

PENGENALAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR (PLTN)

Masyarakat pertama kali mengenal tenaga nuklir dalam bentuk bom atom yang dijatuhkan di Hiroshima dan Nagasaki dalam Perang Dunia II tahun 1945. Sedemikian dahsyatnya akibat yang ditimbulkan oleh bom tersebut sehingga pengaruhnya masih dapat dirasakan sampai sekarang.

Di samping sebagai senjata pamungkas yang dahsyat, sejak lama orang telah memikirkan bagaimana cara memanfaatkan tenaga nuklir untuk kesejahteraan umat manusia. Sampai saat ini tenaga nuklir, khususnya zat radioaktif telah dipergunakan secara luas dalam berbagai bidang antara lain bidang industri, kesehatan, pertanian, peternakan, sterilisasi produk farmasi dan alat kedokteran, pengawetan bahan makanan, bidang hidrologi, yang merupakan aplikasi teknik nuklir untuk non energi. Salah satu pemanfaatan teknik nuklir dalam bidang energi saat ini sudah berkembang dan dimanfaatkan secara besar-besaran dalam bentuk Pembangkit Listrik Tenaga nuklir (PLTN), dimana tenaga nuklir digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik yang relatif murah, aman dan tidak mencemari lingkungan.

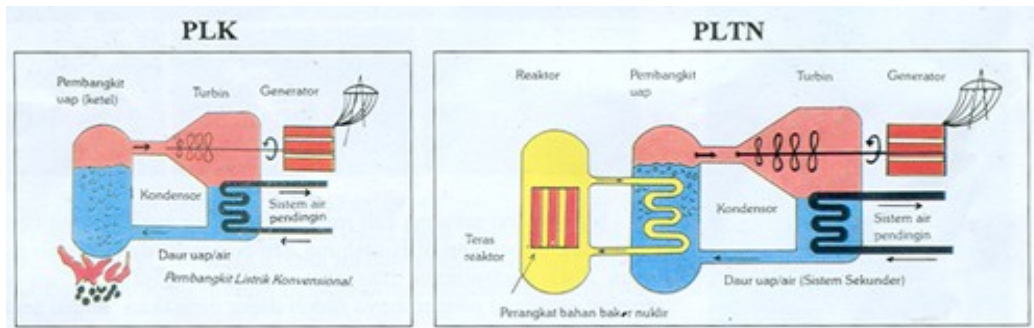
Pemanfaatan tenaga nuklir dalam bentuk PLTN mulai dikembangkan secara komersial sejak tahun 1954. Pada waktu itu di Rusia (USSR), dibangun dan dioperasikan satu unit PLTN air ringan bertekanan tinggi (VVER = PWR) yang setahun kemudian mencapai daya 5 Mwe. Pada tahun 1956 di Inggris dikembangkan PLTN jenis Gas Cooled Reactor (GCR + Reaktor berpendingin gas) dengan daya 100 Mwe.

Pada tahun 1997 di seluruh dunia baik di negara maju maupun negara sedang berkembang telah dioperasikan sebanyak 443 unit PLTN yang tersebar di 31 negara dengan kontribusi sekitar 18 % dari pasokan tenaga listrik dunia dengan total pembangkitan dayanya mencapai 351.000 Mwe dan 36 unit PLTN sedang dalam tahap konstruksi di 18 negara.

Perbedaan Pembangkit Listrik Konvensional (PLK) dengan PLTN

Dalam pembangkit listrik konvensional, air diuapkan di dalam suatu ketel melalui pembakaran bahan fosil (minyak, batubara dan gas). Uap yang dihasilkan dialirkan ke turbin uap yang akan bergerak apabila ada tekanan uap. Perputaran turbin selanjutnya digunakan untuk menggerakkan generator, sehingga akan dihasilkan tenaga listrik.

Pembangkit listrik dengan bahan bakar batubara, minyak dan gas mempunyai potensi yang dapat menimbulkan dampak lingkungan dan masalah transportasi bahan bakar dari tambang menuju lokasi pembangkitan. Dampak lingkungan akibat pembakaran bahan fosil tersebut dapat berupa CO₂ (karbon dioksida), SO₂ (sulfur dioksida) dan NO_x (nitrogen oksida), serta debu yang mengandung logam berat. Kekhawatiran terbesar dalam pembangkit listrik dengan bahan bakar fosil adalah dapat menimbulkan hujan asam dan peningkatan pemanasan global.



