

PEMBANGUNAN PLTN SEBAGAI SATU SOLUSI KRISIS LISTRIK DI INDONESIA

Sutarman

Puslitbang Keselamatan Radiasi dan Biomedika Nuklir – BATAN

- Jalan Cinere Pasar Jumat, Jakarta – 12440
- PO Box 7043 JKSKL, Jakarta – 12070

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik dari tahun ke tahun terus meningkat seiring dengan perkembangan pola hidup masyarakat, yang meliputi sektor rumah tangga dan sektor industri yang terus meningkat, terutama di Pulau Jawa dan Bali. Menurut studi Markal, diperkirakan bahwa permintaan energi listrik akan terus berkembang. Khusus untuk Jawa dan Bali, permintaan energi listrik meningkat dari tahun 1991 sebesar 34.000 GWh/tahun menjadi 53.000 GW/tahun pada tahun 1996 dan angka ini terus berkembang menjadi 80.000 GWh/tahun pada tahun 2000.

Permintaan kebutuhan energi listrik terbesar berada di sektor industri. Sementara sumber daya energi di Indonesia, misalnya minyak dan gas bumi mempunyai cadangan 84 milyar barrel (di Jawa dan luar Jawa), cadangan batubara sebesar 32 milyar ton (berada di luar Jawa), potensi energi panas bumi (geotermal) 16.035 MW (di Jawa dan luar Jawa), dan potensi air (di Jawa dan luar Jawa) sebesar 15.804 MW. Sedangkan cadangan energi matahari dan belum banyak dimanfaatkan [2].

Khusus untuk kebutuhan energi listrik di Jawa dan Bali diperlukan kapasitas listrik terpasang pada tahun 2015 sebesar 35.000 MW yang terdiri atas 14.000 MW dari Pusat Listrik Tenaga Uap dengan bahan bakar batubara (PLTU batubara), 13.000 MW dari Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA), dan gas, serta sekitar 8.000 MW berasal dari pembangkit energi alternatif

lainnya. Penambahan kapasitas terpasang energi listrik di Jawa, pada masa mendatang direncanakan menggunakan sumber daya energi non-minyak. Cadangan sumber daya air, panas bumi, surya dan angin sangat terbatas, sementara pembangkit energi listrik menggunakan bahan bakar batubara menimbulkan masalah pencemaran lingkungan dalam jangka panjang, maka perlu dipikirkan sumber energi alternatif non-minyak yang mempunyai teknologi ramah lingkungan. Salah satu sumber energi listrik non-minyak yang dipilih adalah energi nuklir, namun pembangunannya perlu persiapan yang matang dan lama, karena memerlukan sistem keselamatan dan keamanan yang canggih, serta memerlukan ilmu pengetahuan dan teknologi yang tinggi agar tidak menimbulkan masalah besar pada masa pra-operasi, operasi, dan pasca operasi atau dekomisioning (*decommissioning*).

Djali Ahimsa (mantan Dirjen. BATAN), sistem interkoneksi Jawa dan Bali memberikan kontribusi 80% dari konsumsi energi listrik seluruh Indonesia. Proyeksi kebutuhan energi listrik di Jawa dan Bali telah disesuaikan untuk memenuhi kecenderungan pertumbuhan permintaan energi listrik yang semakin meningkat, seperti diperlihatkan pada Tabel 1. Sebagai catatan, perkiraan kapasitas energi listrik terpasang untuk tahun 2003/2004 sebesar 31,8 GW, dibandingkan dengan proyeksi sebelumnya yang hanya 25,5 GW untuk tahun 2010/2011 [1,3].

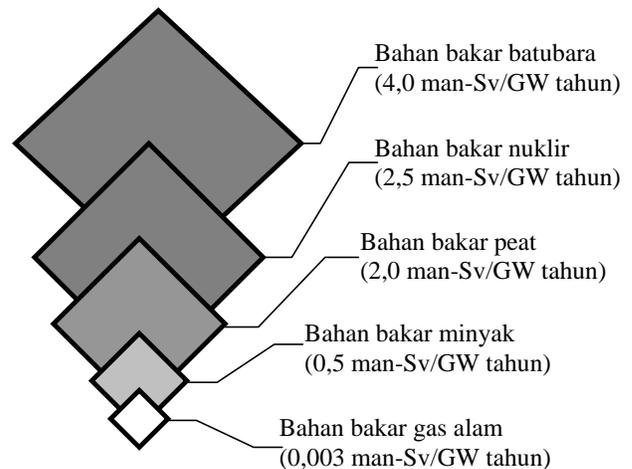
Tabel 1 Proyeksi perkembangan sistem energi listrik di Jawa dan Bali (1990/1999-2003/2004) [3].

