

EVALUASI DESAIN TERAS REAKTOR DAYA TIPE PWR PERTAMA INDONESIA

Endiah Puji Hastuti

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir-BATAN
Gedung 80 Kawasan PUSPIPTEK, Serpong-Tangerang 15310
endiah@batan.go.id

ABSTRAK

EVALUASI DESAIN TERAS REAKTOR DAYA TIPE PWR PERTAMA INDONESIA. Rencana pembangunan reaktor PLTN pertama di Indonesia telah dituangkan dalam Sistem Energi Nasional (SEN) dan direncanakan dalam roadmap PLTN. Salah satu langkah yang telah dilakukan adalah penyusunan dokumen pengguna (URD=user requirement document). Reaktor yang akan dipilih adalah reaktor yang telah proven atau telah dioperasikan. Mengingat bahwa desain reaktor bervariasi, maka perlu dikaji dasar pemilihan desain, dalam kajian ini dibatasi pada desain teras reaktor saja. Kajian ini bertujuan untuk menjelaskan aspek teknis desain teras PWR kelas 1000MWe. Metodologi yang digunakan adalah kajian melalui penelusuran persyaratan desain teras reaktor daya dari Badan tenaga atom internasional (IAEA=International Atomic Energy Agency), dan badan regulasi dalam hal ini adalah BAPETEN serta dari berbagai sumber hasil kerjasama BATAN. Pemilihan desain teras reaktor harus berdasarkan pada filosofi desain yang mengacu pada desain yang sederhana, margin keselamatan yang tinggi dan bukan merupakan reaktor yang sedang diuji. Peningkatan desain keselamatan reaktor dari konsep sistem keselamatan yang sederhana dengan konsep sistem aktif yang dikembangkan pada PWR yang telah proven menjadi sistem keselamatan pasif, mempunyai nilai tambah pada desain keselamatan. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa rentang daya reaktor kelas 1000MWe yang didesain oleh berbagai vendor, sangat bervariasi antara 900 MWe hingga 1100MWe. Mengacu pada definisi proven yang terdapat pada peraturan BAPETEN, tidak tertutup kemungkinan pemilihan reaktor daya maju di masa depan.

Kata kunci: desain teras reaktor daya, PWR kelas 1000MWe, PLTN I Indonesia

ABSTRACT

EVALUATION OF THE FIRST INDONESIAN NUCLEAR POWER PLANT CORE OF PWR TYPE. Development planning for the first Nuclear Power Plant in Indonesia has been appeared on Nasional Energy system (SEN=Sistem Energi Nasional) and also on NPP roadmap. One of this step is arranging of user requirement document (URD). Regarding to those document the reactor will be selected for the first NPP should be has the proven technology or has been operated. Concerning to the variatif desain of Nuclear power plant by difference vendor, it is necessary to study about basic design of NPP, especially for reactor core design. Purpose of this assessment are to explain the technical aspect of core design for PWR 1000MWe class. Methodology used in this evaluation base on IAEA safety standard, BAPETEN regulation and BATAN cooperations. The selection of reactor core design should be base on design phylosophy that refer to simplicity, the high safety margin and also proven technology. The advantage of safety design from conventional reactor to passive system reactor will increase the safety design. The evaluation results show there is variations reactor power for 1000MWe class from 900MWe till 1100MWe was design by many reactor vendors. Regarding to the proven definition by BAPETEN, there is possibility to select the advanced PWR in the future.

Key words: NPP reactor core design, PWR 1000MWe class, first Indonesia NPP

PENDAHULUAN

Rencana pembangunan reaktor PLTN

pertama di Indonesia telah dituangkan dalam Sistem Energi Nasional (SEN)^[1] dan direncanakan dalam roadmap PLTN. Salah satu langkah yang

telah dilakukan adalah penyusunan dokumen pengguna (*UCD = User Common Document*) dan dokumen persyaratan pengguna (*URD=user requirement document*)^[2]. Dokumen persyaratan pengguna berisi kebijakan yang diambil dalam memilih tipe reaktor daya yang akan dibangun sebagai PLTN pertama di Indonesia. Reaktor pembangkit daya pertama yang akan dipilih adalah reaktor yang telah proven atau telah mempunyai pengalaman operasi. Mengingat bahwa setiap vendor memiliki desain reaktor yang berbeda, maka perlu dikaji dasar pemilihan desain, dalam kajian ini dibatasi pada desain teras reaktor saja.

