

Definisi PLTN

PLTN adalah sebuah pembangkit daya thermal yang menggunakan satu atau beberapa reaktor nuklir sebagai sumber panasnya. Prinsip kerja sebuah PLTN hampir sama dengan sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Uap, menggunakan uap bertekanan tinggi untuk memutar turbin. Putaran turbin inilah yang diubah menjadi energi listrik. Perbedaannya ialah sumber panas yang digunakan untuk menghasilkan panas. Sebuah PLTN menggunakan Uranium sebagai sumber panasnya. Reaksi pembelahan (fisi) inti Uranium menghasilkan energi panas yang sangat besar.

Tenaga nuklir pertama kali dikenal ketika perang dunia II pada tahun 1945. Setelah itu tenaga nuklir dikembangkan dan dimanfaatkan secara besar-besaran dalam bentuk Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir untuk membangkitkan tenaga listrik yang relatif murah, aman dan tidak mencemari lingkungan.

Daya sebuah PLTN berkisar antara 40 MWe sampai mencapai 2000 MWe, dan untuk PLTN yang dibangun pada tahun 2005 mempunyai sebaran daya dari 600 MWe sampai 1200 MWe. Sampai tahun 2006 terdapat 443 PLTN yang beroperasi di dunia, yang secara keseluruhan menghasilkan daya sekitar 1/6 dari energi listrik dunia.

Komponen PLTN

Berikut ini merupakan komponen-komponen reaktor nuklir, yaitu:

1. Tangki Reaktor

Tangki ini berupa tabung (silinder) atau bola yang dibuat dari logam campuran dengan ketebalan sekitar 25 cm. Fungsi dari tangki adalah sebagai wadah untuk menempatkan komponen-komponen reaktor lainnya dan sebagai tempat berlangsungnya reaksi nuklir. Tangki yang berdinding tebal ini juga berfungsi sebagai penahan radiasi agar tidak keluar dari sistem reaktor.

2. Teras Reaktor

Komponen ini berfungsi sebagai tempat bahan bakar, teras reaktor dibuat berlubang untuk menempatkan bahan bakar reaktor yang berbentuk batang. Reaktor dibuat dari logam yang tahan panas dan tahan korosi.

3. Bahan Bakar Nuklir

Bahan bakar merupakan komponen utama yang memegang peranan penting untuk berlangsungnya reaksi nuklir. Bahan bakar dibuat dari isotop alam seperti uranium, thorium yang mempunyai sifat dapat membelah apabila bereaksi dengan neutron.

4. Bahan Pendingin

Bahan pendingin digunakan untuk mencegah agar tidak terjadi akumulasi panas yang berlebihan pada teras reaktor, maka dapat dipergunakan bahan pendingin untuk pertukaran panasnya. Bahan pendingin ini bisa berupa air atau gas.

5. Elemen Kendali

Reaksi nuklir bisa tidak terkendali apabila partikel-partikel neutron yang dihasilkan dari reaksi sebelumnya sebagian tidak ditangkap atau diserap, untuk mengendalikan reaksi ini reaktor dilengkapi dengan elemen kendali yang dibuat dari bahan yang dapat menangkap atau menyerap neutron. Elemen kendali juga berfungsi untuk menghentikan operasi reaktor sewaktu-waktu apabila terjadi kecelakaan.

6. Moderator

Fungsi dari moderator adalah untuk memperlambat laju neutron cepat yang dihasilkan dari reaksi inti hingga mencapai kecepatan neutron thermal untuk memperbesar kemungkinan terjadinya reaksi nuklir selanjutnya. Bahan yang digunakan untuk moderator adalah air atau grafit.