Sistem kelistrikan	1990/1991	1993/1994	1998/1999	2003/2004
Konsumsi energi listrik (TWh)	22,4	33,2	75,1	128,1
Pertumbuhan rata-rata (%)	-	15,5	17,7	14,1
Beban puncak (MW)	4.565	6.821	51.061	24.949
Produksi energi listrik (TWh)	27,78	41,35	92,23	156,21
Kapasitas terpasang (MW)	6.363	8.937	18.765	31.845

Dalam penyediaan energi listrik memenuhi permintaan yang terus meningkat dengan pesat, maka pembangunan Pusat Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) perlu mendapat pertimbangan untuk menjadi salah satu sumber energi listrik alternatif di Indonesia, khususnya di Jawa. Setelah diperhitungkan penyediaan sumber energi listrik non-nuklir yang ada, ternyata masih diperlukan kapasitas terpasang energi listrik sebesar 7.000 MW. Kekurangan penyediaan energi listrik tersebut dapat dipasok dengan menggunakan energi nuklir (PLTN). Berdasarkan pengalaman dari negara-negara maju, teknologi PLTN dalam keadaan operasi normal mempunyai keunggulan (relatif aman, ekonomis, dan bersih/ramah lingkungan) [3]. Perkiraan dosis kolektif komitmen tahunan yang diterima penduduk dunia rata-rata dari berbagai pembangkit energi listrik, PLTN menduduki peringkat nomor dua setelah PLTU batubara dalam operasi normal (Gambar 1).

Berdasarkan pertimbangan-pertimbangan tersebut, pada tahun 1985 BATAN-NIRA (Italia) telah melakukan pemutakhiran studi kelayakan PLTN. Pemutakhiran ini dilaksanakan dalam rangka kerjasama dengan Bechtel (Amerika Serikat) dan Sofratome (Perancis) tentang perencanaan energi, strategi, lokasi, dan dampak lingkungan. Kesimpulan penting dari hasil studi kelayakan PLTN yang dibuat, menyatakan bahwa PLTN layak dibangun di Indonesia menjelang tahun 2000. Sementara hasil studi yang dilaksanakan oleh Cesen (Italia) memberikan hasil bahwa proyek PLTN akan memberikan

dampak sosio-ekonomi positif. Lokasi tapak reaktor PLTN yang terpilih adalah daerah Semenanjung Muria (Jawa Tengah), tepatnya di daerah Ujung Lemahabang.



Gambar 1. Perkiraan dosis kolektif komitmen rata-rata yang diterima penduduk dunia (man-Sv/GW tahun) dari berbagai pembangkit energi listrik dengan bahan bakar yang berbeda [4].

Penyebar luasan informasi tentang pemanfaatan ilmu pengetahuan dan teknologi (iptek) nuklir untuk pembangkit listrik perlu dilakukan untuk membantu meningkatkan penerimaan masyarakat pada PLTN yang mendesak untuk dibangun di Indonesia, khususnya di Pulau Jawa. Penggunaan energi nuklir untuk pembangkit energi listrik adalah yang paling menonjol dan sangat bermakna dari pemanfaatan iptek nuklir bagi kesejahteraan

manusia dan perdamaian. Pemanfaatan energi nuklir untuk pembangkit listrik baru dikembangkan sekitar tahun 1952 dan terus berkembang walaupun banyak kendala-kendala yang menyangkut politis dan ekonomis, namun hal tersebut tidak menyurutkan perkembangan pembangunan PLTN di beberapa negara, dan kini para ahli nuklir telah meningkatkan keandalan dan keselamatan PLTN serta keselamatan lingkungan, sehingga kemungkinan timbulkan kecelakaan nuklir sangat kecil. Dengan demikian pemanfaatan energi nuklir dapat mendukung penyediaan energi listrik yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Morris Rosen, Asisten Direktur Jendral Urusan Keselamatan Nuklir Badan Tenaga Atom Internasional (IAEA) waktu itu, dalam seminar Informasi Publik di Kyoto-Jepang, pada tanggal 1 Desember 1995 mengemukakan bahwa pembangunan PLTN di Asia terus meningkat, antara lain Jepang, Korea Selatan, Taiwan, India, Cina, dan Pakistan. Sementara di Indonesia telah selesai dilakukan studi tapak dan studi kelayakan (STSK) pembangunan PLTN di Ujung Lemahabang, Jepara (Semenanjung Muria), Jawa Tengah pada tahun 1996. STSK untuk pembangunan PLTN tersebut telah selesai dilakukan oleh konsultan dari Jepang (*the New Japan Engineering Consultant* atau NEWJEC) [2].

Rencana pemerintah Indonesia akan membangun PLTN adalah untuk memasok kebutuhan energi listrik di daerah Jawa dan Bali, yang merupakan daerah dengan kebutuhan energi listrik terbesar dan pertumbuhannya sangat pesat baik pada saat ini maupun di tahun-tahun mendatang. Pemerintah ingin mempunyai PLTN pada tahun 2017 di sejumlah daerah di Indonesia, terutama untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di Jawa dan Bali, yang diperkirakan akan membutuhkan sebanyak 7 unit PLTN sampai tahun 2015. Menurut studi Markal, kapasitas terpasang pada tahun 2015 sebesar 35.000 MW [1]. Menteri Negara Riset dan Teknologi, Kusmayanto Kadiman mengatakan bahwa PLTN merupakan salah satu alternatif untuk menjawab kebutuhan

energi listrik pada tahun 2025 agar tidak lagi bergantung pada minyak bumi (Surat Kabar Kompas, Sabtu 21 Mei 2005). PLTN dipilih sebagai salah satu alternatif, antara lain karena PLTN mampu menghasilkan listrik dengan biaya relatif murah dan ramah lingkungan.