PLTN beroperasi dengan prinsip yang sama seperti PLK, hanya panas yang digunakan untuk menghasilkan uap tidak dihasilkan dari pembakaran bahan fosil, tetapi dihasilkan dari reaksi pembelahan inti bahan fisil (uranium) dalam suatu reaktor nuklir. tenaga panas tersebut digunakan untuk membangkitkan uap di dalam sistem pembangkit uap (Steam Generator) dan selanjutnya sama seperti pada PLK, uap digunakan untuk menggerakkan turbin-generator sebagai pembangkit tenaga listrik. Sebagai pemindah panas biasa digunakan air yang disirkulasikan secara terus menerus selama PLTN beroperasi.

Proses pembangkitan listrik ini tidak membebaskan asap atau debu yang mengandung logam berat yang dibuang ke lingkungan atau melepaskan partikel yang berbahaya seperti CO_2 , SO_2 , NO_x ke lingkungan, sehingga PLTN ini merupakan pembangkit listrik yang ramah lingkungan. Limbah radioaktif yang dihasilkan dari pengoperasian PLTN adalah berupa elemen bakar bekas dalam bentuk padat. Elemen bakar bekas ini untuk sementara bisa disimpan di lokasi PLTN sebelum dilakukan penyimpanan secara lestari.

Tentang Fisika Nuklir

Panas yang digunakan untuk membangkitkan uap diproduksi sebagai hasil dari pembelahan inti atom yang dapat diuraikan sebagai berikut :

Apabila satu neutron (dihasilkan dari sumber neutron) tertangkap oleh satu inti atom uranium-235, inti atom ini akan terbelah menjadi 2 atau 3 bagian/fragmen. Sebagian dari energi yang semula mengikat fragmen-fragmen tersebut masing-masing dalam bentuk energi kinetik, sehingga mereka dapat bergerak dengan kecepatan tinggi. Oleh karena fragmen-fragmen itu berada di dalam struktur kristal uranium, mereka tidak dapat bergerak jauh dan gerakannya segera diperlambat.

Dalam proses perlambatan ini energi kinetik diubah menjadi panas (energi termal). Sebagai gambaran dapat dikemukakan bahwa energi termal yang dihasilkan dari reaksi pembelahan 1 kg uranium-235 murni besarnya adalah 17 milyar kilo kalori, atau setara dengan energi termal yang dihasilkan dari pembakaran 2,4 juta kg (2400 ton) batubara.

Selain fragmen-fragmen tersebut reaksi pembelahan menghasilkan pula 2 atau 3 neutron yang dilepaskan dengan kecepatan lebih besar dari 10.000 km per detik. Neutron-neutron ini disebut neutron cepat yang mampu bergerak bebas tanpa

dirintangi oleh atom-atom uranium atau atom-atom kelongsongnya. Agar mudah ditangkap oleh inti atom uranium guna menghasilkan reaksi pembelahan, kecepatan neutron ini harus diperlambat. Zat yang dapat memperlambat kecepatan neutron disebut *moderator*.

Air Sebagai Pemerlambat Neutron (*Moderator*)

Seperti telah disebutkan di atas, panas yang dihasilkan dari reaksi pembelahan, oleh air yang bertekanan 160 atmosfer dan suhu 300 °C secara terus menerus dipompakan ke dalam reaktor melalui saluran pendingin reaktor. Air bersirkulasi dalam saluran pendingin ini tidak hanya berfungsi sebagai pendingin saja melainkan juga bertindak sebagai moderator, yaitu sebagai medium yang dapat memperlambat neutron. Neutron cepat akan kehilangan sebagian energinya selama menumbuk atom-atom hidrogen. Setelah kecepatan neutron turun sampai 2000 m per detik atau sama dengan kecepatan molekul gas pada suhu 300 °C, barulah ia mampu membelah inti atom uranium-235. Neutron yang telah diperlambat disebut neutron termal.

Reaksi Pembelahan Inti Berantai Terkendali

Untuk mendapatkan keluaran termal yang mantap, perlu dijamin agar banyaknya reaksi pembelahan inti yang terjadi dalam teras reaktor dipertahankan pada tingkat tetap, yaitu 2 atau 3 neutron yang dihasilkan dalam reaksi itu hanya satu yang dapat meneruskan reaksi pembelahan.

