

DESAIN KONSEPTUAL BEJANA TEKAN REAKTOR PLTN TIPE PWR MODEL IPR1000

Mairing M. Pongtuluran
Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir (PRPN)– BATAN
E-mail : mairing_mp@yahoo.com

ABSTRAK

DESAIN KONSEPTUAL BEJANA TEKAN REAKTOR PLTN TIPE PWR MODEL IPR1000. Telah dilakukan desain konseptual bejana tekan reaktor sebagai salah satu komponen utama dalam pembangkit listrik tenaga nuklir. Tujuan desain adalah untuk memperoleh gambar konsep konfigurasi, pemilihan material dan parameter dimensi untuk mengungkung bahan pendingin reaktor, bahan bakar nuklir dan berbagai fasilitas internal reaktor lainnya. Desain konseptual bejana tekan reaktor terdiri dari rakitan kepala penutup, rakitan dinding bejana bagian atas dan rakitan bejana tekan bagian bawah serta nozel masuk dan keluar. Bejana tekan reaktor dirancang mampu menahan beban statik dan dinamik pada tekanan 2485 psig dan temperatur 650 ° F. Parameter desain konseptual mengacu pada desain AP1000, ASME Code Seksi III dan standar industri lain yang terkait dengan PLTN tipe PWR berdaya besar. Hasil desain akan digunakan sebagai referensi untuk tahapan desain berikutnya.

Kata Kunci: Desain Konseptual, Konfigurasi, Bejana, IPR1000.

ABSTRACT

A CONCEPTUAL DESIGN OF REACTOR PRESSURE VESSEL FOR NPP PWR TYPE IPR 1000 MODEL. A conceptual design of reactor pressure vessel as one of the main components in nuclear power plants has been performed. The objective is to obtain a configuration concept drawings, material selection and dimensional parameters for the confining material of the reactor coolant, fuel nuclear reactors and other internal facilities. The design consists of vessel head cover assembly, vessel up wall assembly, pressure vessel bottom assembly and the inlet and outlet nozzle designs. Reactor pressure vessel was designed for static and dynamic loads at pressure of 2485 psig and temperature of 650° F condition. The design parameters are based on the AP1000 design and comply with, ASME Code Section III and other industry standards related to big-power of PWR type nuclear power plants. The results will be used as a reference design for the next design stage.

Keywords : Conceptual Design, Configuration, Vessel, IPR1000

1. PENDAHULUAN

Bejana tekan reaktor nuklir (RPV) ini adalah suatu komponen PLTN yang didesain untuk umur 60 tahun, komponen utama itu terdiri dari perangkat bejana tekan reaktor tunggal (RPV), 2-unit generator uap (SG-Steam Generator), 1-unit tangki tekan (Pressurizer), dan 4-unit pompa pendingin reaktor serta sistem perpipaan dingin & panas^[4] yang bersirkulasi dalam *loop* tertutup dalam kurun waktu yang ditentukan. Selain itu *loop* tertutup sistem primer tersebut diperlengkapi beberapa nozel *inlet/outlet* yang fungsinya untuk mensirkulasikan air pendingin reaktor. Sistem pendingin primer ini merupakan siklus yang tertutup (2-Closed Circuit), dimana fluida pendingin bersirkulasi dalam sistem primer.

Pada bejana tekan reaktor (RPV) terdapat sejumlah pendingin primer yang mengambil panas dari bahan bakar dalam teras reaktor. Fluida panas tersebut dialirkan secara paksa dari teras reaktor pada tekanan dan temperatur tertentu. RPV model IPR1000 ini didesain untuk dapat mensuplai fluida panas yang berfungsi untuk memanaskan fluida pada generator uap, sehingga fluida pada generator uap mendidih

dan menghasilkan sejumlah uap untuk memutar turbin yang dapat menghasilkan daya termal. Fluida pada generator uap ini diubah menjadi uap basah yang akan dipisahkan oleh separator serta dikeringkan oleh perangkat pengering (*dryer*). Penukaran panas (*Heat Exchange*) dari generator uap dapat berlangsung secara kontinyu.

