

## **ANALISIS KOMPARASI SISTEM KESELAMATAN REAKTOR BWR FUKUSHIMA DAN RGTT200K AKIBAT GEMPA BUMI DAN TSUNAMI**

**Piping Supriatna**

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir (PTRKN) - BATAN  
Kawasan PUSPIPTEK Gd. No. 80 Serpong, Tangerang Selatan 15310

e-mail: [ps\\_batan@yahoo.com](mailto:ps_batan@yahoo.com)

### **ABSTRAK**

**ANALISIS KOMPARASI SISTEM KESELAMATAN REAKTOR BWR FUKUSHIMA DAN RGTT200K AKIBAT GEMPA BUMI DAN TSUNAMI.** RGTT200K adalah desain konseptual reaktor berpendingin gas temperatur tinggi, merupakan reaktor kogenerasi dengan daya thermal 200MW, yang akan dibangun di Indonesia. Setiap reaktor memiliki sistem keselamatan masing-masing sesuai dengan teknologi reaktor yang diterapkannya. Untuk reaktor konvensional sistem keselamatan reaktor memerlukan campur tangan dari operator yang menanganinya, sedangkan untuk sistem keselamatan reaktor maju sistem keselamatannya lebih bersifat pasif dan inherent safety, dimana tanpa campur tangan dari operator sistem keselamatan reaktor dapat bekerja dengan baik. Dalam kajian ini telah dilakukan analisis komparasi sistem keselamatan reaktor konvensional (BWR Fukushima) dengan sistem keselamatan reaktor maju (RGTT200K), dalam kaitannya jika reaktor RGTT200K mendapat musibah gempa bumi dan diterpa gelombang tsunami seperti di Fukushima. Hasil analisis menunjukkan bahwa sistem keselamatan reaktor maju (RGTT200K), bisa berjalan dengan baik dan aman walaupun tanpa adanya campur tangan dari operator.

**Kata kunci:** RGTT200K, Fukushima, keselamatan reaktor, gempa bumi, tsunami

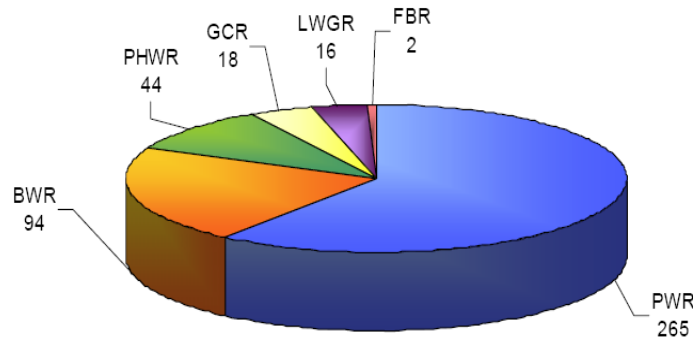
### **ABSTRACT**

**COMPARISON ANALYSIS OF FUKUSHIMA BWR AND RGTT200K SAFETY SYSTEM CONCERNING IMPACT OF EARTHQUAKE AND TSUNAMI.** RGTT200K is a conceptual design of high temperature gas cooled reactor, cogeneration reactor type with 200MW of thermal power, which will be built in Indonesia. Every reactor has a special safety system accordance with reactor technology to be implemented. For conventional reactor safety system is going on dependence to the operator. For advance reactor safety system is going on passively and inherent safety also independence to the operator but the safety system is running well. In this assessment has been done safety system comparison analysis between BWR Fukushima and RGTT200K, which assumed the RGTT200K get earthquake and tsunami disaster like in Fukushima. The analysis result give reactor safety system of RGTT200K is running well and safe, even without action and effort of reactor operator.

**Keywords:** RGTT200K, Fukushima, reactor safety, earthquake, tsunami.

### **1. PENDAHULUAN**

Generasi awal PLTN umumnya memiliki umur operasi sekitar 30 tahun. Fukushima Daiichi menggunakan BWR generasi pertama (Mark I), mulai beroperasi tahun 1970-an dan merupakan PLTN yang teknologinya tergo-long sudah usang. Generasi yang lebih baru dirancang untuk bisa dioperasikan selama 40-60 tahun. Sekitar tujuh tipe PLTN yang telah dioperasikan di dunia, yaitu PWR, BWR, PHWR, GCR, LWGR dan FBR. Penggunaan jenis PWR menempati urutan pertama (70%), urutan kedua ditempati oleh jenis BWR (Gambar 1 ).