Neutron lainnya dapat lolos keluar reaktor, atau terserap oleh bahan lainnya tanpa menimbulkan reaksi pembelahan atau diserap oleh batang kendali. Batang kendali dibuat dari bahan-bahan yang dapat menyerap neutron, sehingga jumlah neutron yang menyebabkan reaksi pembelahan dapat dikendalikan dengan mengatur keluar atau masuknya batang kendali ke dalam teras reaktor.

Sehubungan dengan uraian di atas perlu digarisbawahi bahwa :

- a. Reaksi pembelahan berantai hanya dimungkinkan apabila ada moderator.
- b. Kandungan uranium-235 di dalam bahan bakar nuklir maksimum adalah 3,2 %. Kandungan ini kecil sekali dan terdistribusi secara merata dalam isotop uranium-238, sehingga tidak mungkin terjadi reaksi pembelahan berantai secara tidak terkendali di dalamnya.

Radiasi dan Hasil Belahan

Fragmen-fragmen yang diproduksi selama reaksi pembelahan inti disebut hasil belahan, yang kebanyakan berupa atom-atom radioaktif seperti xenon-133, kripton-85 dan iodium-131. Zat radioaktif ini meluruh menjadi atom lain dengan memancarkan radiasi alpha, beta, gamma atau neutron.

Selama proses peluruhan, radiasi yang dipancarkan dapat diserap oleh bahan-bahan lain yang berada di dalam reaktor, sehingga energi yang dilepaskan berubah menjadi panas. Panas ini disebut panas peluruhan yang akan terus diproduksi walaupun reaktor berhenti beroperasi. Oleh karena itu reaktor dilengkapi dengan suatu sistem pembuangan panas

peluruhan. Selain hasil belahan, dalam reaktor dihasilkan pula bahan radioaktif lain sebagai hasil aktivitas neutron. Bahan radioaktif ini terjadi karena bahan-bahan lain yang berada di dalam reaktor (seperti kelongsongan atau bahan struktur) menangkap neutron sehingga berubah menjadi unsur lain yang bersifat radioaktif.

Radioaktif adalah sumber utama timbulnya bahaya dari suatu PLTN, oleh karena itu semua sistem pengamanan PLTN ditujukan untuk mencegah atau menghalangi terlepasnya zat radioaktif ke lingkungan dengan aktivitas yang melampaui nilai batas ambang yang diizinkan menurut peraturan yang berlaku.

Keselamatan Nuklir

Berbagai usaha pengamanan dilakukan untuk melindungi kesehatan dan keselamatan masyarakat, para pekerja reaktor dan lingkungan PLTN. Usaha ini dilakukan untuk menjamin agar radioaktif yang dihasilkan reaktor nuklir tidak terlepas ke lingkungan baik selama operasi maupun jika terjadi kecelakaan.

Tindakan protektif dilakukan untuk menjamin agar PLTN dapat dihentikan dengan aman setiap waktu jika diinginkan dan dapat tetap dipertahankan dalam keadaan aman, yakni memperoleh pendinginan yang cukup. Untyuk ini panas peluruhan yang dihasilkan harus dibuang dari teras reaktor, karena dapat menimbulkan bahaya akibat pemanasan lebih pada reaktor.