Sumber energi panas pada sistem PLTN PWR model IPR1000 terletak pada teras reaktor, dimana energi yang dimaksud adalah berupa energi panas/termal hasil reaksi fisi inti nuklir. Energi termal ini tidak bisa secara langsung diubah menjadi energi listrik, melainkan harus dikonversi menjadi energi mekanik oleh turbin, yang selanjutnya menjadi energi listrik oleh generator listrik. Energi termal tersebut disalurkan ke turbin melalui sistem aliran tertutup (*closed loop*). Fluida tersebut diatas yang menjadi tumpuan atau media utama yang mentransfer panas menjadi energi mekanik penggerak turbin.

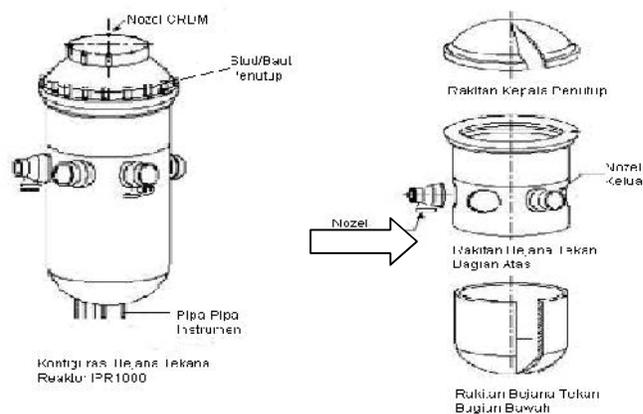
Bejana tekan reaktor (RPV) dan instalasi sistem pendingin reaktor ini merupakan rangkaian bejana silindris vertikal, rangkaian pipa dan pompa pendingin, generator uap dan pengatur tekan (*pressurizer*). Bagian atas dari bejana tekan reaktor ini berbentuk hemisperikal, sedang pada bagian tengah atas terdapat nozel yang dihubungkan dengan perpipaan sistem pendingin ke generator uap dan tekanan fluida diatur oleh *presurizer* serta dilengkapi dengan sistem pompa pendingin reaktor. Pada bejana reaktor terdapat teras reaktor sebagai wadah bahan bakar bereaksi, reflektor neutron, struktur penyangga teras, batang kendali dan bagian-bagian lain yang terkait langsung dengan teras reaktor.

Desain konseptual bejana tekan reaktor PLTN PWR IPR1000 didesain mengacu pada desain PWR konvensional, AP1000 2-loop, Westinghouse, USA. Desain konseptual RPV model IPR1000 ini merupakan gabungan dari desain bejana yang telah ada sebelumnya atau yang sudah teruji (*proven*) pemakaian dan kehandalannya.

2. METODOLOGI

Perangkat utama bejana tekan reaktor PWR model IPR1000 terdiri dari rakitan kepala penutup atas (*Cylinder Head*), rakitan bagian atas, dan rakitan bagian bawah. Pada rakitan bagian atas terdapat sejumlah penggerak batang kendali, lubang baut (*stud*), dan sejumlah nozel, sedang rakitan bagian bawah terdapat rangkaian bahan bakar dan *support*, seperti diperlihatkan pada Gambar 1.

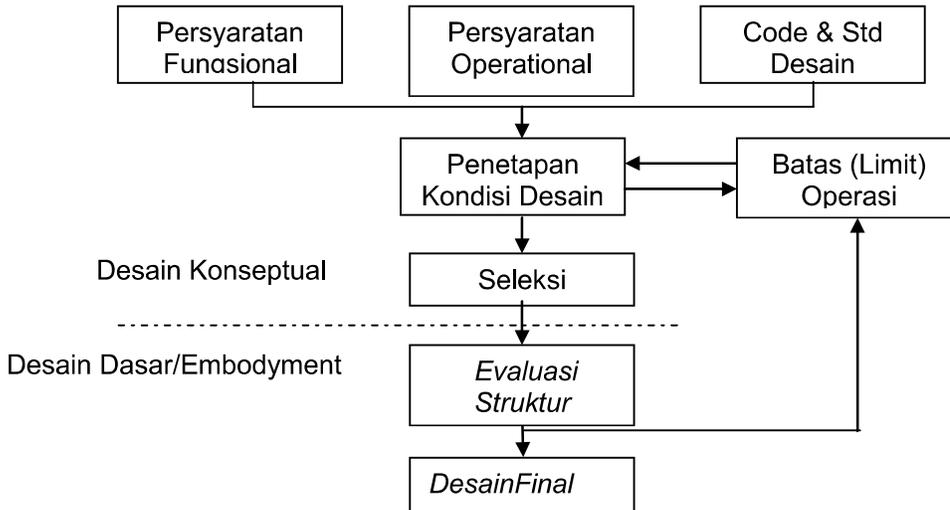
Dimensi konfigurasi bejana tekan reaktor tersebut dapat ditentukan berdasarkan volume desain yakni volume fluida & perangkat lainnya (V), tekanan maksimum yang diijinkan (P_{maks}), dan suhu maksimum yang diijinkan (T_{maks}), mengacu pada ASME seksi III kelas 1, 2 dan 3^[1], sedang pengelasan bejana tekan mengikuti ASME seksi V dan IX.