**Gambar 1: Distribusi penggunaan jenis PLTN<sup>[1]</sup>**

Reaktor BWR terus mengalami pengembangan, terutama pada peningkatan sistem keamanannya. BWR Mark I masih menggunakan sistem pompa pendingin yang bergantung pada pasokan listrik. Pada generasi kedua, BWR Mark II dan ABWR, pendinginan air dari kondenser dimasukkan kembali ke dalam reaktor sebagai air umpan, melalui proses sirkulasi alamiah (termosifon) menggunakan cerobong besar dan tinggi. BWR yang digunakan di Jepang adalah tipe Mark I, III, IV, dan ABWR. ABWR berukuran lebih besar dan memiliki sistem pembungkus bahan bakar yang dapat menahan tekanan alami lebih baik dari generasi awal. Keunggulan BWR adalah harganya relatif lebih murah dan ukuran lebih kecil. Pada BWR, reaksi fisi inti atom menggunakan uranium alam yang diperkaya dari 0,7 persen menjadi 3-5 persen. PWR menggunakan dua siklus pendinginan, siklus pertama diberi tekanan tinggi untuk menghindari pendidihan air pendingin dalam reaktor dan siklus kedua untuk sistem konversi energi.

Sistem keselamatan reaktor sejak dari generasi awal sudah diterapkan dalam pengoperasian reaktor nuklir, mulai dari sistem keselamatan berlapis (*defence in depth*), sistem keselamatan pasif dimana sistem keselamatan pengoperasian reaktor akan tetap berjalan walaupun tidak ada tindakan apa pun secara langsung dari operator reaktor, *inherent safety system* (sistem keselamatan melekat), serta penerapan teknologi sistem pakar (*expert system*) untuk lebih meningkatkan kualitas keselamatan dalam pengoperasian reaktor. Namun sayangnya penerapan perkembangan teknologi keselamatan reaktor tidak diikuti dengan penggantian teknologi lama yang sudah terpasang, dengan teknologi keselamatan yang lebih maju.

Perkembangan teknologi reaktor saat ini khususnya yang diterapkan pada reaktor generasi maju (*advance reactor / Gen-IV*) yang umumnya meru-pakan HTGR (*High Temperature Gas-cooled Reactor*), telah diterapkan sistem keselamatan pengoperasian reaktor yang selain memperhatikan masalah kesela-matan (*safety*) juga memperhatikan masalah keandal-annya (*reliability*) yang menyangkut *excellence*, *core damage* dan *emergency response*<sup>[2]</sup>. Untuk menjamin keamanan dan keandalan dalam pengope-rasian reaktor supaya berjalan secara sempurna (*error free*), diterapkan peraturan yang ketat untuk menghindari terjadinya kegagalan akibat *human error*, dan penerapan teknologi *expert system* untuk menghindari terjadinya kegagalan akibat *design error*. Penerapan teknologi keselamatan reaktor Gen-IV, khususnya untuk reaktor RGTT200K didesain dengan sistem keselamatan yang aman dan handal, mulai dari desain bahan bakarnya yang berbentuk

bola (jenis PBR) yang sangat kompak sedemikian rupa, sehingga kecil sekali kemungkinan terjadinya pelepasan produk fisi maupun pelelehan bahan bakar seandainya terjadi kegagalan operasi reaktor yang paling parah sekalipun. Demikian juga dengan desain struktur teras reaktor, yang berupa sistem bejana tekan (*pressure vessel*) yang bagian dalamnya terdiri dari struktur teras ceramic dengan dinding reflektor dari bahan grafit, yang dapat menahan panas sampai di atas 2000°C<sup>[3]</sup>.

Tujuan dari kajian ini adalah mengambil manfaat pembelajaran dari kasus kecelakaan reaktor di Fukushima Jepang, khususnya mengenai kegagalan sistem keselamatan reaktor BWR Fukushima dalam mengantisipasi bencana besar gempa bumi dengan skala 9,0 Skala Richter, dan hantaman gelombang tsunami dengan ketinggian mencapai 14 meter. Dengan demikian dapat dipahami kelemahan sistem keselamatan reaktor tersebut. Selain itu juga membandingkannya dengan sistem keselamatan reaktor RGTT200K yang akan dibangun di Indonesia, sehingga dengan memperhatikan berbagai aspek kemungkinan bencana besar yang mungkin dapat terjadi di Indonesia, diharapkan desain sistem keselamatan reaktor RGTT200K akan lebih baik unjuk kerjanya, lebih aman dan lebih handal. Dengan semakin baiknya kualitas sistem keselamatan pengoperasian reaktor, diharapkan dapat lebih meningkatkan dan menumbuhkan kepercayaan masyarakat terhadap sistem keselamatan reaktor yang dioperasikan khususnya dan teknologi nuklir pada umumnya.

