udara di sini ? Bukankah sampah-sampah radioaktif dari PLTN akan kita simpan yang aman ? Dan tidak akan di buang ke laut atau ke udara.

A. SUGIARTO :

Secara rutin dari suatu PLTN selalu terlepas sejumlah kecil (low level) bahan radioaktif buangan – baik yang terbawa di dalam air pendingin maupun berupa gas (Krypton 85, Tritium). Oleh karena itu sampai teknologi cukup tinggi untuk meniadakan ini (“zero release”), maka kita masih wajib memperhatikan masalah bahaya pencemaran radioaktif ke lingkungan ini.