Gambar 1: Konfigurasi Bejana Tekan Reaktor PWR IPR1000

Dimensi bejana tekan reaktor (RPV) ditentukan oleh berbagai parameter material/strukturnya berdasarkan faktor keselamatan dan pertimbangan aturan-aturan serta analisisnya. Faktor tersebut dituangkan dalam diagram alir kondisi pelayanan (*services condition*) yang diperlihatkan pada Gambar 2 di bawah ini. Bejana tekan reaktor

terbuat dari paduan baja karbon dan dilapisi baja tahan karat sebagai liner yang terdiri dari 3 bagian utama yakni kepala bagian atas, dinding selinder dan kepala bagian bawah mengikuti berbagai referensi AP1000 Westinghouse. Desain konseptual bejana tekan dilakukan dengan mengikuti persyaratan fungsional, operational dan code desain yang sesuai dengan negara pembuat dengan pertimbangan menyesuaikan kondisi negara dimana reaktor tersebut dibangun. Untuk penetapan kondisi desain itu, maka dilanjutkan dengan seleksi material dan evaluasi struktur dengan batas operasi yang di inginkan ^[6]



Gambar 2 : Diagram alir Kondisi Desain Bejana Tekan

2.1 Penentuan Dimensi RPV

Dimensi bejana tekan reaktor ditentukan oleh berbagai parameter seperti bahan bakar, volume air pendingin, internal reaktor dan lain-lain, yang dapat mempengaruhi dimensi bejana tekan tersebut. Pada Gambar 1 diatas terlihat proses desain konseptual RPV, dimana beban yang bekerja pada bejana tekan reaktor seperti: tekanan, temperatur, bobot mati, faktor kondisi seismik dan perpipaan, menjadi pertimbangan utama baik berupa beban statik dan dinamik untuk menentukan tebal dinding silinder bejana tekan reaktor (t) digunakan formula menurut ASME Code, seksi III subdivisi 1: Seperti ditunjukkan pada persamaan 1) dan 2),

$$t = \frac{pR}{SE - 0,6p} \dots\dots\dots(1)$$

dan bilamana tebal dinding silinder diperkecil sesuai dengan pertimbangan desainer karena volume RPV tersebut, maka formula yang digunakan seperti berikut:

$$t = \frac{pR}{SE + 0,6p} \dots\dots\dots(2)$$

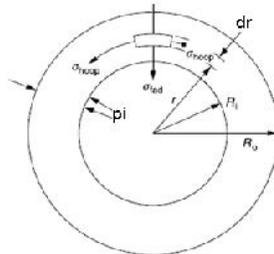
dimana, t = tebal dinding silender, S = tegangan yang diizinkan, R = Radius silender, p = tekanan, E = Efisiensi sambungan.

Berdasarkan ASME Code seksi III dan pertimbangan lainnya dapat ditentukan dimensi bejana tekan reaktor seperti yang terdapat pada Tabel 1. Dengan berdasarkan teori *Thin-shell : membrane stress*, S ^[1] : maka perhitungan ketebalan dinding dan kepala bagian atas berbentuk Hemispherikal dapat di tentukan seperti persamaan berikut :

$$S = \frac{pR}{2t} \dots\dots\dots(3)$$

$$t = \frac{pR}{2S} \dots\dots\dots(4)$$

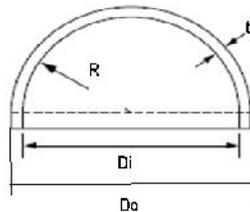
t = tebal dinding silender, S = tegangan yang diizinkan, R = Radius silender, p = tekanan



R= Ri = radius internal,
Ro = radius luar
dr = differensiasi jari-jari,
pi = tekanan internal
 σ_{hoop} = tegangan hoop,
 σ_{rad} = tegangan radial