Sejak diawali dengan terjadinya kecelakaan reaktor nuklir di *Three Mile Island*, Amerika Serikat tahun 1979 dan disusul dengan kecelakaan reaktor nuklir di Chernobyl tahun 1986 yang banyak membawa korban jiwa, pendapat umum dunia cenderung menolak semua yang berbau nuklir termasuk PLTN. Awalnya Indonesia mengharapkan tahun 2003 sudah mempunyai PLTN di Jawa. Kini cita-cita bangsa Indonesia untuk membangun PLTN menjadi kandas sejak terjadinya kecelakaan reaktor nuklir tersebut, yang menimbulkan gerakan masyarakat anti nuklir. Ditambah pula dengan terpuruknya krisis ekonomi di Indonesia yang semakin berkepanjangan dan bencana alam yang salih berganti.

Beberapa pendapat umum yang sering timbul di masyarakat, antara lain yang berkaitan dengan keselamatan, keamanan dan resiko radiasi yang ditimbulkan oleh pengoperasian PLTN, kemampuan sumber daya manusia, penyediaan bahan bakar, pengolahan limbah radioaktif, dan hal-hal yang berkaitan dengan dana baik untuk pembangunan maupun untuk pengoperasian PLTN.

PANDANGAN MASYARAKAT TERHADAP PLTN

Sejak berakhir perang dunia II pandangan masyarakat terhadap pemanfaatan nuklir untuk pembangkit energi listrik mengalami pasang surut. Pada awalnya kepercayaan masyarakat terhadap keandalan PLTN terus meningkat, terbukti dengan banyak dibangunnya PLTN baik di negara-negara maju maupun di negara-negara berkembang, bahkan ada beberapa gagasan untuk mendesain mobil dan kapal perang menggunakan bahan bakar nuklir, karena bahan bakar nuklir

relatif murah. Banyak media masa memaklumkan bahwa abad atom atau zaman atom telah dimulai. Pada pertengahan tahun 1979 mulai timbul krisis anti nuklir, karena menurut mereka ternyata pemanfaatan teknologi nuklir untuk pembangkit energi tidak realistis [5].

Pembalikan persepsi dan penerimaan masyarakat terhadap pemanfaatan teknologi nuklir menjadi menurun drastis setelah terjadi kecelakaan nuklir *Three Mile Island* di Amerika Serikat. Pada tahun 1979, walaupun tidak seorangpun meninggal ataupun luka. Kemudian berlanjut dengan terjadinya kecelakaan reaktor nuklir Unit 4 di Chernobyl (25 April 1986) yang memakan banyak korban jiwa, yaitu 31 orang pekerja reaktor dan pemadam kebakaran meninggal dunia, 200 orang luka-luka, dan 135.000 orang pada radius 30 km di sekeliling reaktor dievakuasi.

Peristiwa kecelakaan reaktor nuklir tersebut membangkitkan kembali gerakan anti nuklir yang tadinya sudah mulai surut pada awal tahun 1980 oleh adanya gerakan perlucutan senjata nuklir. Kini gerakan anti nuklir menjadi marak kembali bahkan mereka yang tadinya anti senjata nuklir menjadi berubah dan bergabung menjadi anti PLTN. Sikap anti nuklir kadang-kadang dicampur aduk dengan anti senjata nuklir, bahkan pada 14 Desember 1995 di Bangkok, Presiden RI (kala itu Soeharto), telah mendatangi perjanjian kawasan Asean yang bebas senjata nuklir. Dalih yang mereka selalu dengungkan adalah bahwa pembangunan PLTN juga merupakan salah satu sarana untuk pengembangan senjata nuklir. Gerakan anti nuklir juga banyak didukung oleh orang-orang yang anti teknologi yang jumlahnya cenderung meningkat.

Gerakan anti nuklir biasanya dilatarbelakangi oleh ketakutan terhadap kemungkinan terjadinya kecelakaan nuklir, walaupun sekecil apapun kecelakaan itu, akan dapat dijadikan suatu alat kampanye anti nuklir. Pada umumnya para aktivis anti nuklir menolak jika diajak untuk berdialog untuk membandingkan antara resiko radiasi akibat kecelakaan nuklir dengan

kecelakaan yang sering terjadi sehari-hari, misalnya kecelakaan lalu-lintas, kebakaran, gempa bumi, tanah longsor, dan banjir.

