

STUDI PERBANDINGAN *USER REQUIREMENTS DOCUMENT* (URD) VOLUME 2 VERSI EROPA DAN AMERIKA UNTUK PENYUSUNAN URD PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR (PLTN) DI INDONESIA

SUNARDI

*Pusat Pengembangan Energi Nuklir-BATAN
Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan
Jakarta 12710, Telp/Faks. 021.5204243*

Abstrak

STUDI PERBANDINGAN *USER REQUIREMENTS DOCUMENT* (URD) VOLUME 2 VERSI EROPA DAN AMERIKA UNTUK PENYUSUNAN URD PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR (PLTN) DI INDONESIA. Telah dilakukan studi perbandingan URD versi Eropa dan Amerika dalam rangka penyusunan URD untuk PLTN yang direncanakan dibangun di Indonesia. URD versi Eropa terdiri dari empat (4) volume sedangkan URD Amerika yang disusun oleh EPRI tersusun dalam dua (2) volume. Dalam studi ini dilakukan khusus volume 2 yang isinya merupakan *Generic Nuclear Island Requirement*. URD volume 2 versi Eropa terdiri dari : *Introduction to the EUR, Safety Requirements, Performance Requirements, Grid Requirements, Design Basis, Code & Standard, Material-Related Requirements, Functional of the Components, Functional of the System & Process, Containment system, Instrumentation & Control and Man-machine Interface (IC & MMI), Layout rule, Design Process & Documentation, Constructability & Commissioning, Operation, Maintenance and Procedures, Quality Assurance, Decommissioning, PSA Methodology, Performance Assessment Methodology, Cost Assessment Information*. Sedangkan URD versi Amerika terdiri dari : *Introduction, Safety Design Requirements, Performance Design, Requirements, Structural design Requirements, Materials, Reliability Availability, Construction, and Constructability, Operability and Maintainability, Quality Assurance, Licensing, Design, Process, Mechanical Equipment Design Requirements*. Dari hasil studi URD vol 2 versi Eropa dan Amerika dapat disimpulkan bahwa kedua-duanya tidak jauh berbeda hanya dalam hal pembagian isi dari masing-masing cahapter agak berbeda dan URD versi Eropa lebih terperinci. Dalam rangka penyusunan URD PLTN versi Indonesia penulis lebih memilih *chapter-chapter* versi Eropa yang terdiri dari 19 *chapter* dan *Intruduction*. Sedangkan mengenai isi yang sifatnya alami perlu disesuaikan dengan kondisi di Indonesia seperti *Grid Requirements, Design Basis* suhu udara, air laut, tekanan, dan juga *standard earthquake design acceleration* versi URD Euro level 0.25 g dan untuk di Indonesia sekitar 0,3 g. Untuk *code* dan *standard* Indonesia tidak hanya menggunakan standard Eropa dan Amerika saja tapi menggunakan standard yang secara international diakui.

Kata kunci : URD EURO, URD USA (EPRI)

Abstract

STUDY COMPARASION OF USER REQUIREMENTS DOCUMENT (URD) VOLUME 2 EURO AND USA VERSION FOR COMPILING URD NUCLEAR POWER PLANT (NPP) IN INDONESIA. URD volume 2 EURO version and USA version have been studied for compiling URD Indonesia NPP that will be constructed in Indonesia. URD EURO version for European countries. contains 4 volume and USA version contains 2 volume. This study is focused on volume 2 on generic nuclear island requirements. URD EURO version that is: Introduction to the EUR, Safety Requirements, Performance Requirements, Grid Requirements, Design Basis, Code & Standard, Material-Related Requirements, Functional of the Components, Functional of the System & Process, Containment system, Instrumentation & Control and Man-machine Interface (IC & MMI), Layout rule, Design Process & Documentation, Constructability & Commissioning, Operation, Maintenance and Procedures, Quality Assurance, Decommissioning, PSA Methodology, Performance Assessment Methodology, Cost Assessment Information. URD USA version that is Introduction, Safety Design Requirements, Performance Design, Requirements, Structural design Requirements, Materials, Reliability Availability, Construction, and Constructability, Operability and Maintainability, Quality Assurance, Licensing, Design, Process, Mechanical Equipment Design Requirements. The result of this study volume 2 EURO and USA version is not different but only compilation of many chapter title different and URD EURO version more than detail. And result from this study is urgent are have some conclusion is many matter for must be appropriate to Indonesia condition there is Grid Requirements, Design Basis about air temperature, sea water, air pressure, and standard earthquake design acceleration level Euro version 0.25 g and in Indonesia is 0,3 g. For Code and Standard Indonesia uses European, USA and International standard as well.

Keywords : : URD EURO, URD USA (EPRI)

PENDAHULUAN

URD merupakan hal yang sangat penting dalam pembangunan PLTN. Untuk penyusunan URD, karena owner belum terbentuk maka BATAN melakukan studi URD versi USA yang dibuat oleh EPRI dan URD Eropa yang merupakan URD kumpulan dari beberapa negara Eropa. URD baik yang versi USA maupun Eropa kedua-duanya sama yaitu merupakan syarat-syarat teknis dari pengguna tentang Reaktor Pembangkit Daya yang harus dipenuhi oleh pemasok dengan aturan dan syarat-syarat yang dibuat oleh Badan Perizinan. URD versi USA terbagi dalam tiga volume yaitu :

1. Volume I : Naratif
2. Volume II-III : Requirement – Rationale

Sedangkan URD versi Eropa terbagi dalam empat volume :

1. Volume 1: Main policies and objectives
2. Volume 2: Generic nuclear island requirements
3. Volume 3: Application of EUR to specific designs
4. Volume 4: Power generation plant requirements