## 2. TEORI

Pada dasarnya fungsi sistem keselamatan reaktor adalah untuk kendali reaktivitas, pemindahan panas dari teras reaktor dan mengungkung pelepasan material produk fisi ke luar lingkungan. Sistem keselamatan reaktor secara umum dilakukan secara *defence in depth* (keselamatan berlapis), yang pelaksanaannya meliputi beberapa tahapan tindakan keselamatan yang meliputi :

1. Mencegah kegagalan dan operasi tidak normal.
2. Pengendalian operasi tidak normal dan deteksi kegagalan.
3. Pengendalian kecelakaan dalam batas disain.
4. Pengendalian kondisi kecelakaan parah instalasi termasuk pencegahan dari perluasan kejadian dan mitigasi konsekuensi.
5. Mitigasi konsekuensi radiologis pelepasan material radioaktif yang signifikan.

Penahan fisik berlapis (*multiple barrier*) sebagai penghalang ganda dalam sistem keselamatan reaktor tujuannya adalah selain untuk mitigasi kecelakaan nuklir secara umum (fisik), juga untuk meminimalkan resiko terjadinya pelepasan produk fisi ke lingkungan luar.

- Lapisan penghalang pertama adalah matriks pellet bahan bakar. Pada matriks pellet bahan bakar UO<sub>2</sub> ini, Uranium-235 memiliki pengkayaan sekitar 3 sampai 5 persen. Pellet bahan bakar ini merupakan hasil proses *hot impact densification* dan proses sintering pellet bahan bakar pada temperatur 1200°C.

- Lapisan penghalang kedua adalah lapisan zirco-nium sebagai kelongsong (*cladding*) dari sekumpulan pellet bahan bakar  $UO_2$ , yang selanjutnya digabungkan menjadi bundel bahan bakar reaktor.
- Lapisan penghalang ketiga adalah bejana tekan sebagai pelindung seandainya terjadi pelepasan produk fisi dari kelongsong bahan bakar.
- Lapisan penghalang ke-empat adalah pengungkung reaktor (*reactor containment*) sebagai pelindung seandainya terjadi pelepasan produk fisi dari bejana tekan reaktor.

Sistem keselamatan reaktor *defence in depth* dalam penerapannya ditunjang oleh beberapa metode, diantaranya adalah sistem keselamatan aktif (*active safety system*), sistem keselamatan pasif (*passive safety system*) dan sistem keselamatan melekat (*inherent safety system*).

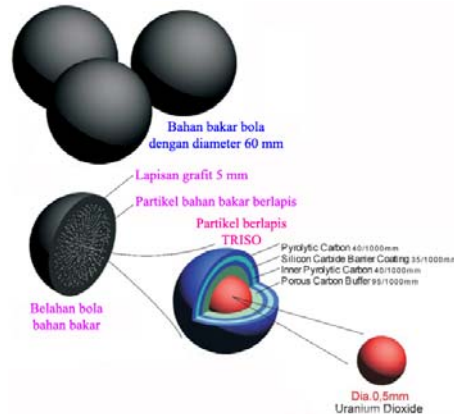
Sistem keselamatan aktif adalah sistem keselamatan yang memerlukan tindakan (*action*) dari operator, seperti misalnya reaktor *shutdown*, pengatur daya, dll. Sistem keselamatan pasif adalah tindakan keselamatan yang diatur melalui nilai batas ambang keselamatan dari suatu parameter operasi, seperti misalnya membukanya ventilasi udara darurat, reaktor trip karena temperatur pendingin melewati batas yang diijinkan atau reaktivitas yang terjadi berlebihan.

Sistem keselamatan melekat (*inherent safety*) pada dasarnya memanfaatkan pengaruh gravitasi, perbedaan kerapatan massa pendingin, perbedaan tekanan udara, dll. Sistem keselamatan melekat bekerja tidak bergantung pada pasokan listrik. Sistem keselamatan melekat adalah sistem keselamatan yang selain tidak memerlukan tindakan dari operator, juga sistem keselamatan ini bekerja secara otomatis melakukan tindakan penyelamatan walaupun terjadi kecelakaan yang parah apapun.

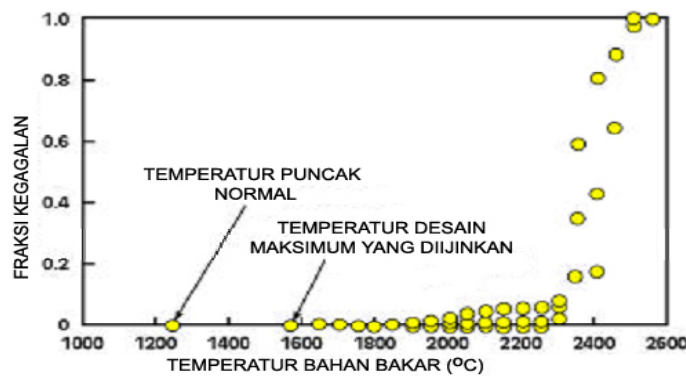
### **2.1. Penerapan sistem penghalang ganda pada RGTT200K**

