

KAJIAN PENENTUAN JARAK AMAN INSTALASI PRODUKSI HIDROGEN DENGAN REAKTOR RGTT200K

Siti Alimah¹, Sriyono²

¹Pusat Pengembangan Energi Nuklir (PPEN)-BATAN

²Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir (PTRKN)-BATAN

Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta Selatan, 12710

Phone/ Fax : (021) 5204243, E-mail : alimahs@batan.go.id

Masuk:

Direvisi:

Diterima:

ABSTRAK

KAJIAN PENENTUAN JARAK AMAN INSTALASI PRODUKSI HIDROGEN DENGAN REAKTOR RGTT200K. Salah satu metode proses produksi hidrogen yang dikopel dengan RGTT200K adalah menggunakan steam reforming dengan gas alam (metana) sebagai bahan baku. Integrasi reaktor RGTT200K dengan pabrik hidrogen harus mempertimbangkan berbagai macam aspek keselamatan dan salah satunya adalah pemisahan jarak antara kedua sistem. Tujuan kajian ini adalah mempelajari sumber-sumber terjadinya kebakaran/ledakan untuk penentuan jarak aman antara instalasi produksi hidrogen proses steam reforming dan reaktor RGTT200K. Metodologi yang digunakan adalah studi literatur dan perhitungan jarak aman berdasar persamaan $R = k.W^{1/3}$. Pada studi ini, penentuan jarak aman pada integrasi RGTT200K dan pabrik hidrogen menggunakan rumusan berdasar referensi USNRC Regulatory Guide 1.91 dan massanya adalah ekuivalen dengan massa TNT (kg). Hasil studi menunjukkan bahwa pabrik hidrogen dengan produk 160.000 m³/hari, menggunakan tangki penyimpan sebesar 400.000 m³, dengan faktor k adalah 8, diperoleh jarak aman yang dibutuhkan adalah 1 km. Jarak ini dapat diperpendek dengan menambahkan tembok penghalang tahan api dan memerlukan kajian lebih lanjut.

Kata kunci: Pemisahan, jarak aman, instalasi hidrogen, RGTT200K

ABSTRACT

THE ASSESMENT ON SAFETY DISTANCE DETERMINATION OF HYDROGEN PRODUCTION PLANT WITH RGTT200K REACTOR. The one of the hydrogen production process method coupled to RGTT200K is the utilization of steam reforming with (methane) natural gas as the feedstock. The integration between RGTT200K and hydrogen plant must consider many safety aspects and one of it is separation distance between these two systems. The purpose of this assessment is to study the sources of fires/explosion and to determine the safety distance between the steam reforming hydrogen production plant and RGTT200K reactor. The used methodology was literature assessment and safety distance calculation with equation $R = k.W^{1/3}$. In this study, safety distance determination in integration between RGTT200K and hydrogen plant was using equation based on reference of the USNRC Regulatory Guide 1.91 and mass on the equation was mass equivalent of TNT (kg). The results of the study show the hydrogen plant produces 160,000 m³/day, if requires storage tanks of 400,000 m³ (based USNRC equal to 1.859 million tons of TNT equivalent) with factor k is 8, based on the equation $R = k.W^{1/3}$, so the requirement for safety distance is 1 km. This distance may be shortened by adding a fire proof wall barrier and requires further assessment.

Keywords: Separation, safety distance, hydrogen installation, RGTT200K.

1. PENDAHULUAN

Reaktor Gas Temperatur Tinggi dengan daya 200MW_{th} (RGTT200K) adalah reaktor berpendingin gas temperatur tinggi, didesain berdaya 200MW_{th}, selain untuk menghasilkan listrik, panasnya dapat dimanfaatkan untuk produksi hidrogen^[1]. Reaktor ini menggunakan bahan bakar berbentuk *pebble* (bola) dengan inti kernel yang dilapisi *Triple Coated Isotropic* (TRISO) dengan pendingin menggunakan gas helium^[1].