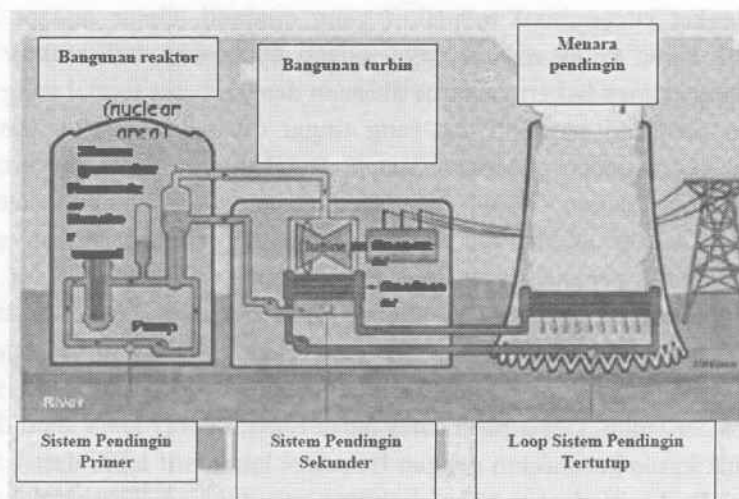
Dalam makalah dilakukan pengkajian URD volume 2 yang isinya *Generic Nuclear Island Requirements*. Kedua versi URD tersebut mempunyai isi yang kurang lebih sama namun bila dilihat dari chapter-chapter di dalamnya URD USA terdiri dari dua belas (12) *chapter*, URD Eropa dua puluh (20) *chapter*. Dilihat dari isinya URD Eropa lebih urut dan rinci. Kedua URD secara ringkas mencakup instalasi menyeluruh sampai distribusi sehingga merupakan dasar bagi desain instalasi terpadu, yaitu sistem pemasok uap nuklir dan neraca instalasi, yang merupakan daerah yang terkait dengan keselamatan, kinerja, konstruksibilitas, maintainabilitas dan ekonomi. Persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi dan dinyatakan dalam merencanakan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) harus berdasar pada kemajuan perkembangan teknologi dan keselamatan untuk memperoleh penerimaan masyarakat secara luas, mempunyai unjuk kerja baik, telah teruji teknologinya (*proven technology*), lebih ekonomis serta memberikan perlindungan terhadap investor.

Persyaratan utama yang harus dipenuhi dari aspek teknologi untuk negara yang baru pertama kali membangun PLTN adalah kemampuan dalam bidang konstruksi, operasi dan perawatan. Hal tersebut sangat erat kaitannya dengan keekonomian dan keandalan PLTN. Untuk mencapai hal tersebut langkah-langkah desain yang tepat, metode konstruksi maju, jadwal yang tepat dan manajemen konstruksi yang baik harus dilaksanakan. Waktu pembangunan dari sejak peletakan batu pertama hingga beroperasi secara komersial dibatasi paling lama 60 bulan. PLTN yang akan dibangun harus menunjukkan kemajuan rekayasa, merupakan hasil penyederhanaan dan penggunaan material yang lebih tahan lama, tidak korosif, tidak erosif dan dengan tingkat kontaminasi radioaktif yang minimal. Umur reaktor harus didesain 60 tahun untuk reaktor daya sedang 40 tahun untuk reaktor daya kecil. Sedang elemen bakarnya harus didesain dengan batas termal yang lebih tinggi dan memiliki panas bakar yang tinggi dibanding reaktor saat ini. Dalam hal keselamatan, penerapan sistem pertahanan berlapis dan program jaminan kualitas dalam seluruh tahapan kegiatan harus dilaksanakan dan ditingkatkan secara efektif dan konsisten dengan memperhatikan secara khusus pada batas penahanan tekanan. Batas keselamatan teras reaktor harus ditingkatkan secara signifikan. Frekuensi kerusakan teras tanpa lepasan ke lingkungan harus kurang dari 1×10^{-5} per reaktor per tahun, dan dengan lepasan zat radioaktif yang rendah ke lingkungan harus kurang dari 1×10^{-6} per reaktor per tahun. Dosis pada batas tapak reaktor harus lebih kecil dari 0,25 Sv untuk kasus kecelakaan dengan frekuensi kumulatif lebih dari 1×10^{-6} per tahun. Berbagai desain yang diajukan sebaiknya menerapkan konsep penyederhanaan pada perencanaan kedaruratan di luar tapak.

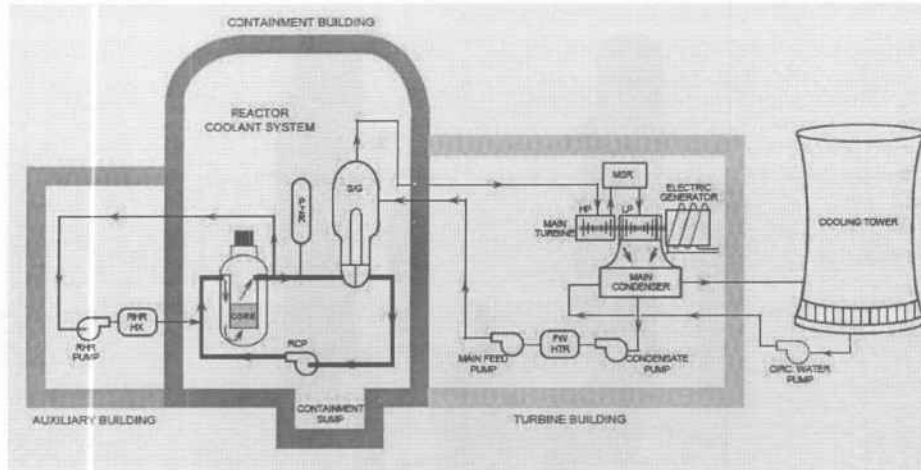
Tujuan pengkajian ini adalah melakukan pengkajian dua (2) URD versi Eropa dan Amerika maka hasil kajian diharapkan dapat memilih persyaratan dan syarat-syarat teknis keselamatan reaktor daya yang terbaik dan cocok dengan kondisi alam di Indonesia dalam penyusunan URD untuk pembanguna PLTN di Indonesia.

KAJIAN URD VERSI USA DAN VERSI EROPA

Di belahan dunia ini baik di wilayah USA, Eropa maupun wilayah lainnya, teknologi PLTN merupakan teknologi yang harus dipertanggungjawabkan secara lebih dibanding teknologi pembangkit listrik yang lain, karena teknologi PLTN mempunyai potensi dampak yang sangat besar. Pembangkit uap PLTN berbeda dari pembangkit listrik yang lain yaitu PLTN menggunakan *nuclear steam supply system* (NSSS) dalam membangkitkan uap yang memanfaatkan reaksi inti berantai/proses nuklir. Berbagai jenis reaktor daya yang beroperasi di dunia sekarang ini antara lain : reaktor air didih atau dikenal dengan *Boiling Water Reactor* (BWR), reaktor air tekan/*Presurizer Water Reactor* (PWR) dan reaktor air tekan dengan moderator air berat (D_2O) / *Presurizer Heavy Water Reactor* (PHWR). Reaktor PLTN tipe BWR, air sebagai moderator sekaligus pendingin langsung jadi uap, sedangkan PLTN tipe PWR dan PHWR, pembentukan air jadi uap terjadi pada *steam generaor* dari aliran air/air berat siklus primer. Agar air atau air berat tidak menguap pada siklus primer digunakan *pressurizer*, sistem teknologi PLTN PWR diperlihatkan dalam Gambar 1a) dan 1b).