*Defence in depth* pada RGTT200K sudah diterapkan mulai dari bahan bakarnya yang berbentuk bola dengan cara *multiple barrier*. Kernel  $UO_2$  (uranium dioksida) dengan diameter 0,5mm dilapisi oleh beberapa lapisan bahan pelindung, yaitu *porous carbon buffer* (95 $\mu$ m), *inner pyrolytic carbon* (40 $\mu$ m), *silicon carbide barrier coating* (35 $\mu$ m) dan *outer pyrolytic carbon* (40 $\mu$ m) membentuk partikel berlapis TRISO yang memiliki diameter 920  $\mu$ m. Selanjutnya sejumlah partikel TRISO dicampurkan dalam grafit dan dibungkus dengan lapisan grafit setebal 5 mm, membentuk bahan bakar bola (*pebble bed*) dengan diameter 60mm (Gambar 2).

Grafit (carbon) memiliki *melting point* sekitar 2500°C, sehingga ketika seandainya terjadi kegagalan operasi temperatur bahan bakar naik hingga mencapai 1500°C, hal ini tidak akan mempengaruhi ataupun merusak keutuhan dari bahan bakar bola maupun partikel-partikel TRISO yang ada di dalamnya. Partikel TRISO akan mulai mengalami kerusakan bentuk pada temperatur di atas 2000°C (Gambar 3).

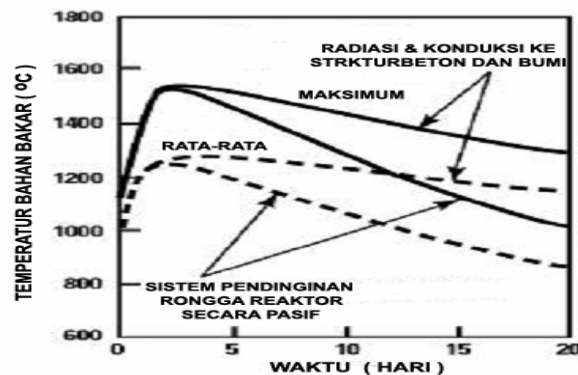


Gambar 2. Formasi TRISO pada bahan bakar ben-tuk bola untuk Pebble Bed Reaktor<sup>[4]</sup>.



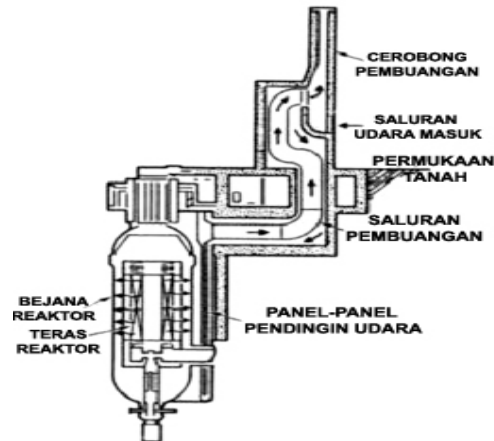
Gambar 3. Pengaruh temperatur tinggi terhadap keutuhan formasi bentuk TRISO<sup>[5]</sup>.

Karakteristik lapisan *porous carbon buffer* di dalam partikel TRISO adalah mampu menahan / menampung produk fisi dari kernel UO<sub>2</sub>. Fungsi lapisan-lapisan lainnya adalah untuk menjaga kemungkinan terjadinya pelepasan produk fisi keluar dari partikel TRISO. Lapisan pelindung lainnya setelah partikel TRISO adalah material grafit yang tercampur dengan partikel-partikel TRISO. Dengan demikian desain konstruksi bahan bakar bola (*Pebble bed*) ini dapat dikatakan sempurna untuk menjaga terjadinya pelepasan produk fisi UO<sub>2</sub> keluar dari bahan bakar bola.

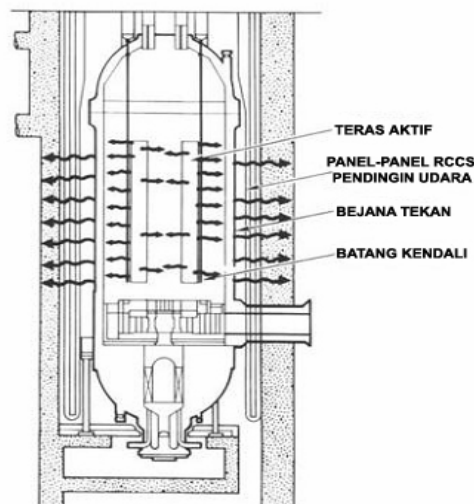


Gambar 4. Perubahan temperatur pada teras reaktor pasca kehilangan arus sirkulasi pendingin<sup>[5]</sup>.