Produksi hidrogen merupakan salah satu proses yang diharapkan mampu mengurangi ketergantungan pada sumber energi yang tidak dapat diperbarui. Pada saat ini, produksi hidrogen masih mengandalkan pada penggunaan bahan bakar fosil, diantaranya dengan gas alam (metana) sebagai bahan bakunya. Sedangkan proses produksi hidrogen dengan memanfaatkan panas nuklir masih dalam tahap riset dasar dan pengembangan. Teknologi proses produksi hidrogen yang memungkinkan menggunakan panas nuklir adalah elektrolisis pada temperatur tinggi, *steam reforming* dan proses termokimia siklus *sulfur-iodine*. Dari studi yang pernah dilakukan sebelumnya tentang pemilihan teknologi produksi hidrogen dengan memanfaatkan panas nuklir, teknologi *steam reforming* lebih unggul dibanding dengan proses elektrolisis dan termokimia siklus *sulfur-iodine*^[2]. Pemilihan ini berdasarkan pertimbangan: biaya produksi, biaya modal, biaya energi, status teknologi, keramahan terhadap lingkungan, efisiensi dan ketersediaan material yang digunakan. Sehingga teknologi *steam reforming* dapat menjadi pilihan untuk produksi hidrogen dengan energi nuklir di Indonesia di masa yang akan datang^[2].

Pada desain RGTT200K yang dikopeldengan proses produksi hidrogen metode *steam reforming* (untuk selanjutnya dalam makalah ini disebut dengan pabrik hidrogen), aspek keselamatan harus diperhatikan. Teknologi pengintegrasian pabrik hidrogen dengan reaktor RGTT200K harus mempertimbangkan aspek-aspek, salah satunya dengan antisipasi/penanganan akibat kebakaran/ledakan dari gas metana, hidrogen dan karbonmonoksida^[3].

Teknologi produksi hidrogen *steam reforming* adalah proses produksi hidrogen dengan cara mereaksikan gas alam (metana) dan *steam* pada temperatur tinggi. Gas metana dan hidrogen mudah terbakar dan meledak dalam konsentrasi tertentu dengan udara, dan karbon monoksida pada kondisi tertentu juga mudah terbakar. Bahaya kebakaran dari bahan-bahan tersebut harus diantisipasi karena mempunyai potensi bahaya yang signifikan terhadap instalasi nuklir terutama berdampak pada keselamatan pengoperasian reaktor RGTT200K. Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan ini adalah dengan menentukan jarak aman antara pabrik hidrogen dengan reaktor RGTT200K^[4].

Makalah ini bertujuan mempelajari sumber terjadinya kebakaran/ledakan dan penentuan jarak aman antara pabrik hidrogen dengan gedung reaktor RGTT200K. Penentuan jarak aman yang sesuai akan dapat mengurangi potensi kebakaran/ledakan, serta menjamin tersedianya *barrier* keselamatan sehingga operasional RGTT200K aman. Metodologi yang digunakan adalah studi literatur dan perhitungan berdasar persamaan $R = k.W^{1/3}$.

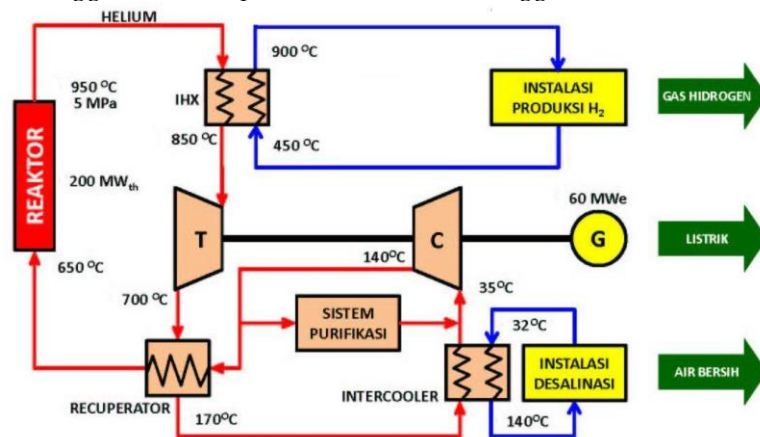
2. TEORI

2.1. Deskripsi Umum Reaktor RGTT200K

Teras reaktor RGTT200K didesain memiliki diameter 300 cm, tinggi 943 cm dan memuat 359.548 bahan bakar *pebble* yang terdistribusi secara acak di dalam teras reaktor. Dengan volume teras 66,657 m³ dan densitas daya 3 W/cm³, reaktor RGTT200K dapat menghasilkan daya sebesar 200 MW_{th} dengan temperatur *outlet* teras rerata 950 °C dan temperatur *inlet* helium rerata 550 °C. Struktur grafit yang mengelilingi teras memiliki