Gambar. 1a). Sistem PLTN Type PWR dengan Cooling Tower^[4]

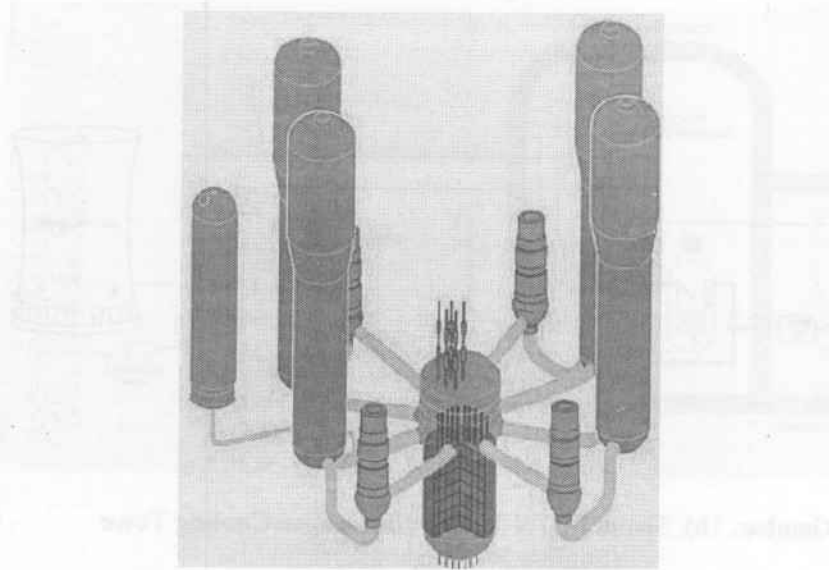


Gambar. 1b). Sistim PLTN Type PWR Dengan Cooling Towe
(Sumber Westinghouse)^[5]

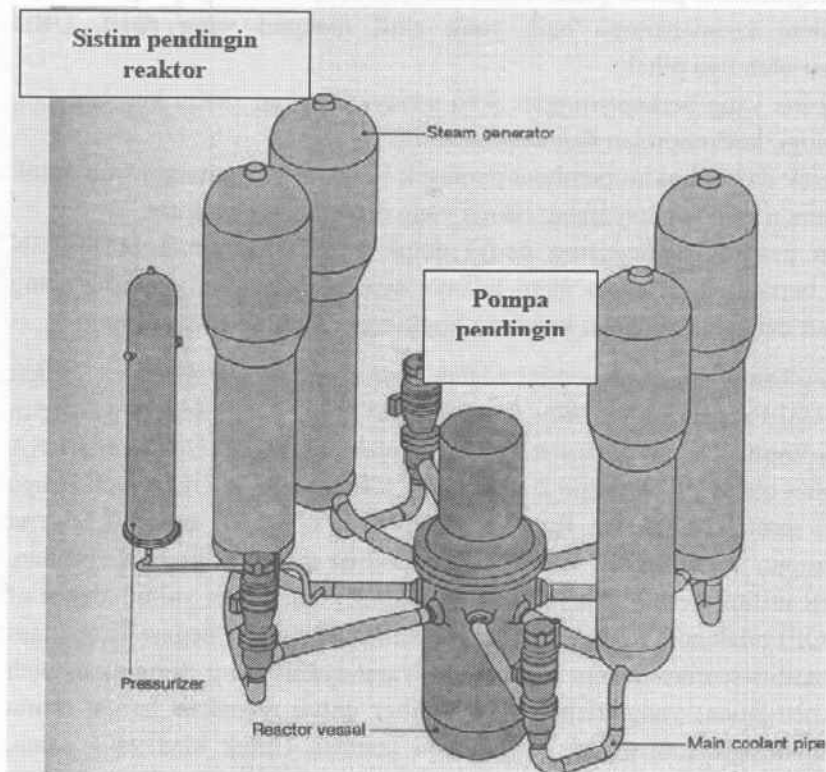
NSSS adalah bagian sistem PLTN yang paling mendapat perhatian baik dalam pengambilan panas pada reaksi inti berantai, teknologi pengontrolnya serta sistem keamanannya baik yang aktif maupun yang pasif, URD diperlukan oleh tiga pihak:

1. Pengguna yang berkepentingan akan adanya jaminan sistim keselamatan, teknologi, keekonomian dan keandalan PLTN.
2. Pemasok dalam hal ini pembuat/pemasok PLTN bertanggung jawab untuk memenuhi semua persyaratan teknis yang diperlukan pengguna.
3. Badan pengawas (*licensing body*) untuk negara Indonesia BAPETEN yang bertanggung jawab akan adanya syarat-syarat dan prosedur yang terakait dengan keamanan kawasan lingkungan secara berkelanjutan.

URD yang banyak dikenal saat ini adalah yang disusun oleh Amerika Serikat (EPRI), Uni Eropa (*EUR Utility Requirements*) serta URD IAEA walaupun belum komplit. Dalam kajian ini sebagai referensi adalah URD versi USA yang dibuat oleh EPRI volume 2 terdiri dari 12 chapter dan URD versi Eropa volume 2 terdiri 20 chapter. Ruang lingkup pada volume 2 baik URD versi USA maupun versi Eropa menyediakan semua syarat-syarat dan pilihan, pada EUR utilites desain wilayah nuklir maupun yang bukan yaitu balance of plant (BOP) tidak ada hubungan dan keterkaitan di antara negara Eropa tapi berdiri sendiri-sendiri. Isinya mencakup syarat-syarat yang diinginkan oleh *Owner* (pengguna) yang diajukan ke Suplier untuk menaksir harga, minta perizinan, design, konstruksi, testing dan operasi. Untuk klas yang sama, 1000 Mwe, baik USA maupun Eropa menggunakan 4 *loops* (aliran putaran yang tetap) dengan 4 pompa seperti Gambar 2a) dan 2b) selain yang *advant*.