Dalam kondisi operasi normal temperatur yang dicapai oleh bahan bakar sekitar 1000 °C. Pada kondisi tidak ada sirkulasi pendingin akibat kegagalan operasi reaktor, temperatur bahan bakar dapat meningkat sam-pai sekitar 1500°C, tapi kemudian menurun kembali (Gambar 4). Hal ini disebabkan oleh sistem pendinginan rongga reaktor secara pasif (*passive reactor cavity cooling system*, seperti terlihat pada Gambar 5) serta pendinginan secara radiasi dan konduksi ke struktur beton bangunan dan tanah / bumi (Gambar 6).



Gambar 5. Keselamatan pasif dengan sirkulasi udara melalui sistem pendinginan rongga reaktor<sup>[5]</sup>.



Gambar 6. Keselamatan pasif dengan pendinginan secara radiasi dan konduksi ke struktur beton bangunan dan bumi<sup>[5]</sup>.

## 2.2. Kejadian kecelakaan nuklir Fukushima.

Kecelakaan reaktor di Fukushima terjadi akibat gempa dengan kekuatan 9,0 skala Richter<sup>[6]</sup>, yang me-nimbulkan gelombang Tsunami dengan gelombang air laut mencapai ketinggian 14 meter. Sebenarnya untuk menahan kemungkinan terjadinya gelombang tsunami, pihak yang berwenang di instalasi reaktor di Fuku-shima telah dibangun benteng penghalang (*barrier*) setinggi 7 meter, namun celaknya gelombang tsunami yang terjadi melebihi ketinggian benteng penghalang tersebut,

yaitu mencapai ketinggian 14 meter<sup>[7]</sup>. Bencana yang terjadi di Jepang pada tanggal 11 Maret 2011 itu merupakan tiga rangkaian bencana (*triple disaster*), yang meliputi gempa bumi, gelombang tsunami dan kecelakaan nuklir.

Terjadinya gempa dengan kekuatan 9,0 skala Richter mengakibatkan reaktor mengalami trip secara otomatis, reaksi fisi tidak berlangsung lagi sehingga pembangkitan panas fisi terhenti. Namun demikian dalam reaktor masih tersimpan panas sisa dan panas peluruhan dalam bahan bakar. Energi panas sisa dapat segera terbuang dalam orde beberapa jam saja, tetapi panas peluruhan masih terus dibangkitkan dalam jangka waktu yang lama, dan harus dibuang secara kontinu agar tidak memanaskan struktur bahan bakar dan teras hingga mengalami *overheating*.

Pada kondisi operasi normal, setelah reaktor padam pembuangan panas sisa dan panas peluruhan dilakukan oleh *Residual Heat Removal System* (RHRS), yang bekerja terus menerus setelah reaktor padam. Pengoperasian RHRS memerlukan pasokan listrik karena menggunakan beberapa pompa listrik untuk mesin penggerak fluida. Setelah kejadian gempa, pasokan listrik AC dari luar padam dan listrik AC dipasok oleh diesel genset. Proses pendinginan oleh RHRS tidak berjalan lama, karena setelah gempa besar terhenti disusul dengan terjadinya gelombang tsunami dengan ketinggian hingga mencapai 14 meter. Diesel genset terendam air laut dan tidak dapat beroperasi lagi, sehingga seluruh PLTN mengalami kehilangan catu daya listrik AC yang berasal dari diesel genset.

Kegagalan ini mengakibatkan peng-ambilan panas peluruhan tidak dapat dilakukan secara sempurna. Panas peluruhan inilah yang merupakan potensi bahaya, karena memiliki energi panas yang cukup untuk memanaskan bahan bakar dan batang kendali hingga mencapai temperatur oksidasinya, bahkan lebih dari itu dapat melelehkannya. Panas peluruhan yang tidak dibuang keluar dari sistem reaktor akan memanaskan air dalam bejana reaktor hingga mencapai titik uapnya. Penguapan air di dalam bejana reaktor akan meningkatkan tekanan bejana reaktor, sehingga katup pengaman (*safety valve*) membuka untuk membuang uap keluar dari bejana reaktor. Akibatnya volume air dalam bejana berkurang dan terdapat bagian bahan bakar yang tidak terendam air pendingin, temperaturnya makin bertambah panas hingga mencapai temperatur oksidasinya yaitu sekitar 1000°C. Temperatur tinggi inilah yang akhirnya memicu terjadinya pembentukan gas hidrogen, akibat reaksi oksidasi antara air dalam teras reaktor dengan zirkonium (Zr) yang berfungsi sebagai kelongsong (*cladding*) bahan bakar pada temperatur yang sangat tinggi.