Prinsip Operasi PLTN

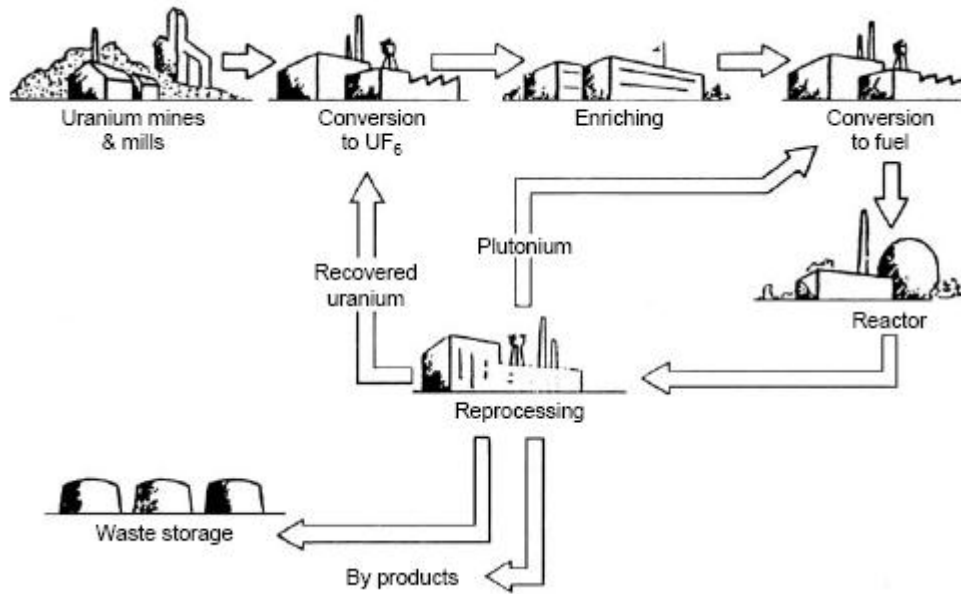
Proses kerja PLTN sebenarnya hampir sama dengan proses kerja pembangkit listrik konvensional seperti pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), yang umumnya sudah dikenal secara luas. Yang membedakan antara dua jenis pembangkit listrik itu adalah sumber panas yang digunakan. PLTU mendapatkan suplai panas dari pembakaran bahan bakar fosil seperti batubara atau minyak bumi. Sedangkan PLTN mendapatkan suplai panas dari dihasilkan dari reaksi

pembelahan inti bahan fisil (uranium) dalam suatu reaktor nuklir reaksi nuklir, tetapi 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 CO₂, SO₂, 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.

Reaktor daya dirancang untuk memproduksi energi listrik melalui PLTN. Reaktor daya hanya memanfaatkan energi panas yang timbul dari reaksi fisi, sedang kelebihan neutron dalam teras reaktor akan dibuang atau diserap menggunakan batang kendali. Karena memanfaatkan panas hasil fisi, maka reaktor daya dirancang berdaya thermal tinggi dari orde ratusan hingga ribuan MW. Proses pemanfaatan panas hasil fisi untuk menghasilkan energi listrik di dalam PLTN adalah sebagai berikut :

- Bahan bakar nuklir melakukan reaksi fisi sehingga dilepaskan energi dalam bentuk panas yang sangat besar.
- Panas hasil reaksi nuklir tersebut dimanfaatkan untuk menguapkan air pendingin, bisa pendingin primer maupun sekunder bergantung pada tipe reaktor nuklir yang digunakan.
- Uap air yang dihasilkan dipakai untuk memutar turbin sehingga dihasilkan energi gerak (kinetik).
- Energi kinetik dari turbin ini selanjutnya dipakai untuk memutar generator sehingga dihasilkan arus listrik.



Siklus Pemrosesan Bahan Bakar Nuklir

Klasifikasi PLTN

Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir adalah sebuah pembangkit daya thermal yang menggunakan satu atau beberapa reaktor nuklir sebagai sumber panasnya. PLTN dikelompokkan berdasarkan jenis reaktor yang digunakan. Tetapi ada juga PLTN yang menerapkan unit-unit independen, dan hal ini bisa menggunakan jenis reaktor yang berbeda. Reaktor nuklir adalah suatu alat untuk mengendalikan reaksi fisi berantai dan sekaligus menjaga kesinambungan reaksi itu. Reaktor nuklir ditetapkan sebagai "alat yang menggunakan materi nuklir sebagai bahan bakarnya Materi fisi yang digunakan sebagai bahan bakar misalnya uranium, plutonium dan lain-lain. Untuk uranium digunakan uranium alam atau uranium diperkaya. Jadi secara umum reaktor nuklir adalah tempat berlangsungnya reaksi nuklir yang terkendali. Untuk mengendalikan operasi dan menghentikannya digunakan bahan penyerap neutron yang disebut batang kendali. Jenis reaktor nuklir dibedakan berdasarkan besarnya energi kinetik neutron yang merupakan faktor utama dalam reaksi fisi berantai, yaitu reaktor neutron panas, reaktor neutron cepat dan lain-lain. Berdasarkan jenis materi yang digunakan sebagai moderator dan pendingin, reaktor diklasifikasikan menjadi reaktor air ringan, reaktor air berat, reaktor grafit dan lain-lain.