Gambar 2a). NSSS versi Eropa^[4]

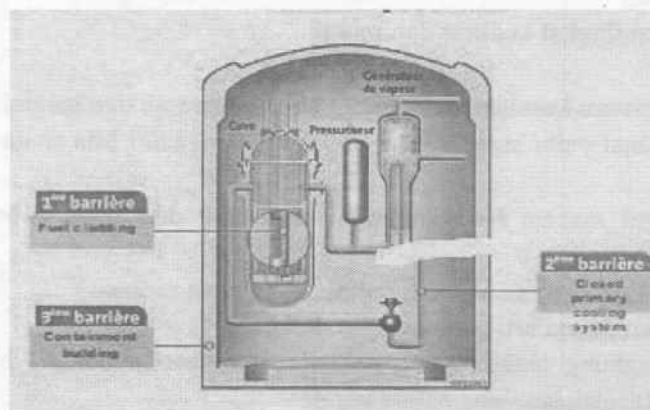


Gambar 2b). NSSS versi USA^[5]

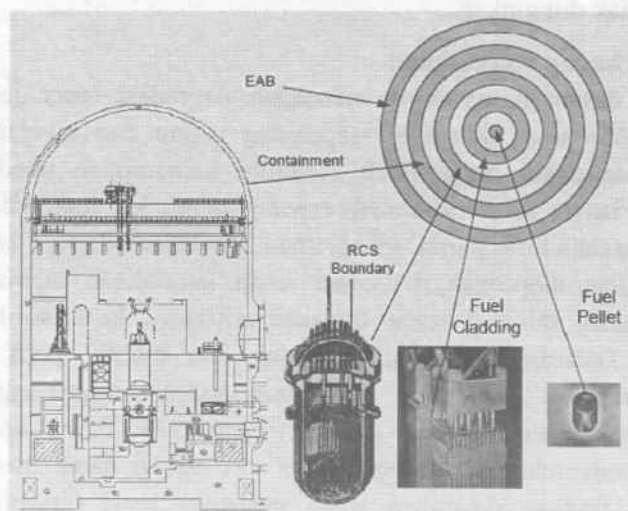
Kesamaan antara URD versi USA dan Eropa

Beberapa pertimbangan dalam keselamatan reaktor antara lain :

1. Penerapan konsep pertahanan berlapis (*defense in-depth*) seperti Gambar 3 a dan 3 b.
2. Peningkatan keselamatan melekat (*inherent safety*) reaktor
3. Resistansi terhadap kecelakaan : menjamin stabilitas teras reaktor, menjamin pendinginan teras: dan menjamin pengungkungan produk-produk radioaktif.
4. Sistem mitigasi, dan pertimbangan untuk menentukan urutan tindakan preventif dan mitigatif yang dapat diterapkan apabila terjadi kecelakaan parah



Gambar 3a). Konsep Pertahanan Berlapis^[4]



Gambar 3b). Konsep Pertahanan Berlapis^[6]

5. Frekuensi kerusakan teras parah : $< 1 \times 10^{-5}/r.t.$,
6. Dosis pada batas tapak kurang dari 25 rem (0,25Sv) untuk kecelakaan dengan frekuensi kumulatif lebih dari 1×10^{-6} per tahun.
7. Masa tenggang: 72 jam bagi DBA (*design basis accident*).

Dalam sistem pertahanan berlapis terdapat tiga tingkatan :

1. Pencegahan :
 - a. Sistem operasi dan pengendalian harus berjalan secara normal, contoh pengendalian tidak normal terjadi pada reaktor Chernobil di Ukraina sehingga terjadi kecelakaan yang besar.
 - b. Karakteristik keselamatan melekat dan marjin keselamatan yang memadai
 - c. Jaminan tingkat kualitas dan mutu.
2. Proteksi :
 - a. Suatu sistem keselamatan yang terencana, terarah dan handal.
 - b. Redudansi yaitu suatu sistem yang ada pengganti bila suatu alat tidak jalan.
 - c. Berbagai macam hal yang diproteksi atau diversifikasi baik sistem maupun area.
 - d. Pemisahan fisik mana yang radiasi dan bukan radiasi.
3. Pencegahan dalam arti pengurangan dampak:
 - a. Pengungkung reaktor yang kekuatannya kuat menahan bila terjadi suatu kecelakaan yang paling parah.
 - b. Sistem penyerap pencemar dalam tingkat apapun.
 - c. Perencanaan suatu kesiagaan kedaruratan nuklir bila terjadi hal-hal yang tidak diinginkan.

Resistensi terhadap Kecelakaan

Keselamatan desain harus dapat mencegah degradasi teras dengan tetap menenggelamkan teras dalam air sepanjang waktu dan menjamin bahwa produksi panas dalam teras tidak melebihi kemampuan pendingin, dan mencegah peristiwa awal (*initialing events*) meningkat menjadi kerusakan teras dan kerusakan teras parah. Manajemen kecelakaan dapat ditambah pada ciri desain guna mencegah degradasi suatu kecelakaan menjadi kondisi kecelakaan parah, dan melakukan tindakan mitigasi bila terjadi kecelakaan. Perencanaan kedaruratan harus sederhana dan efektif guna mencegah pelepasan radioaktif (*exclusion area*) dan harga pengurangan tindakan pencegahan menyatu (*built-in counter measures*). Resistansi terhadap kecelakaan memenuhi persyaratan bahwa ciri desain dapat meminimalisir kejadian dan tingkat keparahan suatu peristiwa awal (*initialing event*), seperti:

1. Margin temperatur bahan bakar sama dengan atau lebih dari 15%
2. Respon yang lebih lambat terhadap kondisi yang tak diinginkan melalui ciri-ciri seperti peningkatan inventori pendingin
3. Penggunaan material terbaik yang tersedia

Pencegahan dan Mitigasi Kerusakan Teras

Dalam mencegah kerusakan teras, desain reaktor harus dapat meyakinkan bahwa peristiwa awal tidak berkembang menjadi kerusakan teras. Dengan *probabilistic risk assessment (PRA)* harus dapat ditunjukkan bahwa frekuensi kerusakan teras kurang dari 1×10^{-5} /tahun reaktor. Pada kejadian kecelakaan kehilangan pendingin atau *loss of coolant accident (LOCA)* karena pecahnya pipa, tidak boleh terjadi pelelehan teras. Bila teras meleleh, *corium* (elemen penyusun teras reaktor) harus tetap bertahan di dalam bejana tekan. Desain pengungkung dan kontribusinya bagi mitigasi kecelakaan harus dipertimbangkan dan dievaluasi secara teliti dalam proses desain, dengan perhatian khusus terhadap kecelakaan parah. Terhadap kecelakaan parah, pengungkung harus mampu memenuhi persyaratan keselamatan dan radiologis. Hal ini termasuk fungsi mempertahankan integritas pengungkung dan menahan kebocoran.

Hal yang harus dipertimbangkan dan diatasi (prevensi dan mitigasi) pada desain reaktor air adalah :

1. ejski lelehan tekanan tinggi dan pemanasan pengungkung langsung
2. produksi dan pembakaran hidrogen dalam bejana tekan reaktor
3. ledakan uap (*steam explosion*) dalam bejana tekan reaktor dan pengungkung
4. interaksi teras-beton dalam pengungkung, dan
5. *bypass* pengungkung dan kehilangan pembuangan panas jangka panjang.