Reaksi oksidasi ini bersifat eksotermis yang bisa meningkatkan temperatur dan tekanan di dalam bejana reaktor. Ketika tekanan dalam bejana reaktor melewati nilai ambang batas yang ditentukan, maka hal ini mengakibatkan terbukanya katup pengaman (*safety valve*), sehingga gas dalam bejana reaktor dibebaskan ke ruang pengungkung primer secara otomatis. Dengan cara ini tekanan bejana reaktor masih bisa terkendali. Gas hidrogen dan uap air yang dibebaskan dari bejana reaktor akan terakumulasi dalam ruang pengungkung primer. Akumulasi uap dan gas hidrogen akan mengancam integritas pengungkung primer ketika kondisi tekanan melewati batas. Dalam prosedur mitigasi kecelakaan reaktor, salah satu cara untuk menjaga integritas pengungkung primer adalah dengan melakukan "*venting*", yaitu membebaskan sebagian uap dan gas hidrogen dari ruang

pengungkkung utama ke ruang gedung reaktor (pengungkkung sekunder) dengan konsekuensi akan terjadi pembakaran gas hidrogen yang menimbulkan ledakan. Proses “venting” inilah yang menimbulkan ledakan besar pada reaktor BWR di Fukushima.

### 2.3. Asumsi terjadinya musibah gempa dan tsunami pada RGTT200K

Seandainya reaktor RGTT200K sudah dibangun dan mulai dioperasikan, kemudian diasumsikan musibah gempa bumi dan tsunami datang menerjang reaktor RGTT200K. Ketika gempa bumi terjadi, batang kendali / boron akan langsung jatuh (*reactor trip*) dan operasi reaktor terhenti (reaktor padam). Ketika arus listrik mati, kompresor tidak melakukan sirkulasi pendinginan gas helium. Temperatur teras reaktor naik hingga 1500°C. Walaupun sirkulasi gas pendingin terhenti, sistem keselamatan RGTT200K masih bisa melakukan pendinginan secara konveksi alami (*natural convection*). Dengan bantuan konveksi pendinginan oleh udara luar secara alami, dalam waktu 20 hari temperatur teras reaktor turun kembali hingga mencapai sekitar 800°C (Gambar 4).

Hal ini terjadi demikian karena teras reaktor RGTT200K didesain sedemikian rupa, dimana sekitar teras reaktor dan komponen bagian konversi energi terdapat rongga yang terhubung langsung dengan udara luar (Gambar 5). Bentuk rongga sedemikian rupa sehingga udara panas akan naik keatas (karena lebih ringan) menuju udara bebas, di bagian bawahnya akan diisi oleh udara luar yang lebih dingin, sehingga terjadilah arus konveksi pendinginan secara alami. Selain itu juga secara alami terjadi pendinginan secara langsung melalui konduksi dan radiasi panas dari teras reaktor ke struktur beton bangunan dan tanah / bumi (Gambar 6). Ini memberikan kontribusi pendinginan yang cukup berarti, mengingat letak teras reaktor yang berada dibawah permukaan tanah (Gambar 5).

Luapan air akibat gelombang tsunami sama sekali tidak memberikan dampak yang membahayakan bagi reaktor RGTT200K, mengingat konstruksi beton bangunan yang kedap air. Selain itu loop pendingin helium memiliki tekanan yang cukup tinggi, sehingga tidak memungkinkan air masuk ke dalam teras reaktor, seandainya luapan air mampu menembus konstruksi bangunan beton reaktor. Bahkan sebaliknya rendaman air terhadap teras akan ikut membantu mendinginkan teras reaktor<sup>[5]</sup>.

## 3. PEMBAHASAN

Kejadian kecelakaan reaktor Fukushima memberikan pembelajaran bagi seluruh masyarakat dunia umumnya, terkait dengan masalah kewaspadaan dan pemahaman penanggulangan bencana. Selain itu kejadian ini juga memberikan pembelajaran bagi para ahli teknologi nuklir dan para pengguna tenaga nuklir, untuk selalu mengutamakan keamanan dan keselamatan dalam pengoperasian fasilitas nuklir.

Hal penting yang harus diperhatikan dalam masalah desain sistem keselamatan suatu instalasi reaktor nuklir, adalah harus mampu memprediksi potensi bahaya yang bisa terjadi semaksimal mungkin, bahkan jika memungkinkan memberikan nilai ambang batas yang berlebih (*over safety*) demi keamanan dan keselamatan pengoperasian reaktor nuklir. Sebagai contoh misalkan kekuatan gempa maksimum yang mungkin terjadi di lokasi reaktor nuklir adalah 7,0 Skala Richter, maka demi keamanan dan keselamatan nilai ambang batas kekuatan gempa yang digunakan adalah 9,0 Skala



Richter. Hal ini jelas akan memberikan dampak pengeluaran berlebih dalam hal biaya investasinya, namun hal ini akan memberikan jaminan keamanan dan keselamatan yang berlebih pula dari segi pengoperasian reaktor nuklir.