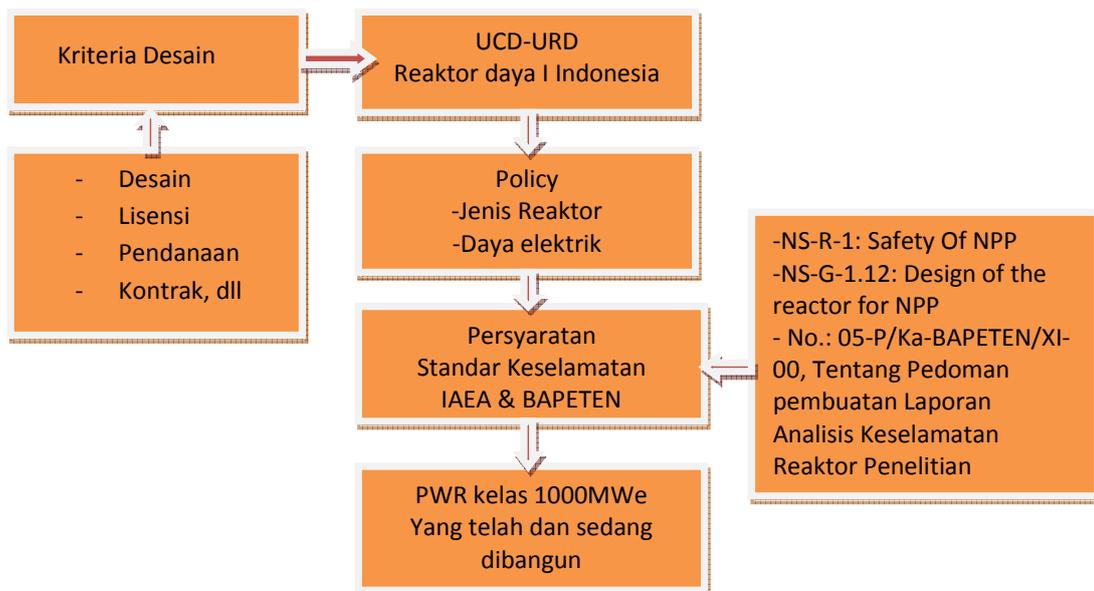
Reaktor merupakan tempat berlangsungnya reaksi fisi yang merupakan sumber penghasil panas yang sangat besar pada reaktor pembangkit energi. Berbeda dengan pembangkit daya yang berbahan bakar fosil, reaktor PLTN selain

Metodologi yang digunakan adalah kajian melalui penelusuran persyaratan desain teras reaktor daya dari Badan tenaga atom internasional (*IAEA=International Atomic Energy Agency*), dan

membangkitkan panas juga menyebabkan paparan radiasi yang sekecil mungkin boleh diterima oleh pekerja radiasi maupun masyarakat sekitar, oleh karena itu persyaratan yang diterapkan pada desain reaktor sangat ketat. Selain itu terdapat berbagai jenis reaktor PLTN dengan berbagai tingkat daya dan fitur keselamatan yang selalu dikembangkan oleh berbagai vendor, untuk memilih jenis reaktor pertama di Indonesia tentu harus dilakukan dengan hati hati berdasarkan berbagai kriteria yang telah ditetapkan (Gambar 1).

Kajian ini bertujuan untuk menjelaskan aspek teknis desain teras PWR kelas 1000MWe. Diharapkan kajian desain teras reaktor daya dan perkembangannya memberikan pemahaman yang komprehensif bagi pengambil keputusan, sebagai pertimbangan pemilihan desain teras reaktor daya.

badan regulasi dalam hal ini adalah BAPETEN serta dari EPRI (*Electrical power research Institute*).



Gambar 1. Metodologi Kajian

Perkembangan desain teras reaktor daya dari berbagai vendor dengan berbagai variasi daya, juga merupakan aspek yang perlu dikaji. Pemilihan desain teras reaktor harus berdasarkan pada filosofi desain yang mengacu pada desain yang sederhana, margin keselamatan yang tinggi dan bukan merupakan reaktor yang sedang diuji. Peningkatan desain keselamatan reaktor dari konsep sistem keselamatan yang sederhana dengan konsep sistem aktif yang dikembangkan pada PWR yang telah beroperasi menjadi sistem keselamatan pasif, mempunyai nilai tambah pada desain keselamatan.

DESKRIPSI PERSYARATAN DESAIN TERAS REAKTOR

Kriteria Desain

Sebelum menentukan desain teras reaktor daya pertama, terdapat beberapa pertanyaan terkait desain, lisensi serta pendanaan dan kontrak di bawah ini^[3].

Parameter terkait desain PLTN dan kinerja teknis.

1. Berapa standard daya yang direncanakan?
2. Fitur keselamatan yang dipilih, dari aspek keselamatan, ekonomi, lingkungan,

limbah, infrastruktur dan ketersediaan di Indonesia?

3. Bagaimana keterkaitan desain dengan dokumen perbandingan seperti URD atau EUR?
4. Apakah tujuan utama desain yang diharapkan?
5. Bagaimana dengan pengalaman desain dan validasi yang dimiliki terkait desain yang diusulkan dan desain yang serupa?

Pertanyaan terkait keselamatan dan lisensi PLTN

1. Apakah desain telah memenuhi persyaratan badan pengawas?
2. Apakah desain yang diajukan telah memenuhi standard keselamatan IAEA?
3. Apakah desain telah mendapatkan lisensi?
4. Apakah kejadian eksternal telah diperhitungkan dalam desain?
5. Apakah desain fitur keselamatan telah meminimalkan kecelakaan hipotetis terparah?
6. Bagaimana pengaturan pasokan bahan bakar?
7. Apakah ada rencana pengambilan kembali uranium dari bahan bakar bekas?