Dalam reaktor berpendingin gas, yang harus ditangani adalah :

1. masuknya air (*water ingress*) ke dalam teras
2. kecelakaan masuknya udara (*air ingress*) pada pipa primer, dan
3. kecelakaan pecahnya pipa tegak (*stand pipe*).

Frekuensi kerusakan teras rata-rata tahunan yang dievaluasi dengan PRA, harus kurang dari 1×10^{-5} /tahun reaktor. Dosis seluruh tubuh pada batas tapak harus kurang dari 0,5 Sv untuk suatu keluaran dari kecelakaan parah dengan frekuensi kumulatif melebihi 1×10^{-6} /tahun. Sistem pengungkung harus didesain sedemikian rupa sehingga batas paparan di atas dapat dipenuhi. Untuk memperoleh sistem pemadaman reaktor berkeandalan tinggi dan mendapatkan komponen pengendali tekanan dengan kapasitas yang memadai untuk mengatasi transien tekanan, dibutuhkan suatu sistem mitigasi. Semua pemadaman instalasi (*station blackout*) dengan durasi 8 jam

harus dipertimbangkan. Tenggang waktu bagi intervensi operator setelah kecelakaan harus ditentukan sesuai dengan ketentuan IAEA atau ketentuan negara asal PLTN. Sangat diinginkan bahwa masa tenggang itu paling sedikit 30 menit lamanya. Basis desain bagi peristiwa eksternal harus diputuskan sesuai informasi data tapak. Vendor potensial harus menyerahkan data dukung termasuk asumsi yang digunakan untuk memutuskan kondisi desain yang diusulkan.

Keselamatan Pasif

Waktu mengatasi mati listrik (*blackout*) di PLTN bagi pendinginan teras harus kurang dari 8 jam, namun untuk PLTN pasif waktu ini harus tak terhingga karena sistem keamanan pasif menggunakan kaidah alam, operator tidak melakukan tindakan apapun.

Proteksi Radiasi

PLTN harus didesain dan dibangun sedemikian rupa sehingga paparan radiasi pegawai kurang dari 1 man SV/reaktor tahun. Tujuannya adalah untuk mengurangi lebih lanjut paparan radiasi kolektif terhadap personel PLTN dan meminimalkan keluaran zat kimia dan radioaktif di bawah nilai panduan ICRP-60 selama operasi dan kondisi kecelakaan. Tujuan ini menunjuk pada aplikasi teknologi proteksi radiasi yang diperbaiki, material maju, dan ketaatan yang lebih baik terhadap aturan keselamatan radiasi.

Perlindungan terhadap Sabotase

PLTN harus didesain memiliki perlindungan yang baik terhadap sabotase menggunakan prinsip perlindungan fisik dengan mempertimbangkan dampak kebakaran, ledakan kimiawi, kejatuhan pesawat terbang dan peluru kendali. Bangunan dan tata-letak harus menjamin isolasi dari lingkungan sekitar dengan akses terkendali dan pengawasan secara ketat guna menjaga masuknya orang dan barang yang tidak sah. Persyaratan unjuk kerja reaktor daya menengah harus direncanakan dan dioperasikan terutama sebagai unit beban dasar (*base load*) yang menyediakan listrik ke jaringan secara terus menerus pada, atau sekitar, daya pengoperasiannya (*rated power*).

Pengurangan daya sebesar 65 % dari daya operasi dapat diterima bila ini terjadi setelah kegagalan alat tertentu, seperti :

1. kegagalan serangkaian pemanas air –umpan tekanan rendah dan tekanan tinggi,
2. kegagalan pompa air-umpan,
3. kegagalan pompa air sirkulasi

Namun demikian unit PLTN mulai daya menengah ke atas, harus didesain untuk siklus 24 jam dengan profil siklus sebagai berikut: dimulai dengan

daya 100%, turun melandai menuju 50% dalam 2 jam, daya tetap pada tingkat 50% selama 2-10 jam, dan kemudian naik ke 100% dalam 2 jam. Desain PLTN harus memungkinkan beban siklik ini selama 90% dari hari operasi setiap siklus bahan bakar selama umur PLTN. Keluaran panas dari reaktor harus mencukupi bagi proses temperatur tinggi, seperti: industri logam, gasifikasi batubara, pencairan batubara, produksi hydrogen, konversi $\text{CO}_2 + \text{CH}_4$, dan proses terkait lainnya, untuk proses temperatur rendah seperti desalinasi air laut dan industri proses entalpi rendah lainnya.

Umur Hidup Desain

Mengingat besarnya biaya investasi, PLTN harus dapat beroperasi selama mungkin secara teknis dan ekonomis. Dalam desainnya, perhatian harus diberikan pada pemilihan material dan kondisi operasi bagi layanan yang diinginkan. Bila perlu dapat dibuat ketentuan bagi inspeksi komponen, penggantian komponen dan kemungkinan *upgrading* guna menjamin kemampuan umur panjang. Pengoperasian PLTN harus mencakup sejarah operasi PLTN yang terdokumentasi baik, sehingga efek kelelahan (*fatigue*) dan kegetasan (*embrittlement*) akibat paparan neutron dapat dikaji. Umur desain struktur PLTN dan komponen yang tak dapat diganti seperti bejana tekan reaktor (RPV) harus 60 tahun untuk URD versi USA, sedangkan pada URD versi Eropa 40 tahun namun harus bisa ditingkatkan sampai 60 tahun.

Manuverabilitas

PLTN harus memiliki kemampuan sebagai berikut:

1. PLTN memiliki kemampuan kontrol daya otomatis dengan keluaran 15% atau lebih dari *rated output*
2. Sirkuit kendali pada PLTN harus didesain sedemikian rupa sehingga perubahan beban normal dari jaringan listrik (*grid*) dapat diikuti,
3. Rejeksi dan isolasi beban generator dari jaringan listrik, dengan pengurangan beban generator ke output yang dibutuhkan untuk mengoperasikan sistem bantu saja, harus dimungkinkan dari tingkat daya berapapun. Hal ini berlaku khususnya bagi rejeksi beban dari *rated output*
4. PLTN harus mampu menyediakan respon perubahan daya minimum sekitar $\pm 5\%$ dari *rated output* permenit pada daya 65% atau lebih dari *rated output* dan perubahan daya step $\pm 10\%$ dari output ke jaringan listrik untuk selama 90% dari durasi siklus.
5. Penutupan *stop valve* turbin dengan cepat harus mampu menginisiasi pengoperasian sistem *bypass* turbin dan pengurangan daya reaktor secara terkendali berikutnya.