Berdasarkan tujuannya, diklasifikasikan menjadi reaktor riset, reaktor uji material, reaktor daya dan lain-lain.

Berikut adalah klasifikasi reaktor yang dibedakan berdasarkan kegunaan, tenaga neutron dan nama komponen serta parameter operasinya:

1. Menurut kegunaannya reaktor dibedakan menjadi:
 - Reaktor daya
 - Reaktor riset termasuk uji material dan latihan
 - Reaktor produksi isotop yang kadang-kadang digolongkan juga kedalam reaktor riset

2. Ditinjau dari tenaga neutron yang melangsungkan reaksi pembelahan, reaktor dibedakan menjadi:
 - Reaktor cepat: GCFBR, LMFBR, SCFBR
 - Reaktor thermal: PWR, BWR, PHWR, GCR.

3. Berdasarkan parameter dibedakan menjadi:
 - Reaktor berreflektor grafit: GCR, AGCR
 - Reaktor berpendingin air ringan: PWR, BWR
 - Reaktor suhu tinggi: HTGR

Jenis-jenis Reaktor PLTN

Teknologi PLTN dirancang agar energi nuklir yang terlepas dari proses fisi dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi dalam kehidupan sehari-hari. PLTN merupakan sebuah sistem yang dalam operasinya menggunakan reaktor daya yang berperan sebagai tungku penghasil panas. Dewasa ini ada berbagai jenis PLTN yang beroperasi. Perbedaan tersebut ditandai dengan perbedaan tipe reaktor daya yang digunakannya. Masing-masing jenis PLTN/tipe reaktor daya umumnya dikembangkan oleh negara-negara tertentu, sehingga seringkali suatu jenis PLTN sangat menonjol dalam suatu negara, tetapi tidak dioperasikan oleh negara lain. Perbedaan berbagai tipe reaktor daya itu bisa terletak pada penggunaan bahan bakar, moderator, jenis pendingin serta perbedaan-perbedaan lainnya.

Berikut adalah beberapa reaktor nuklir yang digunakan di beberapa Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir di dunia:

1. Pressurized Water Reactor (PWR)

PWR adalah jenis reaktor daya nuklir yang menggunakan air ringan biasa sebagai pendingin maupun moderator neutron. Reaktor ini pertama sekali dirancang oleh Westinghouse Bettis Atomic Power Laboratory untuk kepentingan kapal perang, tetapi kemudian rancangan ini dijadikan komersial oleh Westinghouse Nuclear Power Division. Reaktor PWR komersial pertama dibangun di Shippingport, Amerika Serikat yang beroperasi sampai tahun 1982.

Selain Westinghouse, banyak perusahaan lain seperti Asea Brown Boveri-Combustion Engineering (ABB-CE), Framatome, Kraftwerk Union, Siemens, and Mitsubishi yang mengembangkan dan membangun reaktor PWR ini. Reaktor jenis ini merupakan jenis reaktor yang paling umum. Lebih dari 230 buah reaktor digunakan untuk menghasilkan listrik, dan beberapa ratus lainnya digunakan sebagai tenaga penggerak kapal.

Pada reaktor jenis PWR, aliran pendingin utama yang berada di teras reaktor bersuhu mencapai 325oC sehingga perlu diberi tekanan tertentu (sekitar 155 atm) oleh perangkat pressurizer sehingga air tidak dapat mendidih. Pemindah panas, generator uap, digunakan untuk memindahkan panas ke aliran pendingin sekunder yang kemudian mendidih menjadi uap air dan menggerakkan turbin untuk menghasilkan listrik. Uap kemudian diembunkan di dalam kondenser menjadi aliran pendingin sekunder. Aliran ini kembali memasuki generator uap dan menjadi uap kembali, memasuki turbin, dan demikian seterusnya.

2. Boiling Water Reactor (BWR)

Reaktor jenis BWR merupakan rancangan reaktor jenis air ringan sebagai pendingin dan moderator, yang juga digunakan di beberapa Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir. Reaktor BWR pertama sekali dirancang oleh Allis-Chambers dan General Electric (GE). Sampai saat ini, hanya rancangan General Electric yang masih bertahan. Reaktor BWR rancangan General Electric dibangun di Humboldt Bay di California. Perusahaan lain yang mengembangkan dan membangun reaktor BWR ini adalah ASEA-Atom, Kraftwerk Union, Hitachi. Reaktor ini mempunyai banyak persamaan dengan reaktor PWR; perbedaan yang paling kentara ialah pada reaktor BWR, uap yang digunakan untuk memutar turbin dihasilkan langsung oleh teras reaktor.