Pertanyaan terkait dengan pendanaan dan kontrak

1. Bagaimana tipe pendanaan yang akan dipilih?
2. Bagaimana kontrak pengiriman yang akan dipilih?
3. Apakah ada kebijakan kerjasama dengan partisipasi nasional atau transfer teknologi dan transfer pengalaman.

Jawaban atas pertanyaan di atas akan menentukan kebijakan awal ke arah jenis dan ukuran reaktor yang akan dipilih. Selanjutnya terdapat persyaratan standard keselamatan yang harus dipenuhi sesuai dengan peraturan badan tenaga atom internasional dan badan pengawas di Indonesia.

Badan Tenaga Atom Internasional telah menetapkan persyaratan standard keselamatan untuk desain teras reaktor yaitu *Safety standard NS-R-1: Safety of Nuclear Power Plant*^[4]. Untuk memenuhi ketentuan persyaratan tersebut maka standar tersebut diuraikan lebih rinci dalam *Safety Guide IAEA No: NS-G-1.12 tentang Design of the reactor for Nuclear Power Plant*^[5,6], yang dibuat dengan tujuan untuk memberikan rekomendasi terkait fitur keselamatan di dalam desain reaktor daya. Di bawah ini diuraikan tujuan dan konsep desain yang perlu diperhatikan.

- Tujuan dan konsep keselamatan

Ada tiga tujuan keselamatan pokok yang

menjadi dasar untuk memperoleh persyaratan guna meminimalkan risiko terkait dengan desain reaktor daya, yaitu

1. Tujuan Umum Keselamatan Nuklir yang didesain untuk melindungi perorangan, masyarakat dan lingkungan dari kerusakan dengan membentuk dan menjaga pertahanan yang efektif terhadap bahaya radiologis di dalam instalasi nuklir.
2. Tujuan Proteksi Radiasi, yang dimaksudkan untuk menjamin agar dalam semua keadaan operasi paparan di dalam instalasi atau paparan akibat pelepasan zat radioaktif yang direncanakan dari instalasi dijaga agar berada di bawah batas yang ditetapkan dan sesuai dengan prinsip ALARA (*as low as reasonably achievable*), serta untuk memastikan mitigasi konsekuensi radioaktif dari setiap kecelakaan.
3. Tujuan Keselamatan Teknis adalah untuk melakukan semua tindakan yang mungkin dalam rangka mencegah kecelakaan di dalam instalasi nuklir dan memitigasi konsekuensinya seandainya terjadi kecelakaan, dan untuk menjamin dengan tingkat keyakinan yang tinggi bahwa, untuk semua kecelakaan yang mungkin yang diperhitungkan dalam desain instalasi, termasuk kecelakaan-kecelakaan yang memiliki kebolehjadian yang kecil, konsekuensi radiologisnya akan kecil dan di bawah batas yang ditetapkan; serta menjamin agar kemungkinan terjadinya kecelakaan yang memiliki konsekuensi radiologis serius sangat kecil.

- Persyaratan manajemen keselamatan

Di dalam persyaratan ini dijelaskan bahwa organisasi pengoperasi memiliki tanggung jawab menyeluruh terhadap keselamatan. Meskipun demikian, semua organisasi yang terlibat dalam kegiatan yang penting terhadap keselamatan memiliki tanggung jawab untuk menjamin agar hal-hal mengenai keselamatan diberikan prioritas tertinggi. Dalam persyaratan ini diatur beberapa hal yaitu:

- organisasi desain harus menjamin agar instalasi didesain dengan memenuhi persyaratan dari organisasi pengoperasi, termasuk segala persyaratan standar utilitas;
- desain menyertakan perkembangan mutakhir dalam teknologi keselamatan;
- desain telah sesuai dengan spesifikasi desain dan analisis keselamatan;
- agar desain memenuhi persyaratan pengawasan nasional;

- agar desain memenuhi persyaratan mengenai program jaminan mutu yang efektif;
- dan agar keselamatan dalam setiap perubahan dalam desain dipertimbangkan dengan saksama.

Persyaratan teknis utama

Persyaratan utama yang menjadi dasar desain adalah konsep pertahanan berlapis. Konsep pertahanan berlapis diterapkan pada semua aktivitas keselamatan, baik yang terkait dengan organisasi, perilaku ataupun desain, persyaratan ini bertujuan untuk menjamin agar seluruh aktivitas keselamatan terkena ketentuan yang berlapis, agar apabila terjadi kegagalan, akan dapat dideteksi dan dikompensasi atau dikoreksi dengan tindakan-tindakan yang tepat. Konsep ini telah dikembangkan lebih jauh sejak 1988. Penerapan konsep pertahanan berlapis pada seluruh desain dan operasi memberikan proteksi bertingkat terhadap berbagai macam transien, kejadian operasional terantisipasi dan kecelakaan, termasuk yang disebabkan oleh kegagalan peralatan atau tindakan manusia di dalam instalasi, dan kejadian-kejadian yang berasal dari luar instalasi.

Persyaratan desain instalasi

Desain instalasi mensyaratkan terpenuhinya klasifikasi keselamatan Struktur, sistem dan komponen (SSK), termasuk perangkat lunak untuk instrumentasi dan kendali (I&K) yang penting bagi keselamatan harus diidentifikasi dan diklasifikasi berdasarkan fungsi dan bobot kepentingannya terhadap keselamatan. Struktur, sistem dan komponen tersebut harus didesain, dikonstruksi dan dirawat sedemikian sehingga mutu dan keandalannya sepadan dengan klasifikasi ini.