Kesederhanaan Desain

Simplifikasi akan dikaji terutama dari sudut pandang minimalisasi jumlah peralatan dan operator PLTN, yaitu mengurangi kebutuhan staf operator selama operasi normal dan kondisi tak normal, menyediakan logika sederhana dan indikasi yang tidak bermakna ganda sepanjang waktu berfungsi. *Margin desain* yang melampaui persyaratan peraturan tidak dapat dipertukarkan atau digusur demi tujuan-tujuan peraturan.

Margin Desain

PLTN harus mampu dioperasikan pada siklus bahan bakar dengan interval pengisian bahan bakar 24 bulan. *Burn up* rata-rata puncak bagi *bundle* BWR harus mencapai 50 000 MWd/TU, untuk PWR nilainya harus 60 000 MWd/TU dan untuk HTR harga rata-ratanya harus mencapai 80 000MWd/TU. Untuk pemuatan pertama teras CANDU, *burn up* perangkat bahan bakar harus dijamin pada 7000 MWd/TU, dan untuk pemuatan kelompok berikutnya 7000 MWd/TU. Laju kegagalan awal karena kerusakan pembuatan bahan bakar ALWR harus lebih kecil dari satu dalam 50.000 batang bahan bakar.

Faktor Manusia dan Antarmuka Mesin-Manusia.

PLTN harus didesain dengan pertimbangan meminimalkan faktor manusia sehingga pengoperasian PLTN harus dapat dilakukan dengan mudah dari ruang kendali. Tujuannya adalah meminimalkan kesempatan dan potensi kesalahan manusia dengan memberikan otomatisasi tingkat tinggi yang diadaptasi untuk setiap situasi serta dengan memberikan tampilan (*displays*), kendali-kendali dan manual operator yang diorganisasikan dengan baik. Operabilitas PLTN berarti sebuah operasi dengan beban yang lebih kecil pada operator dan *manuverabilitas* yang lebih baik. Hal ini menyarankan instrumentasi dan kendali yang maju (*advanced I&C*) yang ergonomis dan dengan otomatisasi yang lebih. Sistem instrumentasi dan kendali serta sistem proteksi reaktor harus didesain sehingga meminimalkan kebutuhan untuk intervensi operator. Keuntungan harus diambil dari kemajuan teknologi informasi dan elektronik seperti *microprocessor*, tampilan video (*video displays*), *multiplexing*, optik fiber dan penggunaan teknik akal-budi *artificial (artificial intelligence techniques)*. Sistem-sistem diagnostik yang disempurnakan, yang disatukan uji-diri (*self testing*) dan indikasi kegagalan otomatis adalah teknologi yang tersedia dan harus mendapat perhatian. Antar-muka mesin-manusia seluruh *plant* harus berguna untuk meminimalkan operasi dan kesalahan perawatan yang dapat mempengaruhi keselamatan. Penyederhanaan operasi mensyaratkan bahwa operator tunggal dapat mengalihkan unit daya selama operasi daya normal. Stasiun kendali

harus *human engineered* untuk mempertinggi efektivitas operator, pemanfaatan *mockups*, simulasi dinamik, dan input operator untuk desain. Antarmuka mesin-manusia (MMI) harus didesain sesuai dengan prinsip ergometrik dan ergonomic yang diterima dan dapat diadaptasi oleh para operator Indonesia. Bila material, komponen atau sistem dimaksudkan untuk penggunaan dalam kondisi di luar batas kemampuan operasi yang telah terbukti, atau bahkan sama sekali baru dalam kaitannya dengan aplikasi yang dimaksud, maka material, komponen atau sistem tersebut harus melalui rangkaian tes yang ketat dalam kondisi-kondisi yang akan memungkinkan interpolasi ataupun ekstrapolasi-minor terhadap kondisi operasi yang diperlukan sebelum penggunaannya dalam reaktor. Hanya reaktor dengan desain yang telah dibuktikan (keandalannya) yang diperlukan untuk pembangkit listrik tenaga nuklir Indonesia yang pertama. Reaktor yang bisa dijadikan referensi harus diidentifikasi yang telah beroperasi dengan performa yang memuaskan, dan memiliki karakteristik basis desain yang sama dengan reaktor yang diajukan, khususnya dalam hal-hal penting untuk keselamatan dan kehandalan desain nuklir dan termohidrolik dari teras reactor, desain dari komponen *primary-circuit*, desain dari system NSSS (I&C dari sistem keselamatan). Reaktor yang dijadikan referensi harus telah beroperasi selama 3 tahun dari reaktor mulai operasi secara komersial. Akumulasi dari faktor ketersediaan (*availability factor*) harus lebih dari 75%, dan rata-rata *reactor-trip* dalam setahun harus kurang dari 2 kali. Kemudahan dalam konstruksi (*constructibility*, kemudahan pembangunan) dan jadwal konstruksi SMR harus jauh lebih baik dibandingkan dengan reaktor yang sudah ada dan harus memberikan basis untuk membangkitkan kepercayaan investor melalui pendekatan-desain untuk konstruksi (*design-for-construction approach*). Total waktu dari komitmen sampai dengan operasi komersial dengan pemilik pembangunan PLTN adalah 60 bulan atau 48 bulan sejak peletakan batu pertama. Status dari perancangan sudah mencapai 90 % pada saat permulaan konstruksi. Desain dan rencana untuk konstruksi: desain untuk kesederhanaan, modularisasi, dan ruang yang cukup untuk memfasilitasi rencana konstruksi melalui persetujuan dari pemilik reaktor. Untuk mengurangi waktu konstruksi, unit yang telah berbentuk perangkat (*pre-assembled*) atau modularisasi harus dipertimbangkan. Meskipun demikian, proses pembangunan bisa juga mengikut sertakan pihak lokal.

Maintainability (Kemudahan Pemeliharaan)

Maintainability mengimplikasikan kemudahan dalam melakukan tindakan pencegahan dan pemeliharaan selama operasi, ketersediaan ruangan, akses yang mudah, serta peralatan untuk melaksanakan penggantian komponen-komponen utama serta kemungkinan overhaul untuk perpanjangan usia

reaktor. Aspek *maintainability* yang dimasukkan ke dalam desain reaktor harus mengikutkan pula unsur-unsur standardisasi komponen, desain peralatan untuk pemeliharaan yang minimal, ketersediaan akses yang cukup, dan perbaikan kondisi lingkungan kerja. Reaktor harus didesain untuk kemudahan pemeliharaan, pengurangan paparan radiasi pekerja (terhadap radiasi/bahaya lainnya), dan penyediaan fasilitas perbaikan dan penggantian peralatan termasuk penggantian generator uap. Manajemen kualitas tanggung jawab terhadap desain dan pekerjaan konstruksi yang berkualitas tinggi berada pada manajemen dan personal dari pendesain dan organisasi kontraktor pembangun konstruksi.