Gambar 3 : Model Silinder Bejana Tekan Reaktor

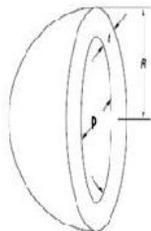
Untuk formula tersebut dapat dilihat pada Gambar 3 , Gambar 4 dan Gambar 5. Desain Konseptual Hemisferikal Kepala Bagian Atas [2]:



dimana, t = tebal dinding silender ,
Do = diameter luar
Di = Diameter dala
R = Radius silender,
p = tekanan

Gambar 4 : Konseptual Hemisferikal Kepala Bagian Atas

Desain Konseptual Hemisferikal Kepala Bagian Bawah [1]



dimana,
t = tebal dinding silender ,
R = Radius silender,
p = tekanan

Gambar 5 : Desain Konseptual Hemisferikal Kepala Bawah

2.2 Volume Aliran Massa Fluida Pendingin Reaktor (F) [6] :

$$F = \frac{Pth}{cp.\Delta T} \dots\dots\dots(5)$$

dimana : Pth= daya termis rata-rata, cp = panas spesifik, ΔT = selisih temperatur masuk dan keluar.

Dengan mengetahui parameter-parameter diatas dapat ditentukan dimensi dari bejana tekan reaktor (RPV) dari IPR1000 tipe PWR tersebut.

2.3 Pemilihan Material RPV

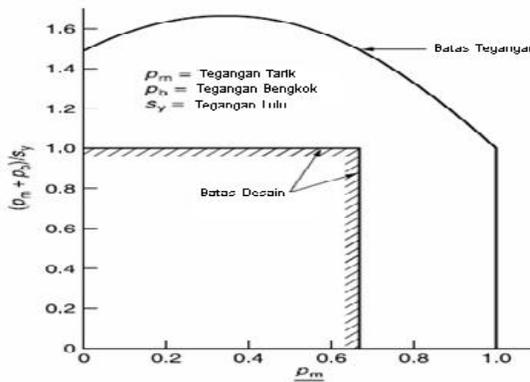
Material yang digunakan pada desain konseptual RPV ditentukan berdasarkan ASME code seksi II dan V. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 3 . Untuk pertimbangan faktor bukling, pada kondisi kritis tekanan dihitung pada dua kondisi seperti yang ditunjukkan pada persamaan (5) dan (6) ^[7].

$$\frac{Do \geq 10}{t} \dots\dots\dots(6) \quad \frac{Do \geq 10}{t} \dots\dots\dots(7)$$

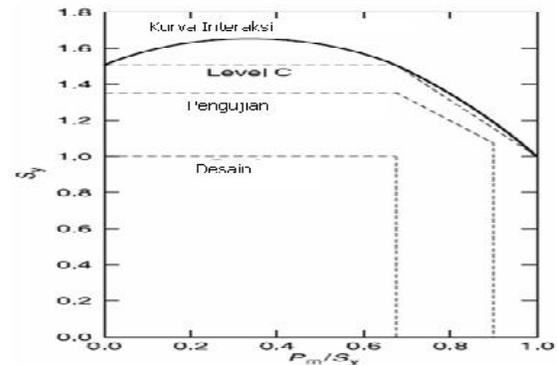
Kondisi pembebanan yang dipertimbangkan dalam suatu bejana tekan seperti tekanan, bobot mati, reaksi perpipaan, seismik, ekspansi termal dan beban lainnya sebagai batasan pelayanan antara lain: desain kondisi, desain pengujian, level A, Level B, Level C dan D ^[6] :

Tabel 1: Kondisi Layanan pada RPV.

Tingkat Pelayanan	Kondisi Desain	Kondisi Operasi
Level A (Normal)	$P_m < S_m$ $P_m + P_b < 1.5 S$	Operasi Normal
Level B (Up set)	$P_m < 0.9 S_y$ $P_m + P_b < 1.35 S_y$, $P_m < 0.67 S$ $P_m + P_b < (2.5S_y - 1.5P_m)$, untuk $0.67 S_y < P_m < 0.9 S_y$	Operasi dengan kemungkinan terjadi gangguan, tanpa shutdown
Level C (Emergency)	$P_m > S_y$ $P_i + P_b < 1.5 S_y$, untuk $P_m < 0.67 S$ $P_i + P_b < (2.5S_y - 1.5P_i)$ untuk $0.67 S_y$	Operasi dengan kemungkinan terjadi gangguan yang tidak dapat diatasi tapi reaktor tidak di shutdown.
Level D (Faulted)	$P_m < \text{kurang } 0.75 S_u \text{ dan } @.4 S_m$ $P_m + P_b < \text{kurang } 1.05 S_u \text{ dan } 3.6 S_m$	Operasi Berhenti