Persyaratan untuk desain sistem instalasi

Perlu dicatat bahwa keselamatan nuklir diperoleh melalui kombinasi berbagai desain manufaktur, konstruksi dan operasi. Aspek penting ditinjau dari neutronik, termohidrolika, mekanikal, kimia dan iradiasi untuk desain teras reaktor daya yang aman.

KESELAMATAN DALAM DESAIN REAKTOR

Desain teras reaktor mencakup bagian internal bejana reaktor dan peralatan yang terpasang di dalam bejana reaktor untuk keperluan kendali reaktivitas dan *system shutdown reactor*. Interaksi dari internal dan desain teras reaktor mencakup bagian internal bejana reaktor dan peralatan yang terpasang, peralatan dengan pendingin reaktor dan komponen sistem pendingin reaktor termasuk batas tekanan. Desain teras

reaktor harus mencakup struktur, sistem dan komponen:

- Perangkat bahan bakar (*fuel assembly*) dan penopang bahan bakar dan komponen lainnya di dalam konfigurasi geometris yang telah ditentukan, moderator dan pendingin di dalam teras reaktor.
- Komponen dan struktur yang digunakan untuk kendali reaktivitas dan *shutdown*, penyerap neutron (padat atau cair), struktur terkait dan mekanisme penggerak batang kendali, dan komponen terkait di dalam sistem fluida. Struktur penopang (*support structures*) yang melengkapi fondasi teras di dalam bejana reaktor, struktur pengarah aliran pendingin, seperti *core barrel* atau tabung tekanan, dan tabung pengarah (*guide tube*) untuk kendali reaktivitas.
- Internal bejana *reactor* lainnya, seperti tabung instrumentasi, instrumentasi di dalam teras untuk monitoring teras, pemisah uap dan sumber neutron

Teras reaktor adalah tempat terjadinya reaksi fisi, persyaratan desain keselamatan yang harus diperhatikan pada desain teras reaktor dan fitur keselamatan terkait tidak berbeda dengan desain reaktor secara keseluruhan yaitu:

- Tujuan keselamatan nuklir secara umum (*General Nuclear safety objective*): yang bertujuan untuk melindungi masyarakat dan lingkungan dari bahaya dengan cara menjaga dan mempertahankan (*establishing and maintaining*) instalasi nuklir secara efektif terhadap ancaman bahaya radiologi.
- Tujuan proteksi radiasi (*radiation protection objektif*): untuk menjamin agar pada setiap kondisi operasi paparan iradiasi di dalam instalasi nuklir atau paparan yang direncanakan/disebabkan oleh lepasnya material radioaktif dari instalasi yang dipertahankan berada di bawah limit dan *as low as reasonably achievable*, dan untuk menjamin mitigasi dari konsekuensi radiologis dari berbagai kecelakaan.

Desain Umum teras reaktor dan fitur keselamatan terkait

- Teras reaktor dan sistem pendingin, kendali dan proteksi terkait harus didesain dengan margin yang tepat untuk menjamin agar batasan desain yang ditetapkan tidak dilampaui dan agar standar keselamatan radiasi berlaku pada semua status operasi dan kecelakaan

- dasar desain, dengan memperhitungkan nilai ketidakpastian yang ada.
- Teras reaktor dan komponen internalnya yang berada di dalam bejana reaktor harus didesain dan dipasang sedemikian rupa sehingga dapat bertahan terhadap beban statis dan dinamis yang diperkirakan pada semua status operasi, kecelakaan dasar desain dan kejadian luar sampai ke tingkat yang diperlukan untuk menjamin pemadaman reaktor yang aman, dalam rangka menjaga reaktor agar tetap subkritis dan menjamin reaktor tetap dingin.
 - Derajat maksimum reaktivitas positif dan laju maksimum peningkatan reaktivitas positif akibat penyisipan pada status operasi dan kecelakaan dasar desain harus dibatasi sedemikian rupa sehingga tidak terjadi kegagalan pada bagian dari sistem pendingin reaktor bertekanan, kemampuan pendinginan akan tetap terjaga, dan tidak ada kerusakan yang berarti pada teras reaktor.
 - Harus dijamin bahwa kebolehhadiah terjadinya kekritisian-ulang (*recriticality*) atau ekskursi reaktivitas yang mengikuti kejadian pemicu terpostulasi dapat diminimalkan di dalam desain.
 - Teras reaktor dan sistem pendingin, kendali dan proteksi yang terkait harus didesain untuk dapat dengan mudah diinspeksi dan diuji sepanjang umur instalasi.
 - Tujuan keselamatan teknis (*technical safety objective*). Untuk mengambil seluruh pengukuran yang dapat dilakukan guna mengantisipasi kecelakaan di instalasi nuklir dan memitigasi konsekuensi yang dapat terjadi, untuk menjamin dengan kepercayaan tinggi, bahwa seluruh kecelakaan yang mungkin terjadi telah diperhitungkan dalam desain instalasi, termasuk yang memiliki probabilitas rendah.