Pada reaktor BWR hanya terdapat satu sirkuit aliran pendingin yang bertekanan rendah (sekitar 75 atm) sehingga aliran pendingin tersebut dapat mendidih di dalam teras mencapai suhu 285oC. Uap yang dihasilkan tersebut mengalir menuju perangkat pemisah dan pengering uap

yang terletak di atas teras kemudian menuju turbin. Karena air yang berada di sekitar teras selalu mengalami kontaminasi oleh peluruhan radionuklida, maka turbin harus diberi perisai dan perlindungan radiasi sewaktu masa pemeliharaan. Kebanyakan zat radioaktif yang terdapat pada air tersebut beumur paro sangat singkat, misalnya N-16 dengan umur paro 7 detik sehingga ruang turbin dapat dimasuki sesaat setelah reaktor dipadamkan. Uap tersebut kemudian memasuki turbin-generator. Setelah turbin digerakkan, uap diembunkan di kondenser menjadi aliran pendingin, kemudian dipompa ke reaktor dan memulai siklus kembali seperti di atas.

3. Reaktor Air Didih Lanjut (Advanced Boiling Water Reactor, ABWR)

ABWR adalah reaktor air didih lanjut, yaitu tipe modifikasi dari reaktor air didih yang ada pada saat ini. Perbaikan ditekankan pada keandalan, keselamatan, limbah yang rendah, kemudahan operasi dan faktor ekonomi. Perlengkapan khas ABWR yang mengalami perbaikan desain adalah (1) pompa internal, (2) penggerak batang kendali, (3) alat pengatur aliran uap, (4) sistem pendinginan teras darurat, (5) sungkup reaktor dari beton pra-tekan, (6) turbin, (7) alat pemanas untuk pemisah uap (penurun kelembaban), (8) sistem kendali digital dan lain-lain.

4. Reaktor CANDU

Reaktor CANDU atau CANada Deuterium Uranium adalah jenis reaktor air berat bertekanan yang menggunakan Uranium alam oksida sebagai bahan bakar. Reaktor ini dirancang oleh Atomic Energy Canada Limited (AECL) semenjak tahun 1950 di Kanada. Karena menggunakan bahan bakar Uranium alam, maka reaktor ini membutuhkan moderator yang lebih efisien seperti air berat.

Moderator reaktor CANDU terletak pada tangki besar yang disebut calandria, yang disusun oleh tabung-tabung bertekanan horisontal yang digunakan sebagai tempat bahan bakar, didinginkan oleh aliran air berat bertekanan tinggi yang mengalir melewati tangki calandria ini sampai mencapai suhu 290oC. Sama seperti Reaktor PWR, uap dihasilkan oleh aliran pendingin sekunder yang mendapat panas dari aliran pendingin utama. Dengan digunakannya tabung-tabung bertekanan sebagai tempat bahan bakar, memungkinkan untuk mengisi bahan bakar tanpa memadamkan reaktor dengan memisahkan tabung bahan bakar yang akan diisi dari aliran pendingin.

5. Reaktor Tabung Tekan

Reaktor tabung tekan merupakan reaktor yang terasnya tersusun atas pendingin air ringan (ada juga air berat) dan moderator air berat atau pendingin air ringan dan moderator grafit dalam pipa kalandria. Bahan pendingin dan bahan moderator dipisahkan oleh pipa tekan, sehingga bahan pendingin dan bahan moderator dapat dipilih secara terpisah. Pada kenyataannya terdapat variasi gabungan misalnya pendingin air ringan moderator air berat (Steam-Generating Heavy Water Reactor, SGHWR), pendingin air berat moderator air berat (Canadian Deuterium Uranium, CANDU), pendingin air ringan moderator grafit (Channel Type Graphite-moderated Water-cooled Reactor, RBMK). Teras reaktor terdiri dari banyak kanal bahan bakar dan dideretkan berbentuk kisi kubus di dalam tangki kalandria, bahan pendingin mengalir masing-masing di dalam pipa tekan, energi panas yang timbul pada kanal bahan bakar diubah menjadi energi penggerak turbin dan digunakan pada pembangkit listrik. Disebut juga reaktor nuklir tipe kanal.