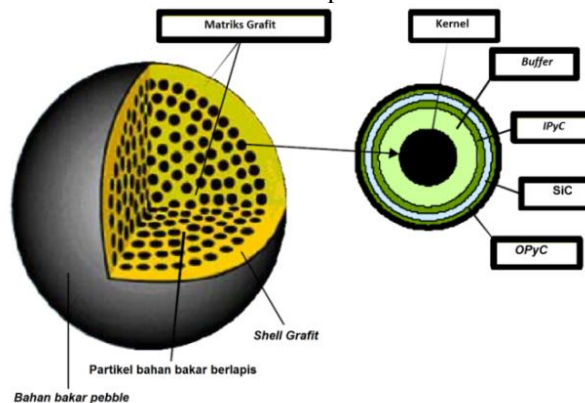
ketebalan radial 100 cm, serta ketebalan aksial total bagian atas dan bagian bawah 750 cm. Kavitas atau ruang kosong yang berada di atas teras mempunyai tinggi 150 cm^[5].

Media pendingin primer untuk mengambil panas hasil reaksi fisi adalah gas helium dengan temperatur *outlet* reaktor didesain 950 °C, tekanan 5 Mpa^[6]. Konsep siklus sistem pendingin primer dan konfigurasi reaktor RGTT200K ditunjukkan pada Gambar 1. Bahan struktur utama teras reaktor serta kelongsong bahan bakar bola menggunakan grafit dengan densitas termal yang rendah sehingga dalam kondisi apapun tidak akan terjadi pelelehan teras. Bahan struktur komponen dan sistem pendingin reaktor digunakan paduan logam berbasis nikel sehingga tahan temperatur dan tekanan tinggi.



Gambar 1. Konsep sistem konversi energi reaktor RGTT200K^[6].

Pemuatan bahan bakar reaktor RGTT200K dilakukan secara berkesinambungan dengan mengadopsi moda *discharging*. Manajemen bahan bakar RGTT200K dimulai dengan memasukkan bahan bakar *pebble* ke dalam teras reaktor dari atas, dan mengeluarkan bahan bakar bekas yang telah digunakan dalam kurun waktu operasi reaktor, dari bawah. Bahan bakar *pebble* yang belum mencapai *burn-up* final akan disirkulasikan ke dalam teras untuk dapat dimanfaatkan kembali secara efisien dan optimal.



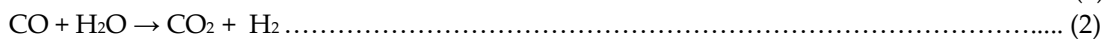
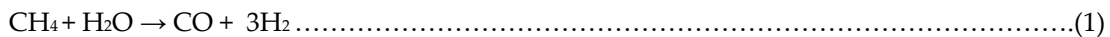
Gambar 2. Skema geometrik bahan bakar RGTT200K^[5].

Setiap bahan bakar *pebble* seperti ditunjukkan pada Gambar 2, memiliki diameter 6 cm dan mengandung 1.000 hingga 100.000 partikel TRISO yang terdispersi dalam matriks grafit. Partikel TRISO dengan diameter 0,092 cm ini membentuk zona bahan bakar berdiameter 5 cm dan *shell* grafit dengan ketebalan 0,5 cm. Jumlah partikel TRISO dan massa kernel dalam setiap bahan bakar *pebble* dapat diantaranya dapat diketahui dari fraksi *packing* (densitas) TRISO. Semakin tinggi fraksi *packing* bahan bakar TRISO maka semakin besar pula jumlah

kernel dalam setiap bola bahan bakar. Partikel TRISO sendiri disusun oleh bahan bakar kernel dengan empat lapisan *coating* yang mengelilinginya. Karena kemampuan RGTT200K untuk menghasilkan output temperatur yang sangat tinggi hingga mencapai 950 °C tersebut, maka panasnya dapat dimanfaatkan untuk produksi hidrogen. Sistem kogenerasi RGTT200K diperkirakan akan menghasilkan energi listrik dengan kapasitas 57,6 MWe^[1], gas hidrogen dengan kapasitas 160.000 m³/hari, dan air bersih dengan kapasitas 35000 m³/hari ^[7].