PEMBAHASAN

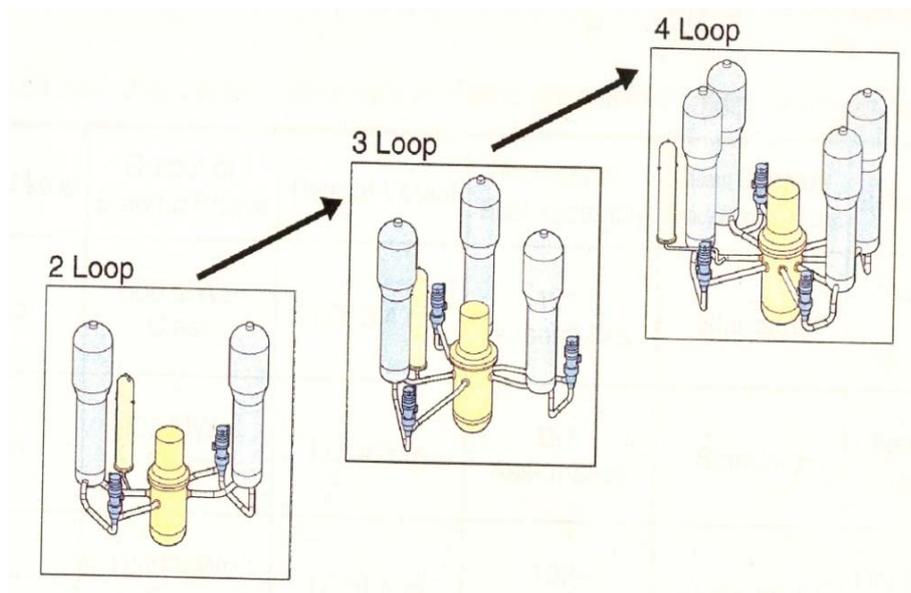
Langkah persiapan pembangunan PLTN I di Indonesia merupakan infrastruktur yang harus dilakukan secara konsisten. Untuk menjawab pertanyaan terkait desain, lisensi pendanaan dan kontrak merupakan langkah yang harus dipertimbangkan oleh calon owner, hingga saat ini baru merupakan kajian mengingat bahwa owner PLTN I belum ditentukan. Sedangkan dari segi kriteria desain, meskipun belum ada owner akan tetapi BATAN selaku lembaga pemerintah dalam bidang pemanfaatan nuklir dapat memberikan pertimbangan melalui kajian kajian. Jawaban dari pertanyaan di bidang desain reaktor dan tingkat daya elektrik adalah penentuan arah kebijakan untuk memilih jenis reaktor yang telah dibangun dan terbukti beroperasi dengan selamat (*proven*). Untuk itu maka kajian dari aspek desain teknis yang dapat dilakukan dengan bekerja sama dengan negara vendor seperti Jepang dan Korea serta lembaga internasional di bidang nuklir.

Salah satu dokumen yang disiapkan dalam *roadmap* rencana pembangunan reaktor daya pertama di Indonesia adalah dokumen Persyaratan pengguna Indonesia (*PPI = IUR: Indonesian user requirements*) yang ditujukan untuk PLTN generasi mendatang di Indonesia. Dokumen ini disiapkan untuk PLTN jenis air ringan bertekanan. Agar terfokus maka tipe reaktor daya yang lain tidak dibahas. Dokumen ini membahas persyaratan untuk reaktor daya pertama di Indonesia dari aspek teknologi dan teknoekonomi. Desain reaktor daya mulai dari generasi III telah memperhitungkan analisis dasar kecelakaan (*design basis accident*) dalam perancangannya agar dapat memenuhi kriteria gagal selamat.

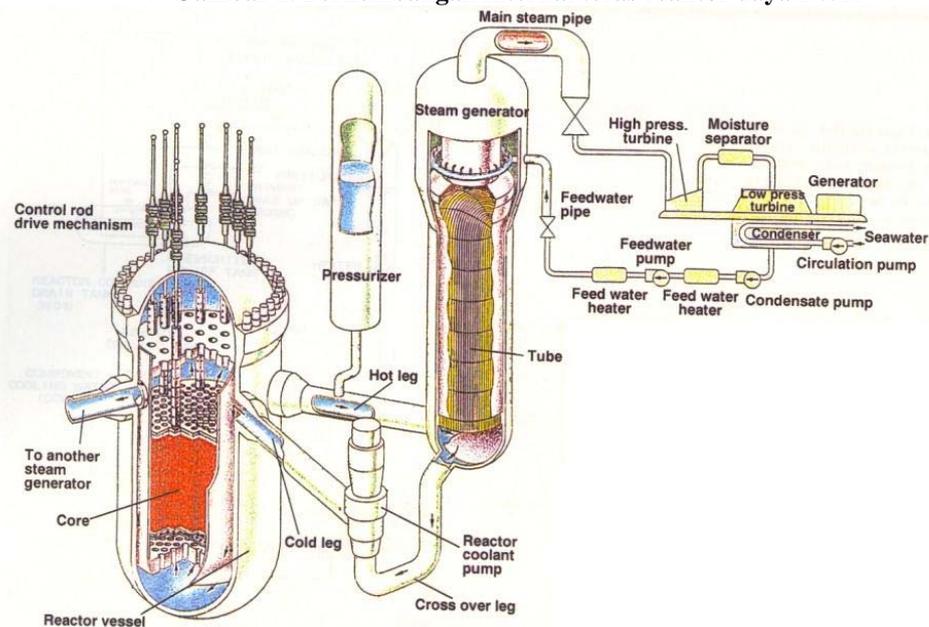
Desain reaktor berkembang dari satu generasi ke generasi selanjutnya. Perkembangan ini dilakukan oleh vendor dengan tujuan untuk memperbaiki fitur keselamatan berdasarkan pengalaman pada kecelakaan yang terjadi pada reaktor masa lalu agar menjadi lebih selamat. Perkembangan desain keselamatan ini pada umumnya dilakukan dengan mengurangi tindakan operator, reaktor yang demikian ini disebut reaktor maju (*advanced reactor*). Perkembangan reaktor tipe air bertekanan (PWR) juga mengikuti kecenderungan tersebut. Geometri teras dan konfigurasi bahan bakar reaktor cenderung menjadi semakin besar, linier dengan daya yang dibangkitkan. Sebagai contoh reaktor daya PWR yang dikembangkan oleh Mitsubishi seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perkembangan reaktor daya PWR Mitsubishi^[7]