6. Pebble Bed Modular Reactor (PBMR)

Reaktor PBMR menawarkan tingkat keamanan yang baik. Proyek PBMR masa kini merupakan lanjutan dari usaha masa lalu dan dipiloti oleh konglomerat internasional USA berbasis Exelon Corporation (Commonwealth Edison PECO Energy), British Nuclear Fuels Limited dan South African based ESKOM sebagai perusahaan reaktor. PBMR menggunakan helium sebagai pendingin reaktor, berbahan bakar partikel uranium dioksida yang diperkaya, yang dilapisi dengan Silikon Karbida berdiameter kurang dari 1mm, dirangkai dalam matriks grafit. Bahan bakar ini terbukti tahan hingga suhu 1600 derajat C dan tidak akan meleleh di bawah 3500 derajat C. Bahan bakar dalam bola grafit akan bersirkulasi melalui inti reaktor karena itu disebut sistem pebble-bed.

7. Reaktor Magnox

Reaktor Magnox merupakan reaktor tipe lama dengan siklus bahan bakar yang sangat singkat (tidak ekonomis), dan dapat menghasilkan plutonium untuk senjata nuklir. Reaktor ini dikembangkan pertama sekali di Inggris dan di Inggris terdapat 11 PLTN dengan menggunakan 26 buah reaktor Magnox ini. Sampai tahun 2005 ini, hanya tinggal 4 buah reaktor Magnox yang beroperasi di Inggris dan akan didekomisioning pada tahun 2010.

Reaktor Magnox menggunakan CO₂ bertekanan sebagai pendingin, grafit sebagai moderator dan bahan bakar Uranium alam dengan logam Magnox sebagai pengungkung bahan bakarnya. Magnox merupakan nama dari logam campuran yaitu dengan logam utama Magnesium dengan sedikit Aluminium dan logam lainnya, yang digunakan sebagai pengungkung bahan bakar logam Uranium alam dengan penutup yang tidak mudah teroksidasi untuk menampung hasil fisi.

8. Advanced Gas-cooled Reactor (AGR)

Advanced Gas-Cooled Reactor (AGR) merupakan reaktor generasi kedua dari reaktor berpendingin gas yang dikembangkan Inggris. AGR merupakan pengembangan dari reaktor Magnox. Reaktor ini menggunakan grafit sebagai moderator neutron, CO₂ sebagai pendingin dan bahan bakarnya adalah pelet Uranium oksida yang diperkaya 2,5%-3,5% yang dikungkung di dalam tabung stainless steel. Gas CO₂ yang mengalir di teras mencapai suhu 650°C dan kemudian memasuki tabung generator uap. Kemudian uap yang memasuki turbin akan diambil panasnya untuk menggerakkan turbin. Gas telah kehilangan panas masuk kembali ke teras.

9. Russian Reaktor Bolshoi Moshchnosty

RBMK merupakan singkatan dari Russian Reaktor Bolshoi Moshchnosty Kanalny yang berarti reaktor Rusia dengan saluran daya yang besar. Pada tahun 2004 masih terdapat beberapa reaktor RBMK yang masih beroperasi, namun tidak ada rencana untuk membangun reaktor jenis ini lagi. Keunikan reaktor RBMK terdapat pada moderator grafitnya yang dilengkapi dengan tabung untuk bahan bakar dan tabung untuk aliran pendingin.

Pada rancangan reaktor RBMK, terjadi pendidihan aliran pendingin di teras samapi mencapai suhu 290°C. Uap yang dihasilkan kemudian masuk ke perangkat pemisah uap yang memisahkan air dari uap. Uap yang telah dipisahkan kemudian mengalir menuju turbin, seperti pada rancangan reaktor BWR. Masalah yang dihadapi pada BWR yaitu uap yang dihasilkan bersifat radioaktif juga terjadi pada reaktor ini. Namun, dengan adanya pemisahan uap, maka terdapat waktu jeda yang menurunkan radiasi di sekitar turbin. Dengan menggunakan moderasi neutron yang sangat bergantung pada grafit, apabila terjadi pendidihan yang berlebihan, maka aliran pendingin akan berkurang sehingga penyerapan neutron juga berkurang, tetapi reaksi fisi akan semakin cepat sehingga dapat menimbulkan kecelakaan.

DAFTAR PUSTAKA

Batan .2003. *Mengenal Reaktor Nuklir dan Manfaatnya*. Jakarta : Batan