Menurut Simanjuntak dalam *Dengar Pendapat Fraksi ABRI* yang bertajuk *Mencermati Rencana PLTN Muria ; Pokok-pokok Pikiran Masyarakat Anti Nuklir*, September 1996 [5], secara garis besar orang-orang anti PLTN dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu :

- Kelompok masyarakat awam (budayawan, politikus, tokoh agama, dan beberapa anggota masyarakat). Mereka umumnya takut kehadiran PLTN di tengah-tengah masyarakat, karena tidak tahu karakter atau sifat-sifat PLTN. Mereka takut, karena dalam pengoperasiannya PLTN kemungkinan dapat meledak seperti bom atom (bahan bakar ^{235}U , atau uranium-235) di kota Hiroshima dan Nagasaki pada tahun 1945. Pada kenyataannya tidak mungkin suatu reaktor nuklir dapat meledak seperti bom atom, karena PLTN memiliki sistem kendali dan keselamatan berlapis yang handal, sedangkan bom atom tidak.
- Kelompok masyarakat yang kurang pengetahuan tentang nuklir (PLTN), misalnya LSM dan para akademisi. Kelompok ini paling gigih dalam membuat gerakan menolak PLTN. Mereka umumnya menyangsikan kemampuan bangsa Indonesia dalam pengoperasian PLTN yang aman termasuk dalam pengelolaan limbah radioaktif hasil samping PLTN.
- Kelompok masyarakat yang cukup tahu tentang nuklir (para pejabat dan mantan pejabat pemerintah). Mereka menolak kehadiran PLTN karena berbeda sudut pandang mengenai pembangunan PLTN di Indonesia.

Secara obyektif PLTN merupakan suatu industri energi non-minyak yang menjadi pilihan utama karena aman. Bahan bakar sedikit dapat membangkitkan energi listrik yang besar (1 kg

bahan bakar ^{235}U murni dapat menghasilkan 17 ribu juta milyar kalori atau setara dengan energi panas 2.400 ton batubara), dan ramah lingkungan. Hal ini terbukti bahwa pengoperasian PLTN dunia dari 32 negara masih terus beroperasi sampai April 2001 telah beroperasi 438 unit PLTN dengan total kapasitas bersih mencapai 351.327 MW, sementara yang sedang dibangun sekitar 31 unit dengan total kapasitas bersih 27.756 MW. Informasi tersebut bersumber dari Badan Tenaga Atom Internasional (IAEA). Status PLTN seluruh dunia secara lengkap diperlihatkan pada Tabel 2 [6].

Tabel 2 menunjukkan penggunaan pembangkit listrik tenaga nuklir dunia cukup besar, secara keseluruhan rata-rata 15% dari pembangkit energi listrik menggunakan energi nuklir. Hal ini berarti teknologi nuklir telah teruji dapat digunakan sebagai sumber penghasil energi listrik yang handal dan aman serta bersih lingkungan. Perancis merupakan negara paling besar memanfaatkan PLTN untuk memenuhi kebutuhan listrik, yaitu 76,4 % dari sumber energi listrik yang dimanfaatkan berasal dari energi nuklir.

Sesungguhnya penolakan masyarakat terhadap kehadiran PLTN disebabkan karena sebagian besar masyarakat kurang paham tentang manfaat teknologi nuklir. Oleh karena itu para ahli nuklir sangat diharapkan untuk meningkatkan teknologi pengamanan dan keselamatan nuklir serta teknologi pengolahan limbah radioaktif dari PLTN, meliputi baik dalam bentuk gas, cair, maupun padat. Hal tersebut perlu diinformasikan dan dimasyarakatkan untuk meluruskan pernyataan-pernyataan yang tidak benar. Pada prinsipnya pengoperasian PLTN sama dengan pusat-pusat energi listrik lainnya, hanya berbeda pada bahan bakar yang digunakannya. PLTN menggunakan bahan bakar nuklir (^{235}U atau plutonium-239), sementara pembangkit listrik yang lain dapat menggunakan bahan bakar minyak, gas, dan batubara. Kecelakaan nuklir sebaiknya dijadikan pelajaran yang berharga bagi pengembangan PLTN khususnya yang menyangkut desain PLTN,

meliputi keandalan dan keselamatan / keamanan suatu instalasi pembangkit listrik tenaga nuklir.

RADIASI DARI PLTN

Banyak orang khawatir dan takut karena beranggapan bahwa setiap pengoperasian PLTN akan melibatkan tersebar zat radioaktif ke lingkungan dalam jumlah yang besar. Zat radioaktif tersebut dapat menimbulkan radiasi pengion dan radiasi ini dapat menimbulkan dampak negatif bagi kesehatan manusia dan lingkungan, terutama di sekitar PLTN. Kemampuan radiasi untuk menembus suatu bahan bervariasi, misalnya partikel alfa mempunyai daya tembus relatif kecil, dapat ditahan dengan selembar kertas tipis tetapi daya pengionnya besar, partikel beta mempunyai daya tembus lebih besar daripada partikel alfa (dapat ditahan dengan sekeping aluminium), dan sinar-X memiliki sifat yang hampir sama dengan sinar gamma, mempunyai daya tembus sangat kuat tetapi daya pengionnya lemah.