Jumlah Loop	Daya output	Diameter dalam (ID) Bejana Reaktor	Jumlah perangkat bahan bakar	Pembangkit uap/pompa pendingin reaktor	Nama reaktor
2 loop	Kelas 600MWe	3,4m	121	Standard	Tomari unit 1&2
3 loop	Kelas 900MWe	4,0m	157	Standard	Ikata unit 3
4 loop	Kelas 1200MWe	4,4m	193	Standard	Ohi unit 3 dan 4
4 loop (APWR)	Kelas 1500MWe	5,2m	257	Kapasitas besar	Tsuruga unit 3 dan 4



Gambar 2. Perkembangan internal teras reaktor daya PWR^[7]



Gambar 3. Rangkaian sistem pendingin reaktor^[7]

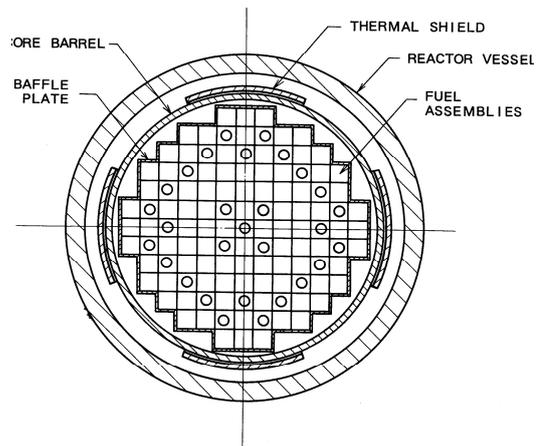
Pada Tabel 1 dan Gambar 2 terlihat bahwa jumlah loop pembangkit uap bertambah seiring dengan meningkatnya jumlah bahan bakar dan linier dengan daya yang dibangkitkan, demikian pula dengan diameter bejana reaktor. Perlu dicermati bahwa Tsuruga unit 2 dan 4 telah menggunakan reaktor daya maju APWR yang telah menggunakan sistem keselamatan pasif dalam desain keselamatannya. Jumlah sistem pembangkit uap ini tidak baku, melainkan sangat bergantung pada kapasitas sistem tersebut dan pembuatnya. Sebagai contoh reaktor daya yang dibangun oleh Korea hanya memerlukan 2 buah sistem pembangkit uap untuk kelas daya 1000Mwe. Pada APWR kelas 1500 Mwe Mitsubishi, jumlah pembangkit uap yang digunakan pada reaktor dengan kelas daya 1200MWe dan 1500 MWe dipertahankan masing 4 buah, tetapi kapasitasnya lebih besar.

Interaksi antara bagian internal reaktor di dalam bejana reaktor dan sistem pengatur tekanan serta pembangkit uap ditunjukkan oleh Gambar 3. Gambar tersebut menunjukkan rangkaian sistem pemindah panas, mulai dari teras reaktor, pembangkit uap hingga ke turbin generator. Bagian internal reaktor ini didesain agar mudah dilakukan inspeksi.