PEMBAHASAN

Dalam penyusunan URD untuk PLTN yang direncanakan dibangun di Indonesia harus mengikuti aturan dari BAPETEN PP 43 yang berisi persyaratan PLTN yang dibangun di Indonesia harus sudah *proven*. Di samping itu tidak kalah penting bahwa URD harus memperhatikan letak geografi, standard yang digunakan harus sesuai dengan yang digariskan oleh persyaratan. Beberapa hal URD versi USA dan Eropa yang harus diubah untuk disesuaikan dengan kondisi di Indonesia antara lain :

Verifikasi Vol. 2 Chapter 3 *Grid Requirements*

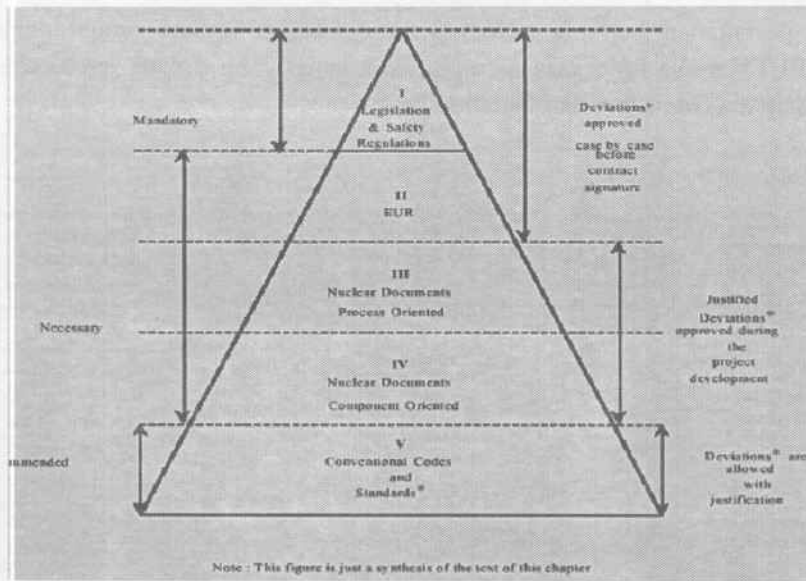
Kapasitas hubung singkat jaringan standard Euro 400 KV untuk Indonesia 500 KV.

1. Jaringan pembangkit dan gardu induk 400 KV di Indonesia 500 KV
2. USA maupun Eropa frekwensi 60 Hz di Indonesia 50 Hz.

Volume 2 chapter 4 *Design Basis*

1. *Seismic Design Levels* untuk *Design Basis Earthquake* Eropa 0.25 g (grafitasi) untuk Indonesia > 0.3 g
2. *Long-term base temperature* 24 °C to 35 °C
3. *Relative humidity in Indonesia* 60 % at 24 - 35 °C

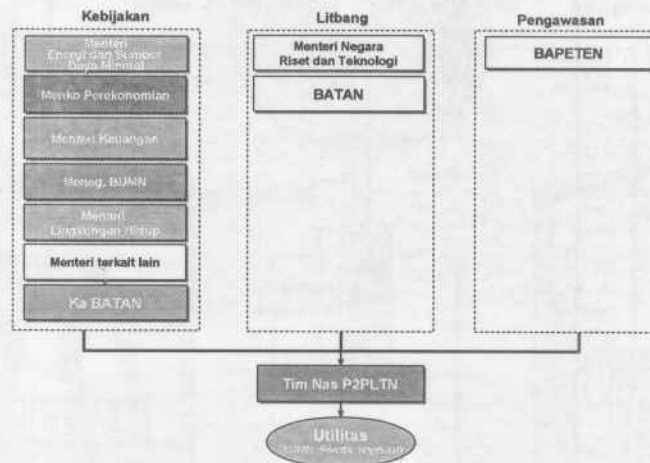
Verifikasi Vol. 2 Chapter 5 *Code and Standard*



Gambar 4. Harmonisasi Standard & Code^[2]

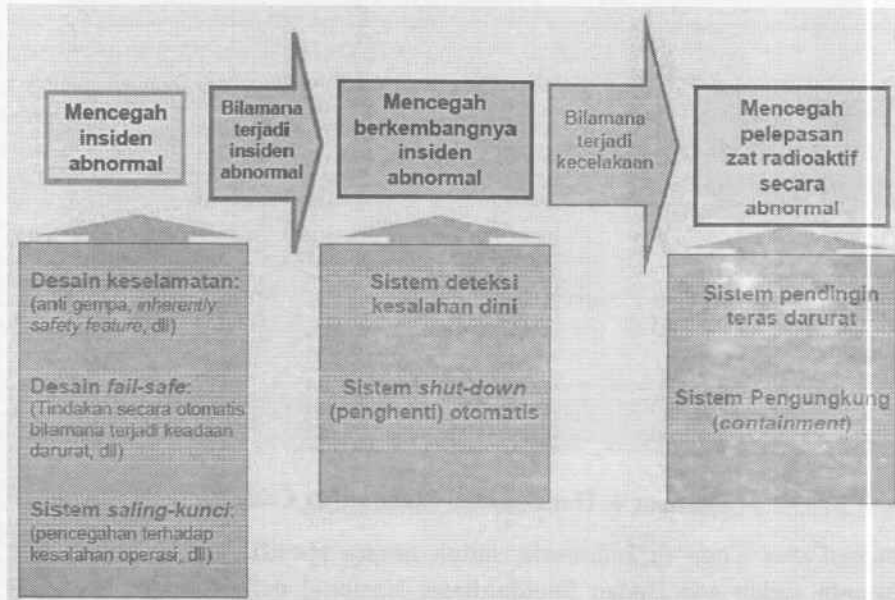
Standard and Code di Indonesia, untuk secara spesifik nuklir belum ada walaupun sudah ada Badan Standardisasi Nasional dan Standard Nasional Indonesia (SNI). Oleh karena itu *standard and code International* yang berlaku yang harus diikuti.