Perlu diketahui dalam operasi normal PLTN akan memberikan dosis efektif tahunan perorang sangat kecil atau paling kecil di antara sumber radiasi yang dibuat manusia. Menurut laporan UNSCEAR (*United Nation Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation*) tahun 2000, bahwa dosis efektif tahunan rata-rata yang diterima setiap orang di dunia terus menerus yang berasal dari pengoperasian PLTN adalah 0,0002 mSv, sedangkan yang paling besar berasal dari sumber radiasi alam, yaitu 2,4 mSv. Sementara sumber radiasi buatan yang berasal dari kegiatan medik untuk diagnostik adalah 0,4 mSv, percobaan senjata nuklir di atmosfer adalah 0,002 mSv. Kecelakaan nuklir (pengoperasian PLTN yang tidak normal) dari PLTN Unit 4 Chernobyl (1986) memberikan penyinaran dosis efektif tahunan rata-rata yang diterima seseorang di dunia adalah 0,04 mSv (di belahan bumi utara), tetapi setelah tahun 2000 dosis efektif tersebut turun menjadi 0,0002 mSv [7], karena dosis radiasi yang dipancarkan akan meluruh terhadap waktu. Penduduk yang tinggal di lokasi yang

Tabel 2 Status PLTN dunia sampai tahun 2001 (Buletin IAEA, Vol No.4 2001, Vienna-Austria) [6]

No	Negara	Beroperasi		Sedang dibangun		Persentase pasokan PLTN (% TWh)
		Jumlah unit	Kapasitas (MWe)	Jumlah (unit)	Kapasitas (MWe)	
1	Afrika Selatan	2	1.800	-	-	6,7
2	Amerika Serikat	104	97.411	-	-	19,8
3	Argentina	2	935	1	602	7,3
4	Armenia	1	376	-	-	33,0
5	Belanda	1	449	-	-	4,0
6	Belgia	7	5.712	-	-	53,4
7	Brasil	2	449	-	-	1,4
8	Bulgaria	6	1.855	-	-	45,0
9	Ceko	5	425	1	912	18,5
10	Cina	3	2.167	7	6.420	1,2
11	Finlandia	4	2.569	-	-	32,1
12	Hungaria	4	1.755	-	-	42,2
13	India	14	2.503	-	-	3,1
14	Inggris	35	1.2968	-	-	21,9
15	Iran	-	-	2	2.111	0
16	Jepang	53	43.491	4	3.190	38,8
17	Jerman	19	21.122	-	-	30,6
18	Kanada	14	9.998	-	-	11,8
19	Korea Selatan	16	12.990	4	3.820	40,7
20	Lithuania	2	2.370	-	-	73,7
21	Meksiko	2	1.360	-	-	3,9
22	Pakistan	2	425	-	-	1,7
23	Perancis	59	63.073	-	-	76,4
24	Rumania	1	650	1	-	10,9
25	Rusia	29	19.843	3	650	14,9
26	Slovakia	6	2.408	2	2.825	53,4
27	Slovenia	1	676	-	776	37,4
28	Spanyol	9	7.512	-	-	27,6
29	Swedia	11	9.432	-	-	39,0
30	Swiss	5	3.192	-	-	35,5
31	Taiwan	6	4.884	2	2.560	0
32	Ukrania	13	11.207	4	3.800	47,3
	J u m l a h	438 unit	351.327 MWe	31 unit	27.756 MWe	

lebih dekat dengan lokasi kecelakaan nuklir umumnya akan menerima dosis efektif tahunan rata-rata relatif tinggi, namun hal tersebut bergantung dari kondisi meteorologi misalnya arah dan kecepatan angin dominan pada saat terjadi kecelakaan nuklir.

LIMBAH RADIOAKTIF

Limbah radioaktif adalah seluruh bahan atau barang (gas, cair, dan padat) yang tidak berguna lagi dan mengandung atau diperkirakan mengandung bahan radioaktif, dan dikeluarkan dari instansi nuklir. Limbah ini tidak dibuang ke lingkungan, akan tetapi harus dikelola dan diolah

untuk diamankan. Beberapa limbah yang berbentuk aerosol atau gas (gas mulia seperti xenon, kripton, iodium dan tritium), dalam jumlah kecil atau dalam batas yang tidak membahayakan akan dilepas ke lingkungan setelah melalui filter. Sementara limbah dalam bentuk padat dan cair yang mengandung zat radioaktif dan termasuk yang mengandung bahan kimia yang berbahaya dan beracun (B-3) akan diolah sesuai dengan prosedur baku tentang pengolahan limbah radioaktif dan bahan kimia yang berbahaya dan beracun.

Limbah radioaktif memerlukan penanganan yang sungguh-sungguh agar tidak mencemari lingkungan yang membahayakan masyarakat di sekitar PLTN. Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif mempunyai tugas, antara lain:

1. Pengumpulan dan pengelompokan limbah
2. Pengangkutan ke instalasi pengolahan
3. Pemantauan radiasi/radioaktivitas terhadap limbah sebelum dilakukan pengolahan
4. Pengolahan limbah radioaktif
5. Pemantauan radiasi/radioaktivitas terhadap limbah radioaktif sesudah diolah dan sebelum disimpan
6. Penyimpanan sementara dan penyimpanan akhir (penyimpanan limbah lestari)
7. Pemantauan radiasi/radioaktivitas lingkungan secara rutin di tempat penyimpanan limbah.