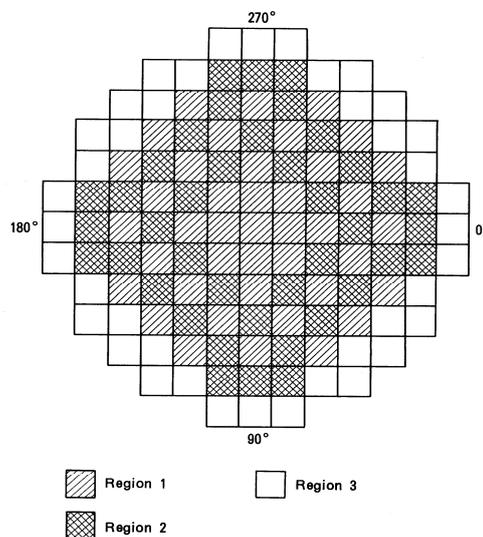
Sistem pendingin umumnya didesain untuk dapat mengantisipasi kondisi transien baik pada kondisi kehilangan aliran maupun kehilangan pendingin. Batasan keselamatan yang digunakan adalah margin terhadap rasio akhir pendidihan inti (*DNBR=Departure from nuclear boiling rasio*). Besarnya margin ini tidak sama untuk seluruh reaktor daya, melainkan bergantung pada karakteristik desain reaktor, akan tetapi pada umumnya reaktor daya konvensional atau generasi III menggunakan nilai $MDNBR \geq 1,3$ ^[8] Selain itu pemilihan material juga dilakukan dengan selektif untuk mengantisipasi terjadinya kelelahan material. Uji komponen umumnya dilakukan oleh masing masing vendor, selain itu validasinya dilakukan dengan meletakkan kupon di dalam teras reaktor selama operasi reaktor yang dapat diuji sesuai rencana. Reaktor daya didesain untuk mampu beroperasi selama minimum 40 tahun, kemudian dengan melakukan program *in service inspection* secara terprogram dan evaluasi untuk menilai kekuatan komponen/material bagian internal maupun bejana reaktor, umur penggunaan reaktor dapat diperpanjang hingga 60 tahun^[9].

Dimensi susunan bahan bakar reaktor berkembang sesuai dengan daya yang dibangkitkan. Mulai dari ukuran 11x11 pada kelas daya 600MWe, kemudian berkembang menjadi 15x15 untuk kelas daya 900MWe hingga menjadi 17x17 untuk kelas daya 1200-1500MWe. Tampang lintang teras reaktor daya dengan konfigurasi

batang kendali dan bahan bakar ditunjukkan pada Gambar 4. Bahan bakar reaktor daya konvensional terdiri dari 2 jenis yaitu uranium oksida UO_2 dengan pengayaan 2-3% dan Uranium-Gadolinium (penyerap neutron) yang bertujuan untuk meratakan fluks panas di dalam perangkat (*assembly*) bahan bakar.



Gambar 4. Tampang lintang teras reaktor [7]



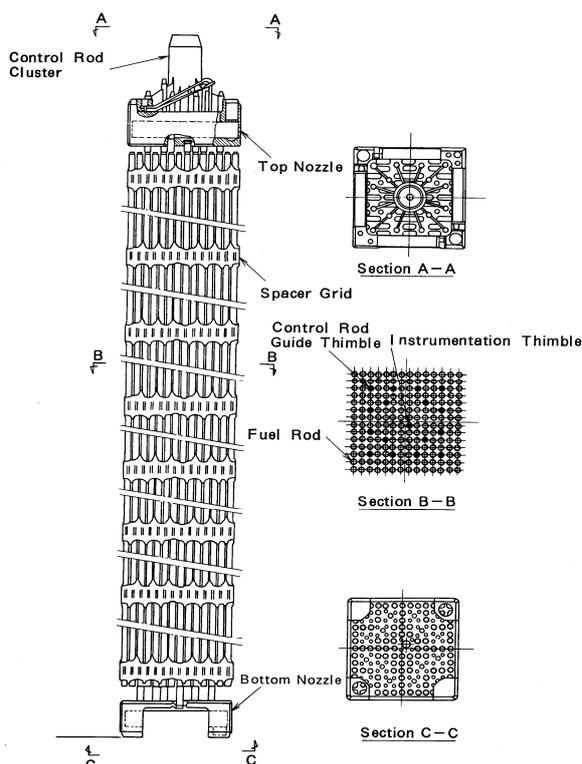
Gambar 5. Pola pemuatan bahan bakar

Siklus pemuatan bahan bakar berkisar 18-24 bulan, hal ini dihitung dengan program perhitungan manajemen bahan bakar, dengan batas fraksi bakar maksimum 55GWD/ton^[9]. Manajemen bahan bakar dilakukan dengan memindahkan bahan bakar yang terbagi dalam region sesuai dengan tingkat fraksi bakarnya.

Perangkat bahan bakar terdiri dari bahan

bakar, pengaruh batang kendali *thimble* (*control rod guide thimble*) dan *instrumentation thimble*, yang merupakan susunan dari 249 buah batang bahan bakar dan batang kendali, dengan bagian atas dikendalikan oleh batang kendali kluster (*cluster*). Perangkat bahan bakar didesain untuk tahan terhadap goncangan sejak dalam pengangkutan (didesain memiliki ketahanan 6G)^[6] hingga saat berada di dalam teras reaktor. Batas ketahanan material dijaga dengan mempertahankan fluks panas tidak melebihi fluks panas kritis yang diijinkan sesuai desain kekuatan bahan bakarnya, dimana hal ini sangat berkaitan dengan kemampuan pendinginan bahan bakar.