Keselamatan terpasang

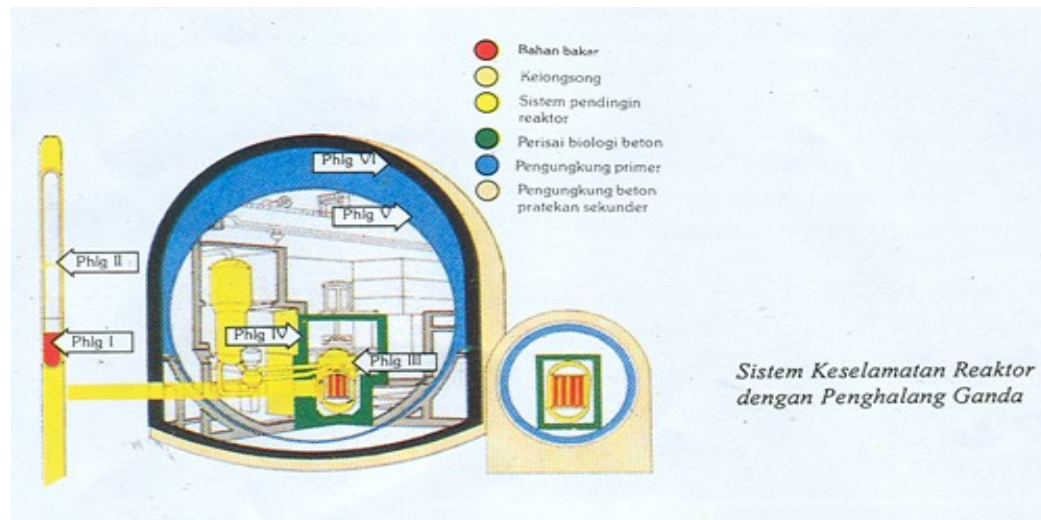
Keselamatan terpasang dirancang berdasarkan sifat-sifat alamiah air dan uranium. Bila suhu dalam teras reaktor naik, jumlah neutron yang tidak tertangkap maupun yang tidak mengalami proses perlambatan akan bertambah, sehingga reaksi pembelahan berkurang. Akibatnya panas yang dihasilkan juga berkurang. Sifat ini akan menjamin bahwa teras reaktor tidak akan rusak walaupun sistem kendali gagal beroperasi.

Penghalang Ganda

PLTN mempunyai sistem pengaman yang ketat dan berlapis-lapis, sehingga kemungkinan terjadi kecelakaan maupun akibat yang ditimbulkannya sangat kecil. Sebagai contoh, zat radioaktif yang dihasilkan selama reaksi pembelahan inti uranium sebagian besar (> 99%) akan tetap tersimpan di dalam matriks bahan bakar, yang berfungsi sebagai penghalang pertama.

Selama operasi maupun jika terjadi kecelakaan, kelongsongan bahan bakar akan berperan sebagai penghalang kedua untuk mencegah terlepasnya zat radioaktif tersebut keluar kelongsongan. Dalam hal zat radioaktif masih dapat keluar dari dalam kelongsongan, masih ada penghalang ketiga yaitu sistem pendingin. Lepas dari sistem pendingin, masih ada penghalang keempat berupa bejana tekan dibuat dari baja dengan tebal ± 20 cm. Penghalang kelima adalah perisai beton dengan tebal 1,5-2 m. Bila zat radioaktif itu masih ada yang lolos dari perisai beton, masih ada penghalang keenam, yaitu sistem pengungkung yang terdiri dari pelat baja setebal ± 7 cm dan beton setebal 1,5-2 m yang kedap udara.

Jadi selama operasi atau jika terjadi kecelakaan, zat radioaktif benar-benar tersimpan dalam reaktor dan tidak dilepaskan ke lingkungan. Kalaupun masih ada zat radioaktif yang terlepas jumlahnya sudah sangat diperkecil sehingga dampaknya terhadap lingkungan tidak berarti.



Gb. Sistem Keselamatan Reaktor dengan Penghalang Ganda

Pertahanan Berlapis

Disain keselamatan suatu PLTN menganut falsafah pertahanan berlapis (*defence in depth*). Pertahanan berlapis ini meliputi : lapisan keselamatan pertama, PLTN dirancang, dibangun dan dioperasikan sesuai dengan ketentuan yang sangat ketat, mutu yang tinggi dan teknologi mutakhir; lapisan keselamatan kedua, PLTN dilengkapi dengan sistem pengaman/keselamatan yang digunakan untuk mencegah dan mengatasi akibat-akibat dari kecelakaan yang mungkin dapat terjadi selama umur PLTN dan lapisan keselamatan ketiga, PLTN dilengkapi dengan sistem pengamanan tambahan, yang dapat diperkirakan dapat terjadi pada suatu PLTN. Namun demikian kecelakaan tersebut kemungkinan terjadinya sedemikian sehingga tidak akan pernah terjadi selama umur operasi PLTN.