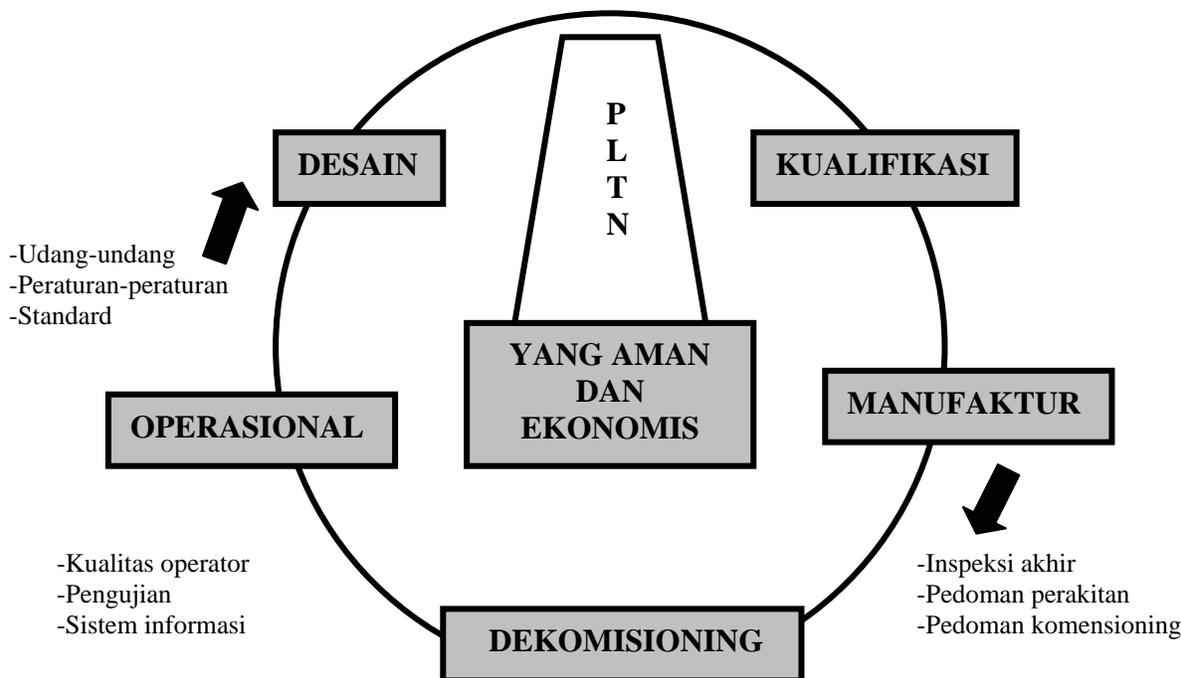
Limbah radioaktif yang telah diolah (dalam bentuk padat) dan dikungkung di dalam drum beton yang kedap air, selanjutnya ditempatkan ke tempat penyimpanan sementara yang aman. Tempat penyimpanan tersebut berupa bangunan yang terhindar dari hujan, banjir, dan mempunyai sistem pengeringan yang baik. Dinding bangunan didesain mampu menahan radiasi dari limbah radioaktif yang terkungkung, misalnya bangunan beton yang tidak tembus radiasi. Dengan demikian limbah radioaktif yang berasal dari hasil samping pengoperasian PLTN dapat diamankan dan dikendalikan serta tidak akan mencemari lingkungan.

Penyimpanan limbah radioaktif jangka panjang atau tak terbatas yang disebut penyimpanan lestari limbah radioaktif perlu didukung program penelitian yang berkaitan dengan analisis dampak lingkungan, agar tidak menimbulkan dampak radiasi terhadap masyarakat dan lingkungan. Lokasi penyimpanan lestari limbah radioaktif biasanya dipilih di tempat yang khusus, misalnya bekas tambang yang tidak aktif lagi dan stabil atau disimpan ke dalam paling laut dalam bentuk terkemas dalam drum beton.

PENINGKATAN SUMBER DAYA MANUSIA

Teknologi PLTN memerlukan tingkat ilmu pengetahuan dan teknologi yang canggih yang kini dikuasai oleh negara-negara maju, seperti Amerika Serikat, Perancis, Inggris, Jerman, Rusia, Kanada, dan Jepang. Masuknya teknologi nuklir merupakan teknologi baru yang dikembangkan secara sungguh-sungguh. Oleh karena itu sumber daya manusia (SDM) Indonesia perlu dipersiapkan dengan baik. Menurut Wardiman Djojonegoro dalam Seminar Sehari Tentang Teknologi Nuklir (Kerjasama PII-BATAN Serpong, 15 Juli 1992) dalam makalahnya yang berjudul *Peran Nuklir dalam Pembangunan Industri Energi Nuklir Indonesia*, mengatakan, bahwa dalam pembangunan PLTN yang ekonomis dan aman diperlukan SDM yang cakap dan trampil untuk melakukan kegiatan mendapatkan PLTN yang aman dan ekonomis, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2 [3]. Guna memenuhi SDM untuk mengelola PLTN, pemerintah telah membangun infrastruktur ilmu pengetahuan dan teknologi yang meliputi laboratorium dan fasilitas uji di kawasan Pusat Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (PUSPIPTEK) di Serpong, Jawa Barat.