2.2. Karakteristika Bahan Yang Berkaitan Dengan Keselamatan

Dalam proses *steam reforming* terjadi reaksi endotermis antara gas alam (metana) dan *steam* dengan katalis nikel oksida (NiO). Reaksi dilakukan dalam reformer primer dan sekunder yang tujuannya untuk menyempurnakan reaksi. Temperatur masuk reformer primer 530–650°C dan keluar 770–811°C, tekanan 35–40 kg/cm². Temperatur masuk reformersekunder 520–560°C dan keluar 920–1050°C, tekanan 35 kg/cm²^[8]. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:

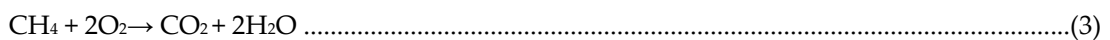


Shift reaction (reaksi 2) merupakan reaksi eksotermis, digunakan untuk meningkatkan kandungan H₂.

Panas temperatur tinggi yang dibutuhkan dalam reaksi-reaksi tersebut dapat dipasok dari reaktor RGTT200K. Panas keluaran yang berasal dari pendingin RGTT200K, keluar dari teras reaktor sekitar 950°C, ditransfer ke pabrik hidrogen dengan menggunakan penukar panas intermediet (*Intermediate Heat Exchanger/IHX*). Bahan baku pabrik hidrogen adalah metana (CH₄) dan produknya adalah gas hidrogen (H₂), yang dapat membentuk komposisi mudah terbakar pada kondisi tertentu, dan karakteristiknya ditunjukkan pada Tabel 1. Meskipun karbonmonooksida (CO) bukan merupakan produk akhir, tetapi CO terbentuk di *reformer* primer dan sekunder, yang merupakan suatu campuran *syngas* (reaksi 1). Selanjutnya CO yang terbentuk dilakukan *shift reaction* (reaksi 2), dengan konsentrasi CO sekitar 12 – 14,5 % mol. Berdasarkan hal inikarakteristika CO perlu dibahas dalam kajian ini.

2.2.1. Karakteristika Gas Metana

Sifat gas metana adalah tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa, tidak beracun dan tidak asam. Gas metana mudah terbakar dan dapat bereaksi kuat dengan zat-zat pengoksidasi (*oxidizer*) dan gas-gas halogen. Gas metana pada kondisi normal lebih ringan daripada udara, dan jika terlepas ke udara akan mudah bercampur karena adanya difusi. Campuran gas metana dengan udara, pada konsentrasi 6,3%-13,5% volume, akan menyebabkan terjadinya ledakan. Perubahan tekanan atau penambahan gas *inert* pada gas metana akan menghasilkan efek tertentu. Kenaikan tekanan akan meningkatkan probabilitas kemudahan terbakar gas tersebut. Penambahan fraksi CO₂ sebanyak24%atau N₂ sebanyak38%dalam campuran gas metana-udara, akan menurunkan sifat kemudahan terbakarnya. Gas metana jika terbakar akan menghasilkan karbondioksida dan air, yang reaksinya adalah sebagai berikut :



Gas metana biasanya disimpan pada tangki-tangki bertekanan tinggi dengan desain tabung tangki yang kuat. Kebocoran tangki gas metana akan sangat berbahaya karena gas ini mempunyai sifat yang sangat mudah terbakar. Kecepatan pembakaran gas metana pada lingkungan normal 0,36 m/detik dan meningkat menjadi 3,2 m/detik pada lingkungan oksigen murni^[9].

Tabel 1. Sifat-sifat Fisika dan Kimia Gas Metana, Hidrogen dan Karbonmonoksida^[9]

Parameter	Metana	Hidrogen	Karbon Monoksida
Berat molekul (g/mol)	16,043	2,01594	28,01
Fraksi stoikiometri dalam udara (%)	9,48	29,53	29,53
Titik didih (°K)	111,632	20,268	81,7
Batas mudah terbakar dalam udara (%)	5,3-15,0	4,0-75,0	12,5-74,2
Batas mudah meledak dalam udara (%)	6,3-13,5	18,3-59,0	-
Temperatur pengapian dalam udara (K)	903-1493	793-1023	878
Kecepatan pembakaran dalam udara (m/detik)	3,2	18,6	0,52
Kecepatan peledakan dalam udara (m/detik)	1390-1640	1480-2150	-
Diameter ledakan kritis (m)	4,0	0,16	-
Kecepatan difusi (m/detik)	<0,0051	<0,02	-