Gambar 6 : Membrane plus Bengkok VS Tegangan Membrane



Gambar 7 : Batas ASME Code

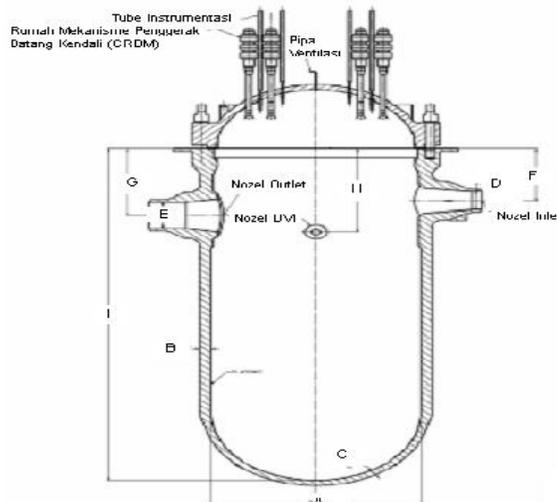
Desain konseptual bejana tekan reaktor (RPV) harus memenuhi persyaratan fungsional dan persyaratan operasional. Desain konseptual bejana tekan reaktor harus memenuhi code dan stándar ASME Code seksi III, kelas 1, 2 dan 3 dari sistem nuklir, sedang desain material dari komponen nuklir harus memenuhi standar yang ekivalen ASME code seksi V, jika diproduksi dalam negeri, sedangkan program jaminan mutu memenuhi seri 9000 (ISO) atau yang ekivalen. Pengelasan atau penyambungan perangkat/komponen, menggunakan ASME seksi IX, sedangkan penyangga menggunakan ASME seksi NF. Regulasi BAPETEN atau regulasi Indonesia sebaiknya mengadopsi Nureg/NRG regulasi dari USA (Reg. Guide10 CFR 50, 50.55a dan *General Design Criterion 1*) atau standar Internasional lainnya yang sepadan dengan regulasi NRC. Beberapa persyaratan berikut menunjukkan persyaratan-persyaratan desain

konseptual bejana tekan reaktor. Persyaratan fungsional IPR1000 tersebut adalah sebagai berikut ^[4]

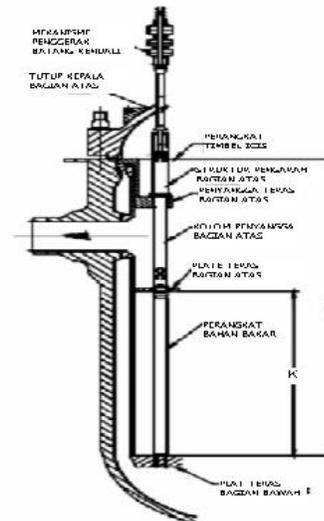
1. Bejana tekan sebagai bagian utama sistem pendingin reaktor berfungsi untuk memindahkan panas yang dihasilkan selama operasi daya, dan panas yang dihasilkan ketika reaktor subkritis, termasuk fase awal selama mendinginkan teras reaktor dari IPR1000.
2. Bejana tekan sebagai bagian utama sistem pendingin reaktor berfungsi untuk memindahkan panas yang dihasilkan selama operasi fase pendinginan pembangkit dan *cold shutdown* ke sistem pengambil panas sisa normal.
3. Bejana tekan sebagai bagian utama sistem pendingin reaktor berfungsi untuk menyediakan air yang digunakan sebagai moderator neutron teras dan reflektor, menghemat neutron thermal dan memperbaiki ekonomi neutron.
4. Bejana reaktor berfungsi sebagai penyangga teras dan mekanisme penggerak batang kendali. Tapal batas (*boundary*) tekanan sistem pendingin reaktor menyesuaikan suhu dan tekanan yang berhubungan dengan *transient* operasional.
5. Kepala bagian atas bejana reaktor dilengkapi dengan sistem penghubung lubang angin sesuai dengan ketentuan persyaratan desain 10 CFR 50.34 (f)(2)(vi) (*TMI Action*)