Bidang yang berkaitan dengan iptek nuklir telah dipersiapkan oleh BATAN, terdiri atas : Laboratorium instrumentasi dan alat uji material, serta pengembangan teknologi komputasi yang lengkap dan canggih tersedia pada pusat-pusat



Gambar 2. Alur kegiatan untuk memperoleh PLTN yang aman dan ekonomis [3].

pengembangan di PUSPIPITEK, Serpong dan dibantu oleh pusat-pusat pengembangan di luar PUSPIPTEK, yaitu kawasan Pasar Jumat (Jakarta), Bandung, dan Yogyakarta

BAHAN BAKAR NUKLIR

Industri bahan bakar nuklir tidak dapat dipisahkan dengan PLTN. Dengan bertambahnya PLTN yang beroperasi maka industri bahan bakar nuklir juga berkembang. Sebagian dana untuk pembangkit energi listrik perlu dialokasikan untuk pengadaan bahan bakar nuklir. Sejumlah PLTN di dunia saat ini yang banyak beroperasi adalah PLTN jenis air ringan dengan kebutuhan bahan bakar sekitar 150 ton uranium alam per 1.000 MWe tahun, mampu beroperasi untuk kurun waktu sekitar 100 tahun. Dengan deposit uranium yang terjamin PLTN di dunia saat ini diperkirakan mampu beroperasi untuk kurun waktu sekitar 450 tahun.

Cadangan bahan bakar uranium cukup banyak dan harganya murah. Di negara-negara Afrika banyak ditemukan uranium dan

dikomersilkan, karena mereka perlu devisa. Di negara tetangga kita, Australia juga menghasilkan uranium cukup besar, sehingga kemungkinan habisnya bahan bakar uranium nuklir di dunia tak perlu dikhawatirkan

Di Indonsia, uranium sebagian besar terdapat di Kalimantan Barat, tepatnya di Kalan (meliputi luas daerah 20 km²). Taksiran cadangan total dapat mencapai deposit sekitar 10.000 ton U₂O₃, belum lagi ditambah dari daerah-daerah lain di Indonesia, seperti beberapa lokasi di Sumatera Utara dan Papua [8], sementara kebutuhan bahan bakar nuklir untuk PLTN relatif sedikit. Kini eksplorasi dan pengolahan bijih uranium, termasuk produksi elemen bahan bakar nuklir untuk reaktor nuklir telah dipersiapkan oleh BATAN.

DEKOMISIONING

Pada suatu saat yang telah ditentukan PLTN akan habis masa pakainya atau sudah tidak ekonomis lagi ataupun karena alasan-alasan lain karena sudah tidak layak lagi untuk dioperasikan,

maka PLTN tersebut harus dilakukan dekomisioning (*decommissioning*). Tujuan dekomisioning adalah untuk menghilangkan sisa (residu) potensi bahaya radiasi yang masih terdapat pada PLTN, dengan cara membongkar bagian-bagian yang mengandung zat radioaktif (*mothbaling*), yang kemudian dilanjutkan dengan membongkar komponen-komponen lainnya dan bahan-bahan struktur teras reaktor (*entombment*), dan yang terakhir membongkar seluruh bagian/komponen reaktor dan mendekontaminasi gedung reaktor (*dismantling*).

Teknologi dekomisioning telah dikembangkan sejak 30 tahun terakhir dan sampai saat ini telah dilakukan terhadap lebih dari 30 buah reaktor penelitian dan reaktor pembangkit daya. Dekomisioning memerlukan berbagai macam cara dekontaminasi dengan sejumlah besar limbah radioaktif yang harus dikelola. Berdasarkan pengalaman sebelumnya dan berbagai perhitungan, biaya untuk dekomisioning sekitar 20% dari biaya konstruksi. Di Jepang telah dilakukan perhitungan menunjukkan bahwa biaya dekomisioning sekitar 2% dari biaya pembangkitan tiap energi tiap kW jam [8].

PENUTUP

Pemanfaatan teknologi nuklir untuk membangkitkan energi listrik telah dirintis oleh negara-negara maju sejak tahun 1952. Karena kendala politis dan ekonomis cita-cita bangsa Indonesia untuk pembangun PLTN pun menjadi kandas. Seharusnya Indonesia sampai tahun 2015 sudah mempunyai 7 unit PLTN di Jawa dengan daya energi listrik sebesar 27.000 MWe.