2.2.2. Karakteristika Gas Karbon Monoksida

Gas karbon monoksida (CO) mempunyai sifat tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa tetapi sangat beracun dan mudah terbakar. Toksisitasnya dalam manusia dan hewan, sangat tinggi disebabkan oleh afinitas yang luar biasa dari haemoglobin terhadap gas ini (210-240 kali lebih besar dari pada oksigen), sehingga menghambat transport haemoglobin terhadap O₂ dalam darah. Inhalasi dalam waktu tertentu, dapat mengakibatkan kehilangan kesadaran dan kematian. Karbon monoksida teroksidasi cepat membentuk CO₂. Campuran CO murni dengan udara, tidak terbakar pada kondisi temperatur dan tekanan standar, tetapi dengan adanya sejumlah kecil H₂O atau H₂ dapat meningkatkan laju reaksi oksidasi CO. Karbon monoksida terbakar dalam udara dengan nyala api kebiruan. Batas mudah terbakar dalam udara adalah pada konsentrasi 12,5-74,2% volume. Campuran CO dengan udara tidak meledak, namun campuran dengan oksigen dapat meledak dengan kisaran konsentrasi 38-90% volume^[9].

2.2.3. Karakteristika Gas Hidrogen

Sifat gas hidrogen adalah tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa, tidak beracun dan tidak asam. Hidrogen merupakan salah satu gas yang mudah terbakar, yang dapat meledak dengan adanya udara pada tekanan atmosfer, terutama dalam ruang tertutup. Sifat yang paling penting adalah nilai ambang batas mudah terbakar (*flammability*) dan meledak dalam udara. Dengan tidak adanya oksigen dalam jumlah yang cukup, kebakaran/ledakan hidrogen tidak akan terjadi. Jadi kebakaran/ledakan akan terjadi jika terdapat hidrogen sebagai bahan bakar, oksigen sebagai pengoksidasi dan temperatur pengapian, dengan batasan seperti ditunjukkan pada Tabel 1^[9]. Nilai jangkauan (*range*) kemudahan terbakar gas hidrogen adalah pada konsentrasi 4-75% volume dalam udara. Kecepatan pembakaran dalam udara adalah 3,2 m/det dan meningkat menjadi 18,6 m/det dalam oksigen murni^[9]. Campuran gas hidrogen dengan udara pada kisaran konsentrasi 18,3-59,0% volume, akan menyebabkan terjadinya ledakan.

2.3. Penentuan Jarak Aman antara Pabrik Hidrogen dengan RGTT

Dalam proses produksi hidrogen dengan memanfaatkan panas nuklir, probabilitas kejadian yang berpotensi menimbulkan bahaya dapat terjadi. Kejadian yang tidak diinginkan ketika menangani proses produksi hidrogen baik itu bahan baku ataupun produknya, bahaya yang ditimbulkan dapat bermacam-macam, tergantung pada kondisi operasi dan lingkungan. Kebocoran gas hidrogen, metana dan karbon monoksida dalam jumlah tertentu dapat menyebabkan terjadinya inisiasi api (pengapian) di bagian dalam gedung/bangunan. Apabila terjadi kebocoran gas hidrogen dan metana dengan dalam

jumlah seperti terlihat dalam Tabel 1, dapat menyebabkan terjadinya ledakan. Sistem pemipaan bertekanan yang digunakan sebagai konstruksi baik itu pada pabrik hidrogen ataupun pada sambungan ke reaktor, jika retak, atau pecah akan menimbulkan gelombang kejutan karena adanya tekanan dinamik dari dalam pipa ke lingkungan sekitar. Persyaratan desain keselamatan dalam mengintegrasikan RGTT dengan pabrik hidrogen ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Persyaratan Desain Keselamatan Integrasi Reaktor RGTT dengan Pabrik Hidrogen^[9]

Kondisi Operasi	Kejadian	Persyaratan keselamatan	Solusi/penanganan
Operasi normal	Migrasi tritium dari teras RGTT200K ke gas H ₂	Pengurangan tingkat radiasi tritium pada produk gas	- Pembatasan permeasi tritium pada dinding <i>tube reformer</i> - Menghilangkan tritium di pendingin dengan sistem pemurnian
Antisipasi kejadian operasional	Turbulensi termal	Pencegahan turbulensi termal pada loop primer pendingin helium	- Mitigasi perubahan temperatur pada aliran helium sekunder dengan memasang <i>steam generator</i> pada aliran downstream
Kecelakaan	Kebakaran/ledakan dari kebocoran gas-gas mudah terbakar	Pencegahan kebocoran di dalam gedung reaktor Mitigasi konsekuensi kecelakaan	- Melakukan <i>upgrade</i> desain pipa helium dan <i>tube reformer</i> - Penggunaan <i>tube</i> dengan dinding ganda - Membuat kompartemen (pemisah) - Menentukan jarak aman