3.HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain konseptual bejana tekan reaktor PLTN PWR IPR1000 dirancang sedemikian rupa sehingga dapat mengungkung fluida dan teras reaktor serta bagian reaktor internal lainnya. Pada teras reaktor tersebut di dalamnya terdapat bahan bakar nuklir serta berbagai perangkat & penyangga ^[3]. Bejana tekan reaktor tersebut terbuat dari paduan baja karbon yang di dalamnya terdapat dinding pemisah (*barrier*) antara fluida pendingin yang masuk kedalam dinding reaktor (*down comer*) dengan fluida pada teras reaktor yang dilengkapi dengan reflektor neutron. Fluida pendingin yang keluar dari teras reaktor tersebut tidak dibolehkan mendidih. Selanjutnya dapat dituangkan gambaran dimensi bejana tekan reaktor PWR IPR1000 seperti terlihat pada Tabel 2 ^[4]



Gambar 8: Desain Konseptual Potongan RVP



Gambar 9: Desain Irisan RPV

Dimensi bejana tekan reaktor diuraikan pada Tabel 1 di bawah ini:

Tabel 1 : Desain Konseptual Dimensi Bejana Tekan Reaktor

No	Diskripsi	Dimensi / Elevasi(in)	Nilai Nominal(in)	Variasi Aseptabel (in)
1	Diameter Dalam Bejana Tekan pada <i>Beltline (Cladding inside)</i>	A	159	+1.0/-1.0
2	Tebal Dinding Bejana Tekan (tanpa <i>cladding</i>)	B	8,4	+1.0/-0.12
3	Tebal Dinding pada <i>Bottom Head</i> (tanpa <i>Cladding</i>)	C	6,0	+1.0/-0.12
4	Diameter Dalam Nozel <i>Inlet</i> pada <i>Safe End</i>	D	22,0	+0.35/-0.10
5	Diameter Dalam Nozel <i>Outlet</i> pada <i>Safe End</i>	E	31,0	+0.35/-0.10
6	Elevasi dari Bejana Tekan pada CL nozel <i>Inlet</i>	F	62,5	+0.25/-0.25
7	Elevasi dari Bejana Tekan pada CL nozel <i>Outlet</i>	G	80,0	+0.25/-0.25
8	Elevasi dari permukaan Bejana Tekan Nozel Injeksi Bejana Tekan Langsung	H	100,0	+0.25/-0.25
9	Elevasi Bejana Tekan permukaan pada inside Bejana Tekan <i>Bottom Head (Cladding Inside)</i>	I	397,50	+1.0/-0.50
10	Elevasi Bejana Tekan permukaan pada Top Plat Penyangga Teras	J	327,3	+0.50/-0.50
11	Jarak Separasi antara Plat Teras Atas/penyangga <i>Top of Lower Core</i>	K	189,8	+0.20/-0.20

Bejana tekan reaktor IPR1000 Gambar 9, terbuat dari paduan baja karbon, pada kepala bagian atas terdapat ventilasi dan penetrasi mekanisme penggerak batang kendali. Bejana tekan reaktor IPR1000 telah digabung dengan desain bejana/tangki lainnya yang telah *proven*. Bejana mempunyai *inlet* nozel dan *outlet* yang ditempatkan dalam dua bidang horizontal diantara *upper head flange* dan puncak teras. Nozel ditempatkan untuk menyediakan aliran *cross-flow* yang sesuai dengan bagian luar bejana dan untuk menghasilkan susunan optimum peralatan Sistem Pendingin Reaktor (SPR). *Inlet* dan *outlet* nozel saling mengimbangi, dengan posisi *inlet* di atas *outlet*, untuk memenuhi operasi di pertengahan *loop* pada saat pemindahan pompa pendingin utama dengan tanpa pembongkaran teras. Pendingin masuk bejana melalui *inlet* nozel dan mengalir turun ke *annulus* dinding bejana teras,berbelok di dasar, dan mengalir ke atas melalui teras menuju *outlet* nozel.