Hubungan Institusi terkait dalam pembangunan PLTN di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 5 :

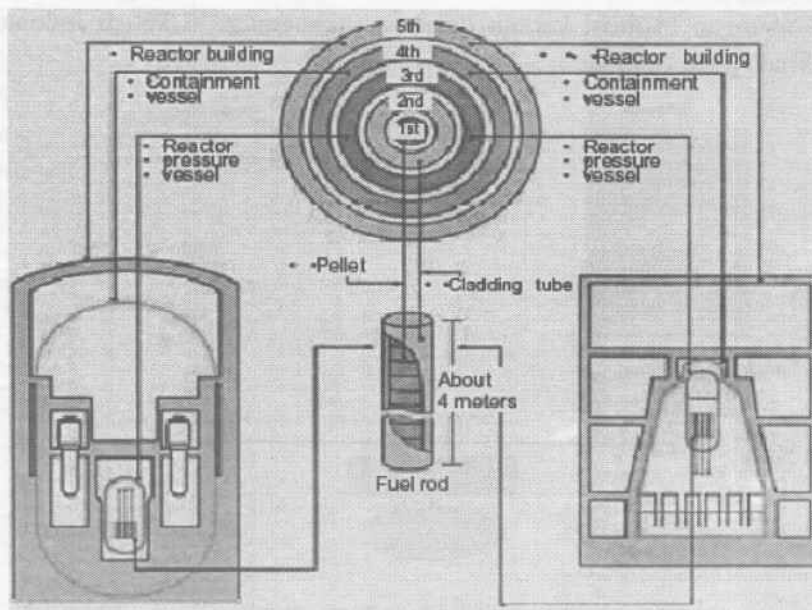


Gambar 5. Hubungan Instansi Terkait dalam Pembangunan PLTN^[7]

Sistem pertahanan berlapis sistem pengungkungan radiasi sangat penting dalam PLTN maka Indonesia mempunyai konsep yang diikuti sesuai skema yang ada pada Gambar 6 dan Gambar 7 :



Gambar 6. Sistem Pertahanan Berlapis^[7]



Gambar 7. Konsep Dasar Pada Radiasi Material^[6]

Hal-hal yang penting dalam keselamatan adalah :

Persyaratan keselamatan

1. Kesederhanaan dalam desain, batas/koefisien keamanan dalam desain, faktor manusia dan hubungan manusia-mesin, standardisasi
2. Teknologi yang telah terbukti, kelayakan konstruksi, kelayakan perawatan
3. Mengelola/mempertahankan tingkat kualitas, codes dan standard
4. Jaminan terhadap investasi

Persyaratan ekonomi

1. Kriteria dan metodologi untuk penilaian ekonomi
2. Tindakan untuk memperbaiki keekonomian

Pendanaan:

1. Pendanaan konvensional
2. Pendanaan alternatif

Persyaratan khusus nasional

1. Pengembangan SDM, infrastruktur dan partisipasi nasional, serta alih teknologi
2. Dukungan dalam proses perizinan, pilihan pola kontrak dan konsekuensi tanggung jawab
3. Garansi dan waransi yang perlu lebih panjang, bahan bakar nuklir, bahan khusus dan suku cadang
4. Dukungan teknis dari pemasok, dan kemitraan jangka panjang

Tabel 1. Kemiripan URD versi Amerika dan versi Eropa (EUR)

No	Operability and Maintainability	Operation, Maintenance and Procedures
1	Introduction	Interface Between Operators and Equipment
2	Provisions to Enhance Operability & Maintainability	Provisions to Enhance Operability and Maintainability
3	Minimizing Dose Level to Personnel (ALARA)	Provisions for Emergency Preparedness
4	Facility Requirements	Support Facilities Requirements
5	Provisions for Replacement of Major Components	Provisions for Replacement of Major Components
6	Inspection and Testing	Inspections and Testing
7	Hazardous and Toxic Chemical	Consumables for Operations and Maintenance
8		Occupational Radiation Exposure
9		Plant Arrangement and Access Control
10		Procedures Guidelines

No. 2 URD Amerika isinya memasukan No. 1 URD Eropa dan juga digunakan oleh No. 2 URD Eropa, begitu pula URD No. 3 Amerika

memasukan isi No. 3 URD Eropa tapi juga digunakan pada URD No. 8 Eropa. Sedangkan No. 4, 5 dan 6 baik URD Amerika maupun Eropa mendekati kesaman, URD Eropa masih lebih komplit yaitu No. 9 dan 10

KESIMPULAN

Dari hasil studi perbandingan URD USA dan URD Eropa ternyata URD Eropa lebih rinci dan detail serta sudah memasukkan isue teknologi terkini dan juga sudah mengadopsi beberapa aturan pokok yang direkomendasi IAEA. Oleh karena itu dalam penyusunan URD untuk PLTN yang rencananya akan dibangun di Indonesia memilih URD format Eropa. URD memang harus dibuat dan disepakati oleh tiga pihak yaitu pengguna (*user*), pemasok atau pembuat PLTN dan badan perijinan (BAPETEN), sehingga isi dari URD merupakan harmonisasi dari ketiga pihak tersebut, yang mana masing-masing pihak harus puas menerimanya dan tidak ada kekurangan syarat maupun prosedur, yakni keinginan pengguna atau user dapat dipenuhi oleh pemasok/pembuat PLTN dan memenuhi syarat-syarat dan prosedur yang ditetapkan oleh badan perijinan. URD volume 2 versi Eropa dan USA sudah sangat komplit walaupun berbeda dalam pembagiannya namun untuk penyusunan URD PLTN di Indonesia beberapa hal harus disesuaikan dengan kondisi alam di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

1. ---, IAEA – TECDOC 1167 , 2000 “*User guide for preparation user requirement*” Viena, Austria
2. ---, European Utility Requirements For LWR Nuclear Power Plant Revision C 2001 “*Volume 2 Generic Nuclear Island Requirements*”
3. ---, EPRI – USA 1999, *User Requirements Document for Light Water Reactor in USA*
4. ---, Presentasi *Safety and Licensing* team AREVA di Indonesia tanggal 22 Mei 2006 di Menristek
5. USNRC Technical Training Center *Pressurized Water Reactor Systems*
6. ---, Korea Hidro Nuclear Power Plant 2004, *Nuclear Safety, Training and Course in KNPEI Nuclear Energy System BATAN*
7. SUNARDI, “*Proseding Seminar SDM III STTN Yogyakarta 2007 Studi Persyaratan Teknis Pengguna Versi Eropa Volume 2 Untuk Penyusunan User Requirements Document Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir Di Indonesia*”

8. SUNARDI, "Persyaratan Teknis Pengguna / User Requirements Document (URD) PLTN MURIA", Prosiding Seminar Nasional ke-12 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir di UGM Yogyakarta", 12 -13 September 2006