Pada kejadian kecelakaan, berbagai langkah lebih konkrit untuk mengurangi risiko terjadinya kebakaran/ledakan dari instalasi produksi hidrogen adalah^[10]:

- Mencegah kebocoran yang menyebabkan pengapian dengan mendeteksi kebocoran dan memutuskan jalur umpan gas alam.
- Mencegah aliran *inflow* menuju bangunan reaktor jika terjadi kebocoran.
- Menentukan jarak aman antara reaktor dengan pabrik hidrogen.

Pemisahan jarak untuk menentukan jarak aman merupakan salah satu *barrier* keselamatan antara reaktor nuklir dan pabrik hidrogen. Jarak aman adalah persyaratan jarak antara lokasi kebocoran gas yang menyebabkan terjadinya kebakaran, panas, gelombang tekanan akibat pengapian dengan sasaran yang diproteksi. Dengan jarak tertentu maka keselamatan proses produksi hidrogen dan keselamatan operasional reaktor terjamin. Berdasarkan USNRC, *Regulatory Guide 1.91* dan *German BMI (German Federal Ministry of Interior 1974)*, jarak aman ditentukan sebagai fungsi banyaknya penyimpanan produk mudah meledak ekivalen massa TNT dalam kg^[9].

Dalam USNRC, *Regulatory Guide 1.91* diatur bahwa struktur, sistem, dan komponen terkait keselamatan didesain tahan terhadap beban angin besar dan juga mempunyai ketahanan terhadap tekanan minimal 7 kPa yang diakibatkan oleh ledakan. Penentuan jarak aman mengikuti persamaan^[9]:

$$R = k.W^{1/3} \dots\dots\dots(4)$$

dengan R adalah jarak aman (m), k adalah faktor yang bergantung pada bangunan yang diproteksi, sedangkan W adalah massa bahan (kg). Dalam hubungan tersebut k = 2,5-8

untuk bangunan kerja, 22 untuk bangunan perumahan dan 200 untuk bangunan yang tidak membahayakan.

Sedang berdasar *German BMI Guideline 1974*, penentuan jarak aman untuk gas yang tidak dicairkan, dapat dihitung dengan persamaan :

$$R = 8.M^{1/3} \dots\dots\dots(5)$$

dengan R adalah jarak aman (m) dan M adalah massa bahan (kg).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam mengintegrasikan reaktor RGTT200K dengan pabrik hidrogen harus memperhatikan aspek keselamatan. Pengintegrasian sistem nuklir (RGTT200K) dan sistem kimia (pabrik hidrogen) adalah melalui IHX (*Intermediate Heat Exchanger*), sehingga aliran helium sekunder bersinggungan langsung dengan pabrik hidrogen. Karena interaksi langsung ini maka dimungkinkan ada kebocoran jika terjadi keretakan pipa. Apabila terjadi keretakan pipa, maka gas umpan atau gas produk dari pabrik hidrogen dapat memasuki pendingin helium dan memungkinkan terjadi akumulasi dalam pengungkung reaktor, sehingga akan menyebabkan terjadinya kebakaran/ledakan yang dapat membahayakan reaktor. Oleh karena itu harus dicegah adanya retak pipa.

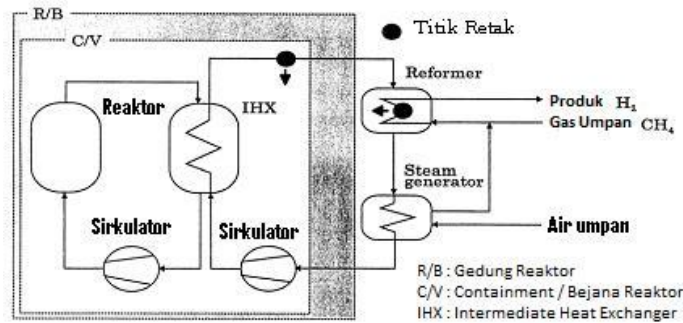
Selain itu, kemungkinan kebakaran dan ledakan akibat kebocoran bahan baku gas metana dan produk gas hidrogen harus diantisipasi. Kebakaran dan ledakan yang dihasilkan dari kebocoran gas yang mudah terbakar seperti metana dan hidrogen tersebut berdampak pada kerusakan komponen reaktor. Oleh sebab itu penyimpanan dan penanganan gas-gas ini harus didesain pada tingkat keselamatan yang tinggi.