Limbah Radioaktif

Selama operasi PLTN, pencemaran yang disebabkan oleh zat radioaktif terhadap lingkungan dapat dikatakan tidak ada. Air laut atau sungai yang dipergunakan untuk membawa panas dari kondensator sama sekali tidak mengandung zat radioaktif, karena tidak bercampur dengan air pendingin yang bersirkulasi di dalam reaktor.

Gas radioaktif yang dapat keluar dari sistem reaktor tetap terkungkung di dalam sistem pengungkung PLTN dan sudah melalui sistem ventilasi dengan filter yang berlapis-lapis. Gas yang dilepas melalui cerobong aktivitasnya sangat kecil (sekitar 2 milicurie/tahun), sehingga tidak menimbulkan dampak terhadap lingkungan.

Pada PLTN sebagian besar limbah yang dihasilkan adalah limbah aktivitas rendah (70 – 80 %). Sedangkan limbah aktivitas tinggi dihasilkan pada proses daur ulang elemen bakar nuklir bekas, sehingga apabila elemen bakar bekasnya tidak didaur ulang, limbah aktivitas tinggi ini jumlahnya sangat sedikit.

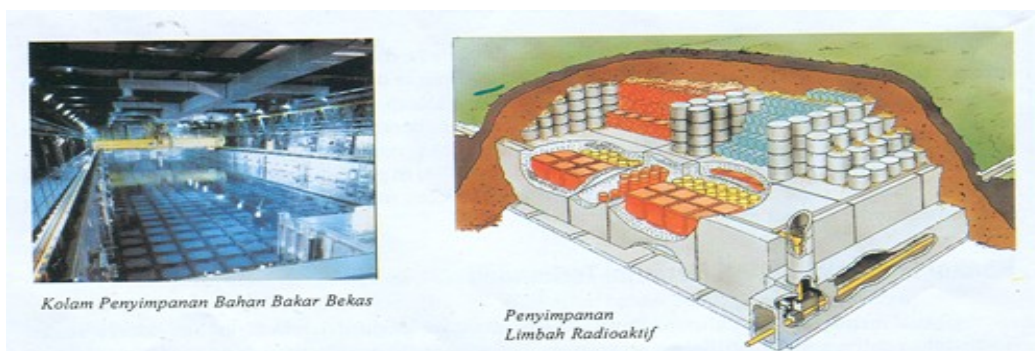
Penangan limbah radioaktif aktivitas rendah, sedang maupun aktivitas tinggi pada umumnya mengikuti tiga prinsip, yaitu :

- Memperkecil volumenya dengan cara evaporasi, insenerasi, kompaksi/ditekan.
- Mengolah menjadi bentuk stabil (baik fisik maupun kimia) untuk memudahkan dalam transportasi dan penyimpanan.
- menyimpan limbah yang telah diolah, di tempat yang terisolasi.

Pengolahan limbah cair dengan cara evaporasi/pemanasan untuk memperkecil volume, kemudian dipadatkan dengan semen (sementasi) atau dengan gelas masif (vitrifikasi) di dalam wadah yang kedap air, tahan banting, misalnya terbuat dari beton bertulang atau dari baja tahan karat.

Pengolahan limbah padat adalah dengan cara diperkecil volumenya melalui proses insenerasi/pembakaran, selanjutnya abunya disementasi. Sedangkan limbah yang tidak dapat dibakar diperkecil volumenya dengan kompaksi/penekanan dan dipadatkan di dalam drum/beton dengan semen. Sedangkan limbah padat yang tidak dapat dibakar atau tidak dapat dikompaksi, harus dipotong-potong dan dimasukkan dalam beton kemudian dipadatkan dengan semen atau gelas masif.

Selanjutnya limbah radioaktif yang telah diolah disimpan secara sementara (10-50 tahun) di gudang penyimpanan limbah yang kedap air sebelum disimpan secara lestari. Tempat penyimpanan limbah lestari dipilih di tempat/lokasi khusus, dengan kondisi geologi yang stabil dan secara ekonomi tidak bermanfaat.



Pusat Diseminasi Iptek Nuklir

Gedung Perasten : Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Pasar Jum'at, Jakarta 12440

Kotak Pos : 4390, Jakarta 12043, Indonesia, telp : (021) 7659401, 7659402

Fax (021) 75913833, Email : pdin@batan.go.id, inonuk@jkt.bozz.com

www.batan.go.id, www.inonuklir.com