Seharusnya BWR Fukushima (Mark-I) sudah ditutup sejak tahun 2000, karena usia pemakai-annya sudah mencapai 30 tahun (1970 s.d. 2000). Tetapi mengingat unjuk kerja produktivitasnya dalam membangkitkan tenaga listrik cukup baik (efisiensi pembangkitan listrik masih di atas 30%), maka reaktor tua ini masih dipertahankan untuk tetap beroperasi.

BWR Fukushima dibuat dengan desain yang tidak siap untuk menghadapi kondisi kecelakaan sangat ekstrim, seperti gempa bumi dengan kekuatan 9,0 skala Richter dan gelombang tsunami dengan ketinggian 14 meter. Padahal sudah sejak lama negara Jepang terkenal sebagai daerah gempa bumi. *Upgrading* yang telah dilakukan masih terbatas pada rehabilitasi bagian konstruksi reaktor atau komponen reaktor yang rusak dan memerlukan perbaikan. *Upgrading* yang dilakukan masih belum menyentuh esensi sistem keselamatan reaktor yang sifatnya meningkatkan keselamatan untuk menghadapi masalah yang diluar dugaan, seperti misalnya:

- Penambahan tinggi benteng penghalang tsunami (*tsunami barrier*) sampai ketinggian 15 meter.
- Penempatan fasilitas diesel genset di lokasi yang aman dan memiliki ketinggian di atas 15 meter.

Seandainya dilakukan *upgrading* sistem keselamatan reaktor seperti ini, mungkin kecelakaan nuklir reaktor Fukushima tidak akan separah seperti yang saat ini terjadi. Untuk lebih memahami kelemahan sistem keselamatan reaktor yang dimiliki oleh BWR Fukushima (Mark-I), dapat dilihat perbandingannya dengan sistem keselamatan reaktor RGTT200K, seperti yang terlihat pada Tabel 1 di bawah ini.

**Tabel 1. Perbandingan Fasilitas Keselamatan antara BWR Fukushima dengan RGTT200K**

<b>Fasilitas Keselamatan</b>	<b>BWR (Mark-1) Fukushima</b>	<b>RGTT200K</b>
Kehandalan struktur bahan bakar	Telah memenuhi konsep sistem penghalang ganda ( <i>multiple barrier</i> ) → 4 lapis (sampai sungkup reaktor)	Telah memenuhi konsep sistem penghalang ganda ( <i>multiple barrier</i> ) → 9 lapis (sampai struktur beton pelindung reaktor)
Sistem reaktor TRIP	Terpenuhi untuk penanggulangan kecelakaan LOCA, LOFA dan Gempa pada batas skala maksimum yang diijinkan.	Terpenuhi untuk penanggulangan kecelakaan LOCA, LOFA dan Gempa pada batas skala maksimum yang diijinkan.
Sistem pendinginan teras darurat	<i>Emergency Core Coolant System</i> (ECCS) → memerlukan pasokan listrik	( <i>Passive Reactor Cavity Cooling System / PRCCS</i> ) dan ( <i>Radiation and Conduction to Structure and Earth / RCSE</i> ) → <b>Inherent safety</b>
Sistem penanggulangan Sirkulasi pendingin darurat (LOFA)	Memerlukan pasokan listrik	Tidak memerlukan pasokan listrik → <b>passive system</b>

Kualitas sistem penghalang ganda (*multiple barrier*), menggambarkan tingkat kehandalan struktur bahan bakar suatu reaktor, dalam mencegah kemungkinan terjadinya pelepasan produk fisi keluar lingkungan. *Multiple barrier* untuk reaktor RGTT200K jauh lebih sempurna (9 lapis) dibandingkan dengan reaktor BWR Fukushima (4 lapis). Jenis kecelakaan reaktor separah apapun yang menimpa RGTT200K, selama bola bahan bakarnya (*pebble bed*) masih utuh tidak akan terjadi pelepasan produk fisi keluar lingkungan. Pendinginan teras reaktor pasca kecelakaan dilakukan secara *Inherent safety* melalui fasilitas PRCCS dan RCSE.

Penempatan lokasi bejana tekan (teras reaktor) dan sistem konversi energi RGTT200K berada di bawah permukaan tanah. Dari segi keselamatan bertujuan agar seandainya terjadi kecelakaan terparah (*severe accident*, misalkan dibombardir), material RGTT200K tetap akan terkonsentrasi / terkumpul pada lokasinya, dan tidak menyebar kemana-mana.