Persyaratan umum terhadap keselamatan bahaya kebakaran dan ledakan sudah diatur dalam IAEA Safety Series NS-G-1.7 "*Protection Against Internal Fires and Explosions in the Design of Nuclear Power Plants Safety Guide*"^[9], tetapi acuan ini tidak dapat digunakan dalam pengintegrasian pabrik hidrogen dan RGTT200K. Pengungkung RGTT tidak didesain untuk mampu melawan ledakan karena *overpressure*, sehingga salah satu cara mengatasinya adalah dengan pemisahan jarak. Pemisahan jarak untuk menentukan jarak aman sangat tergantung pada jumlah produk mudah meledak ekivalen massa TNT dalam kg yang akan disimpan dalam tangki penyimpan. Untuk meminimasi jarak dapat pula dilakukan dengan penambahan tembok tahan api (*fire proof wall*) antara reaktor nuklir dan pabrik hidrogen sebagai penghalang jika terjadi kebakaran/ledakan^[9].

Pelepasan gas mudah terbakar ke dalam gedung reaktor akan mengakibatkan kerusakan parah ke sistem keselamatan reaktor. Sehingga kebocoran gas mudah terbakar tersebut ke gedung reaktor harus dijaga pada tingkat yang serendah mungkin. Kemungkinan *ingress* gas mudah terbakar ke gedung reaktor dapat dimungkinkan berasal dari retaknya pipa (*rupture*) helium sekunder dan *tube reformer*, seperti ditunjukkan pada Gambar 3^[9]. Salah satu penyebab dari kerusakan pipa dan tabung-tabung ini dimungkinkan karena gempa bumi. Oleh sebab itu instalasi ini juga harus didesain pada tingkat keselamatan seismik yang tinggi^[9].

Pabrik hidrogen termasuk dalam kategori fasilitas non nuklir, sehingga mempunyai sistem keselamatan yang berbeda, karena sifat-sifat material radioaktif berbeda dengan sifat-sifat bahan kimia seperti hidrogen. Dalam instalasi nuklir, sistem keselamatan mencegah pelepasan radioaktif ke atmosfer, sedangkan dalam instalasi produksi hidrogen, sistem keselamatan adalah dengan melepas hidrogen ke udara terbuka. Namun, pelepasan hidrogen dalam jumlah tertentu ke udara akan berdampak pada terjadinya kebakaran/ledakan sehingga membahayakan operasional reaktor. Hal ini terjadi karena hidrogen mempunyai berat molekul kecil, viskositas rendah dan difusivitas tinggi. Jika ada kejadian beban termal dan ledakan karena tekanan berlebih (*overpressure*) di dalam gedung

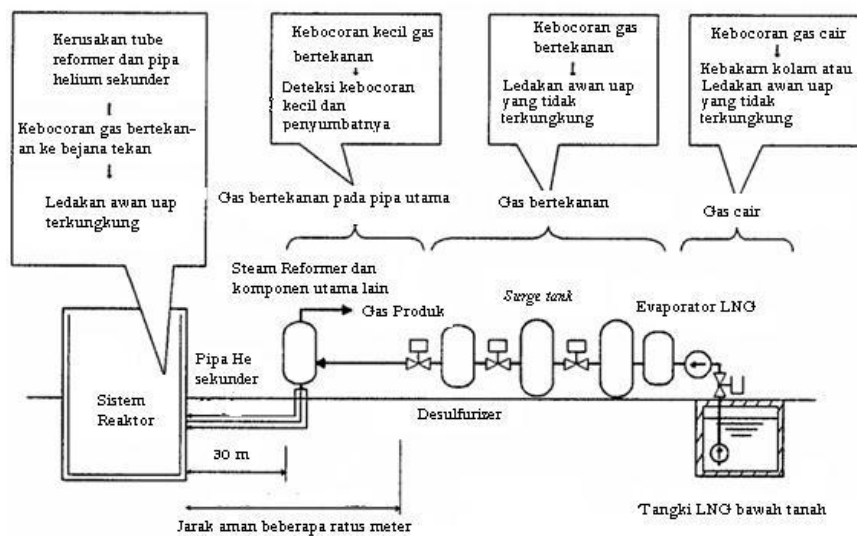
reaktor akan berdampak pada kerusakan pengungkung (*containment*). Kebocoran gas yang mudah terbakar ke dalam gedung reaktor harus dicegah, yaitu dengan penggunaan *tube* dengan dinding ganda pada reformer, sehingga diharapkan dapat mencegah kebocoran gas tersebut. Katub kedaruratan dipasang untuk mengisolasi lokasi kegagalan pipa sehingga mampu meminimasi kebocoran gas.