Bejana tekan reaktor (RPV) sebagai bagian integral dari *boundary* tekanan reaktor, didesain, difabrikasi, direksi (konstruksi) dan dites dengan standard kualitas yang sesuai dengan persyaratan 10 CFR 50, 50.55a dan *General Design Criterion 1*. Desain dan fabrikasi dari bejana reaktor dilakukan berdasar *ASME Code, Section III*, persyaratan *Class 1*. Kinerja dan dasar-dasar desain keselamatan dari bejana reaktor (RPV) adalah sebagai berikut ^{[1][2]} :

1. Bejana tekan reaktor merupakan *boundary* tekanan dengan integritas tinggi terhadap pendingin reaktor, teras reaktor penghasil panas dan produk fisi bahan bakar. Bejana reaktor adalah *boundary* tekanan pada sistem primer dan *barrier* sekunder terhadap pelepasan produk fisi radioaktif.
2. Bejana tekan reaktor merupakan penyangga bagian dalam reaktor dan teras untuk menjamin bahwa teras tetap dalam konfigurasi yang dapat didinginkan. Bejana tekan reaktor mengarahkan aliran pendingin utama melalui teras dengan *interface* tertutup antara bagian dalam reaktor dan pipa aliran (*flow skirt*). Bejana tekan reaktor ditempatkan di bagian dalam teras dan *alignment*.
3. Bejana tekan reaktor merupakan penyangga dan *alignment* untuk mekanisme penggerak batang kendali dan perangkat instrumentasi di dalam teras. Bejana tekan adalah penyangga dan *alignment* pada rakitan *head* secara terintegrasi.
4. Bejana tekan reaktor merupakan sekat yang efektif di antara rongga pengisian bahan bakar dan *sump* selama operasi pengisian bahan bakar. Bejana tekan reaktor

Tabel 2: Pendekatan Nilai Desain Konseptual

Pendekatan Nilai	
Tekanan desain (psig)	2485
Temperatur desain (°F)	650
Tinggi keseluruhan bejana dan penutup/kepala atas, penutup/kepala bawah diameter luar bagian atas mekanisme batang kendali (ft-in)	45' 9"
Jumlah <i>studs</i> penutup/kepala bagian atas reaktor	45
Diameter <i>studs</i> penutup/kepala bagian atas reaktor (in)	7
Diameter luar <i>flange</i> penutup/kepala bagian atas (in)	188
Diameter dalam <i>flange</i> (in)	148,81
Diameter luar <i>shell</i> (in)	176
Diameter dalam <i>shell</i> (in)	159
Diameter dalam nozel <i>inlet</i> (in)	22
Diameter luar nozel <i>inlet</i> (in)	31
Ketebalan nominal Kelongsong (in)	0,22
Ketebalan minimum kepala bagian atas (in)	6
Ketebalan <i>bellline</i> bejana (in)	8
Ketebalan penutup/kepala bagian atas (in)	6,25

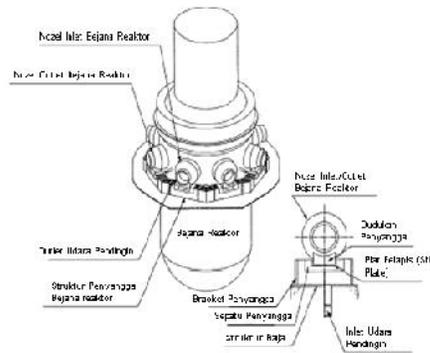
Tabel 3: Spesifikasi Material Bejana Tekan IPR1000 ^[5]

Komponen	Material	Kelas, <i>grade</i> atau tipe
Komponen Bejana Reaktor		
Plat bagian kepala (selain teras)	SA-533 SA-508	Tipe B, CL 1 GR 3 CL 1
shell	SA-508	GR 3 CL 1
<i>Flange shell dan nozzle forgings</i>	SA-508	GR 3 CL 1
<i>Nozzle safe ends</i>	SA-182	F316, F316L, F316LN
Peralatan penggerak batang kendali (CRDM)	SB-167 SB-166 atau SA-182	N06690 N06690 Atau F304, F304L, F304LN
Pipa peralatan instrumentasi, kepala bagian atas	SB-167 SB-166 atau SA-182 SA-312 SA-376	N06690 N06690 atau F304, F304L, F304LN F316, F316L, F316LN F304, F304L, F304LN F316, F316L, F316LN F304, F304LN F316, F316LN
<i>Studs penutup</i>	SA-540	GR B23 CL 3 atau GR B24 CL 3
Pipa pemantau/monitor	SA-312 SA-376 SA-182	TP304, TP304L, TP304LN TP316, TP316L, TP316LN TP304, TP304LN TP316, TP316LN F304, F304L, F304LN F316, F316L, F316LN
Komponen	Material	Kelas, <i>grade</i> atau tipe
Pipa ventilasi	SA-166 SA-167 SA-312 SA-376	N06690 N06690 TP304, TP304L, TP304LN TP316, TP316L, TP316LN TP304, TP304LN TP316, TP316LN
Bahan-bahan untuk pengelasan (<i>Welding consumable</i>)		
Pelapisan anti karat, mal, dan mengelas	SFA 54 dan 5,9 SFA 5,11	E308, E308L, E309, E309L E316, E316L, ER308 ER309, ER308L, ER316, ER316
Mur <i>manway</i>	SA-193 SA-194	GR B7 GR 2H
Batas tekanan lasan campuran logam rendah (low alloy pressure boundary w.	SA-351	CF 3A atau CF8A