Terdapat dua jenis pengatur reaktivitas teras reaktor yaitu batang kendali yang berfungsi untuk mengatur daya dan mengkompensasi reaktivitas pada kondisi normal, sedangkan pada keadaan darurat selain batang kendali juga dilakukan pengaturan reaktivitas dengan penambahan air borat yang berfungsi menyerap neutron akibat umpan balik reaktivitas *Doppler*. Susunan perangkat bahan bakar reaktor daya ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Perangkat bahan bakar dan bagian bagiannya^[7]

Pada umumnya suatu negara yang baru membangun reaktor daya untuk pertama kalinya akan membeli reaktor pembangkit daya secara

utuh. Hal ini disebabkan karena pemenuhan persyaratan desain keselamatan oleh badan tenaga atom internasional memang sangat ketat, berangsur-angsur hal ini dapat berkurang sesuai dengan tingkat perkembangan teknologi dan manufaktur di negara tersebut. Sebagai contoh adalah Korea, yang semula pada pertengahan tahun delapan puluhan membeli reaktor daya dari General Atomic, kini menjadi negara pembuat reaktor.

Adanya kebijakan alih teknologi dan partisipasi nasional yang diterapkan di suatu negara secara konsisten, yang membangun reaktor daya untuk pertama kalinya akan dapat mendorong meningkatkan kemampuan alih teknologi dan penguasaan teknologi nuklir di negara tersebut. Hal ini tentu memerlukan dukungan industri manufaktur yang memenuhi kriteria desain yang ditetapkan oleh badan tenaga atom internasional maupun badan regulasi energi nuklir. Pertimbangan ekonomis juga merupakan hal yang diperhitungkan dalam memenuhi kebutuhan komponen sistem nuklir.

Kebijakan dalam pembangunan reaktor pertama di Indonesia mensyaratkan bahwa reaktor yang dibangun haruslah merupakan reaktor yang proven atau telah pernah dioperasikan dan bukan merupakan reaktor yang berasal dari konsep desain yang akan dibangun untuk pertama kalinya. Hal ini dimaksudkan untuk kehati-hatian. Perlu dipertimbangkan juga bahwa perkembangan teknologi instrumentasi sangat cepat dibandingkan dengan perkembangan generasi reaktor, artinya bahwa dalam segi instrumentasi tentu tidak bisa menggunakan sistem instrumentasi pada generasi III untuk digunakan pada reaktor yang akan dioperasikan 10 tahun mendatang, misalnya. Sedangkan definisi proven menurut BAPETEN^[10] adalah sistem yang telah beroperasi dan membuktikan keandalannya sedikitnya selama 3 tahun. Hal ini membuka peluang dipilihnya reaktor PWR maju yang memiliki fitur keselamatan pasif, apabila jadwal program pembangunan reaktor nuklir dapat disesuaikan dengan pembuktian yang dipersyaratkan.

KESIMPULAN

Infrastruktur pembangunan PLTN I di Indonesia sedang dipersiapkan, dan masih terdapat kriteria desain dalam bentuk jawaban pertanyaan yang perlu diselesaikan secara bertahap melalui kajian-kajian yang berkelanjutan. Evaluasi pemilihan desain teras reaktor daya pertama tipe PWR yang dipilih, sesuai dengan dokumen pengguna (URD) dan memenuhi ketentuan persyaratan desain keselamatan badan tenaga atom internasional. Desain PWR *proven* yang telah memiliki lisensi dan pengalaman operasi minimal

3 tahun sesuai dengan persyaratan BAPETEN telah dimiliki oleh beberapa negara pembangun reaktor (vendor). Reaktor pertama yang dibangun sebaiknya merupakan reaktor yang dibeli secara utuh dengan ketentuan telah memenuhi standar desain internasional yang memenuhi kinerja keselamatan instalasi dan keandalan sistem keseluruhan serta kemudahan pemeliharaan. Peluang dipilihnya reaktor PWR maju yang memiliki fitur keselamatan pasif, dapat dimungkinkan apabila telah memiliki lisensi dan terbukti dapat beroperasi secara aman sesuai standar regulasi yang berlaku.

DAFTAR PUSTAKA

1. BATAN, Pedoman Penerapan dan Pengembangan Sistem Energi Nuklir Berkelanjutan (SEN) di Indonesia, Oktober, (2006).
2. BATAN, Indonesia URD
3. AMI RASTAS, IAEA, Workshop on Preparation for NPP Tech Assessment for New Nuclear Plants, Jakarta, November 25-27, (2008).
4. IAEA Safety Standard, Safety of Nuclear Power Plants:Design, No: NS-R-1.Viena, (2000).
5. IAEA Safety Standard Series, "Format and Content of the safety Analysis Report for Nuclear Power Plants", GS-G-4.1., Vienna, ((2004).
6. IAEA Safety Standard Series, Design of The Reactor Core for Nuclear Power Plants, Draft Safet Guide, DS 283, Revision of Safety Series, No 50-SG-D14, (2004)
7. Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., Information Exchange BATAN-MHI, (2009).
8. TODREAS,KAZIMI, "Thermal Hydraulics Fundamentals", Massachuttes Institute of Technology, New York, (1989).
9. EUR, European Utility Requirements For LWR Nuclear Power Plants, (2001).
10. BAPETEN, No.: 05-P/Ka-BAPETEN/XI-00, Tentang Pedoman pembuatan Laporan Analisis Keselamatan Reaktor Penelitian, Jakarta, November, (2000).

TANYA JAWAB