#### 4. KESIMPULAN

Prosedur operasi reaktor yang diterapkan saat ini, harus mampu mengakomodir semua aspek keselamatan yang terkait dengan teknologi yang diterapkannya. Kecelakaan nuklir Fukushima akibat adanya gempa dan tsunami yang intensitasnya di luar dugaan para operator dan supervisor reaktor di Fukushima. Di lain pihak BWR Fukushima tidak dilengkapi dengan sistem keselamatan pasif yang memadai, yang harus siap menghadapi bencana kegagalan operasi dengan tingkat kesulitan diluar prediksi sebelumnya.

RGTT200K sudah didesain dengan menerapkan sistem keselamatan *multiple barrier* yang lebih baik (9 lapis) dibandingkan dengan teknologi *multiple barrier* sebelumnya (4 lapis). Selain itu RGTT200K juga didesain dengan menerapkan sistem keselamatan *inherent safety* yang mampu mengatasi kecelakaan terparah secara pasif, tanpa adanya campur tangan dari para operator reaktor. Sistem keselamatan RGTT200K dianggap mendekati sempurna (*excellence*), sehingga model sistem keselamatan ini layak untuk diterapkan pada semua jenis reaktor maju (*advance reactor*).

Walaupun pembuatan suatu reaktor itu memerlukan biaya tinggi, namun masalah keselamatan operasi reaktor merupakan hal penting yang perlu untuk dilaksanakan. Seandainya para pengguna reaktor/PLTN belum bisa membangun reaktor baru dengan sistem keselamatannya yang lebih baik, dianjurkan paling tidak untuk meninjau ulang kemampuan/kehandalannya sistem keselamatannya, dan meng-*upgrade* sistem keselamatannya agar lebih baik dari pada sistem keselamatan sebelumnya.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Bob Hargraves, Hanover NH: [http://www. regjeringen.no /upload/OED/ Rapporter/ ThoriumReport2008.pdf](http://www.regjeringen.no/upload/OED/Rapporter/ThoriumReport2008.pdf)
- [2]. Anonymous, "Generation IV Roadmap: R&D Scope Report for Gas-Cooled Reactor Systems," GIF-004-00, Generation IV Inter-national Forum (2002), [http://gif.inel.gov/ roadmap/](http://gif.inel.gov/roadmap/).

- [3]. Kazuhiko Kunitomi cs., "GTHTR300C for Hydrogen Cogeneration", Department of Advanced Nuclear Heat Technology, Oarai Research Establishment, JAERI, Sept.2004.
- [4]. Andrew C. Kadak, "Safety Issues for High Temperature Gas Reactors", Professor of the Practice.
- [5]. Malcolm P. LaBar, The Gas Turbine – Modular Helium Reactor : A Promising Option for Near Term Deployment General Atomics, San Diego, 2002
- [6]. <http://books.google.com/books?id=qEuWntnoZzYC&pg=PA123>. "The record of the earthquake intensity observed at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station and Fukushima Daini Nuclear Power Station (Interim Report)".
- [7]. [http://www.world-nuclear-news.org/RS\\_Fukushima\\_faced\\_14-metre\\_tsunami\\_2303113.html](http://www.world-nuclear-news.org/RS_Fukushima_faced_14-metre_tsunami_2303113.html).

### **DISKUSI/TANYA-JAWAB:**

#### **1. PERTANYAAN: (Rokhmadi, PTRKN-BATAN)**

- Apa yang dimaksud dengan "active safety", "passive safety", "inherent safety"?

#### **JAWABAN: (Piping Supriatna, PTRKN-BATAN)**

- *Active safety* adalah sistem keselamatan reaktor yang akan bekerja jika ada tindakan aktif dari operator.

*Passive safety* adalah sistem keselamatan reaktor yang akan bekerja langsung tanpa memerlukan tindakan langsung dari operator. Sistem otomatis ini bekerja melalui kendali nilai ambang batas parameter yang terkait.

*Inherent safety* adalah sistem keselamatan reaktor yang akan bekerja berdasarkan sifat fisik alami dari desain sistem. Sistem keselamatan ini bekerja secara melekat selamanya.

#### **2. PERTANYAAN: (Sukmanto Dibyo, PTRKN-BATAN)**

- Apakah kelebihan sistem keselamatan RGTT200K dibandingkan BWR Fukushima?

#### **JAWABAN: (Piping Supriatna, PTRKN-BATAN)**

- Untuk RGTT200K, multi-barrier bahan bakar  $UO_2$  jauh lebih baik dan tidak memungkinkan terjadi pelelehan bahan bakar yang berbentuk bola tersebut. Sistem keselamatan bekerja secara melekat (*inherent safety*). Seandainya terjadi kecelakaan tidak memerlukan tindakan langsung dari operator. Untuk BWR Fukushima, sistem keselamatan reaktor sepenuhnya tergantung pada operator.