3.2 Desain Konseptual Penyangga Bejana Tekan Reaktor

Desain konseptual penyangga bejana tekan reaktor terdiri dari 4 jenis, dengan struktur *box steel* pendingin udara yang ditempatkan di samping nozel *inlet*. *Box* pendingin udara berfungsi memperoleh suhu desain beton 200°F. Untuk mengurangi perpindahan panas dari nozel ke beton, udara pendingin di-*baffle* (diaduk) secara vertikal melalui penyangga dan udara panas dikeluarkan di bagian puncak [3].

Beban vertikal dan horizontal dialirkan dari dasar nozel bejana reaktor ke struktur *box* melalui suatu mesin “*shoe*” yang integral menuju puncak *box*. Bantalan penahan nozel di atas pelat, dilumasi secara permanen saat pergerakan termal radial dari nozel, sehingga meminimalkan hambatan gesekan akibat pergerakan. Bejana penyangga kotak mentransfer beban dari bejana tekan reaktor ke penyangga vertikal dan horizontal dalam dinding beton pelindung primer [5].



Gambar 11 : Desain konseptual penyangga bejana tekan reaktor

4. KESIMPULAN

Bejana Tekan Reaktor (RPV) merupakan perangkat utama dan penting pada sistem primer PLTN PWR yang di dalamnya terdapat bahan bakar reaktor, terjadinya reaksi berantai menyebabkan pelepasan neutron dan panas serta harus mampu menahan bombardir neutron yang terjadi pada dinding reaktor.

Sejumlah bahan pendingin dan perangkat lainnya yang memiliki bobot seperti bahan bakar dan reaktor internal, sehingga desain bejana tekan perlu pertimbangan-pertimbangan untuk menahan beban seperti bobot, beban tegangan akibat termal atau utamanya beban seismik sebagai akibat pengaruh gempa.

Berdasarkan konfigurasi desain dan pemilihan material tersebut di atas, hal tersebut merupakan faktor pertimbangan untuk memenuhi kriteria Kehandalan, Ketersediaan dan Kemudahan merawat (RAM-Reliability, Availability dan Maintainability) dengan beban, termal, seismik akan memenuhi ASME Code Seksi III, V, XI dan standar industri lainnya yang akan diverifikasi pada desain dasar/*embodiment* atau detail desain.

Bilamana industri domestik tertarik untuk melakukan fabrikasi bejana tekan reaktor (RPV), maka sudah sebaiknya mempersiapkan Code dan Standar dan regulasi dengan mengadopsi ASME Code dan Standar Industri dari negara fabrikasi misalnya USA, Jepang (JSME, JIS, MITI) atau Korsel. Untuk mempercepat partisipasi domestik, maka diperlukan Indo SME, SNI (ANS, AISC etc) dan regulasi yang mengacu pada NRC ataulainnya.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Anonimous, ASME Code Seksi III , Sistem Nuklir Kelas 1, 2, 3, 2004.
- [2]. Anonimous, ASME Seksi II, NF, *Support*, 2004. Anonimous, ASME Seksi IX, 2004.
- [3]. Anonimous, ANS Safety Class 2, Quality Group B, 2004
- [4]. SOMNACH C, *Pressure Vessel Design & Practice*, CRC Practice, 2005.
- [5]. DENNIS MOSS, *Pressure Vessel Design Manual*, 1975.
- [6]. Steve Munn, Laurence Brundrett P.Eng. *Pressure Vessel Engineering*, 2005.