Tugas para ahli nuklir perlu memberikan pengetahuan iptek nuklir secara obyektif kepada masyarakat, dengan cara meluruskan pernyataan-pernyataan yang kurang benar tentang manfaat iptek nuklir, misalnya dengan memberikan perbandingan baik kerugian maupun keuntungan antara PLTN dengan pembangkit energi listrik yang lainnya, dan memberikan informasi tentang keselamatan reaktor, dan radiasi serta

pengelolaan limbah radioaktif. hasil samping pengoperasian PLTN. Semua kegiatan manusia mengandung resiko terhadap kehidupan atau kesehatannya, tidak terkecuali kegiatan PLTN. Dengan demikian masyarakat tidak akan takut lagi pada PLTN, apapun resiko yang mungkin ditimbulkan akibat dari pengoperasian PLTN.

Perlu dipertimbangkan bahwa sebelum ditemukan teknologi baru yang mampu menyediakan energi listrik secara besar-besaran dengan aman dan ekonomis, menggunakan PLTN merupakan suatu cara yang paling baik, maka semua usaha dan upaya harus ditempuh untuk meningkatkan keselamatan pengoperasian PLTN dan juga untuk mengatasi masalah penyimpanan serta pembuangan limbah radioaktif dan bahan bakar nuklir yang telah terpakai. Dalam kaitan ini, salah satu langkah yang perlu dirintis adalah kerjasama secara internasional dalam bidang keselamatan nuklir.

Disadari atau tidak dalam setiap terjadinya kecelakaan nuklir termasuk kecelakaan PLTN Unit 4 Chernobyl, unsur manusia pelaksana memegang peranan penting. Oleh karena itu ditekankan pentingnya masalah pendidikan dan latihan bagi tenaga-tenaga pelaksana khususnya PLTN, yang berkaitan dengan pengoperasian PLTN, pengelolaan limbah radioaktif, dan dekomisioning. Dalam masalah tersebut di atas perlu ditekankan perlu desain PLTN yang mampu menampung kesalahan operator, walaupun operator berbuat salah, karena reaktor telah dilengkap dengan sistem pengaman yang canggih, sehingga kesalahan operator tidak menyebabkan terjadinya suatu kecelakaan nuklir. Dengan demikian peran manusia atau kesalahan manusia dapat diantisipasi secara dini.

DAFTAR PUSTAKA

1. DJALI AHIMSA, *Nuklir untuk Kesejahteraan Masyarakat*, Laporan Utama, Majalah Insinyur Indonesia, No 039, Th.Ke XVIII, Des.1995-Jan.1996 Jakarta 1996 : Hal.5-23

2. NEWJEC INC, *Feasibility of the First Nuclear Power Plants at Muria Peninsula Region Central Java*, Rev.3, Osaka Japan, April 1995.
 3. WARDIMAN DOJYONEGORO, *Peran Nuklir dalam Pembangunan Industri Energi Indonesia*, Seminar Sehari Tentang Teknologi Nuklir, Kerjasama PII-BATAN, Serpong 15 Juli 1992
 4. GONZALES and JEANNE ANDERER, *Radiation Versus Radiation : Nuclear Energy in Perspective*, Quarterly Journal of the International Atomic Energy Agency, Vol.31, No.2 1989, Vienna, 1989, pp.24.
 5. AMIRUDIN, A, *Persepsi dan Penerimaan Masyarakat Terhadap Pusat Listrik Tenaga Nuklir*, Jurnal Nuklir Indonesia, Vol. 1, Num. 1, April 1998 : hal. 51-58.
 6. IAEA, *International Datafile*, Quarterly Journal of International Atomic Energy Agency, Vol 43, No. 4, 2001, Vienna, 2001, pp. 58.
 7. UNSCEAR, *Sources of Radiation Exposure*, Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly, Sources and Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2000 Report the General Assembly With Scientific Annexes, Vol. 1, New York, 2000 : pp. 8.
 8. BATAN, *Energi Nuklir dan Kelayakan PLTN*, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta, 1999.
-
-

sambungan hal24

KONTAK PEMERHATI

Jika kesembuhan tidak realistis dengan pengobatan maka dapat dilakukan dengan membatasi pertumbuhan sehingga penyebaran kanker menjadi lebih lambat. Ini dapat membebaskan anda dari gejala untuk beberapa waktu.

Radioterapi dapat juga digunakan untuk menekan gejala. Bahkan jika pasien tidak mungkin sembuh dan kecil kemungkinan untuk sembuh, pemberian radioterapi dapat digunakan untuk memperkecil ukuran kanker. Ini mungkin akan menurunkan gejala seperti pesakitan (pain) atau gejala tekanan dari tumor. Hal ini disebut dengan radioterapi 'palliative'.

Radioterapi dapat diberikan secara eksterna atau interna. Radioterapi eksterna telah banyak dibahas di banyak makalah ilmiah, sedangkan radioterapi interna dapat dilakukan dengan memberi cairan radioaktif yang diminum pasien atau disuntikkan. Contohnya pospor untuk penyakit darah, stronsium untuk kanker tulang dan iodine untuk kondisi keganasan tiroid (bukan kanker) dan kanker tiroid.

redaksi