Gambar 3. Titik-Titik Kemungkinan Retak (*Rupture*) Pipa pada Proses *Steam Reforming*^[9].

Selain kebocoran gas dalam gedung, bahaya dari kemungkinan ledakan eksplosif awan gas yang terlepas dari tangki penyimpanan juga akan berdampak ke operasional reaktor, sehingga penyimpanan bahan baku metana di bawah tanah (*underground*) atau di atas tanah (*land site*) sangat menentukan. Bahan baku biasanya berbentuk gas, yang mempunyai sifat sangat mudah terbakar dan meledak, sehingga desain tangki penyimpan bawah tanah (*underground*) lebih baik digunakan untuk meminimalisasi risiko kebakaran/ledakan.

Bahaya kebakaran/ledakan integrasi RGTT200K dan pabrik hidrogen dibagi menjadi 2 kategori, yaitu kategori pertama kebakaran/ledakan karena kebocoran bahan baku gas alam (metana) dan gas produk (H₂), dan yang kedua adalah kebakaran karena kebocoran gas CO sebelum terjadi *shift reaction*. Berbagai macam penyebab terjadinya kebakaran/ledakan dari integrasi instalasi produksi hidrogen *steam reforming* dan reaktor RGTT200K ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Berbagai Macam Penyebab Terjadinya Kebakaran/Ledakan Dari Integrasi Instalasi Produksi Hidrogen Dan RGTT200K^[9].

Karena adanya berbagai sumber-sumber yang menyebabkan terjadinya kebakaran/ledakan, maka perlu suatu *barrier* keselamatan, salah satunya dengan pemisahan jarak untuk menentukan jarak aman antara pabrik hidrogen dengan reaktor RGTT200K.

Apabila penentuan jarak antara pabrik dan reaktor diasumsikan mengikuti standar USNRC, *Regulatory Guide 1.91 : "Evaluations of Explosions Postulated To Occur on Transportation Routes near Nuclear Power Plants"*^[11], maka rumusan yang digunakan adalah $R = k.W^{1/3}$.

Berdasarkan desain RGTT200K dan apabila diasumsi pabrik hidrogen yang dikopel dengan RGTT200K menghasilkan produk gas hidrogen sebesar 160.000 m³/hari, sehingga dalam 1 bulan produk gas hidrogen yang dihasilkan 4.800.000 m³ (428,30 ton). Jumlah produk ini akan disimpan dalam beberapa tangki penyimpanan. Pada sistem HTTR (*High Temperature Engineering Test Reactor*) yang terintegrasi dengan proses produksi hydrogen *steam reforming*, untuk tangki penyimpanan 400 m³ berdasar USNRC setara dengan ekivalen TNT 1859 ton^[9]. Sehingga jika diasumsi pabrik hidrogen tersebut menggunakan tangki penyimpanan sebesar 400.000 m³ (setara dengan 1.859.000 ton TNT) dengan berdasar persamaan (4) yaitu :

$$R = k.W^{1/3}$$

Seperti disebutkan k adalah faktor yang bergantung pada bangunan yang diproteksi, sehingga karena termasuk dalam kategori bangunan kerja maka k adalah 8. Oleh karena itu jarak minimum aman dapat dihitung :

$$R = 8 \times 1.859.000^{1/3}$$

$$R = 983,67 \text{ m.}$$

Jadi jarak minimum aman yang dibutuhkan adalah 983,672 m, sehingga jarak 1 km merupakan jarak aman. Dengan jarak yang sangat jauh ini secara termal sangat tidak efisien, karena banyak kehilangan (*loss*) panas ketika gas dialirkan dalam pipa menuju ke pabrik hidrogen. Selain itu, secara keekonomian juga merugikan karena selain semakin banyak kehilangan panas juga membutuhkan sistem perpipaan yang lebih panjang. Untuk mengatasi supaya jarak yang dibutuhkan lebih dekat maka harus dibuat tembok penghalang tahan api, sehingga perlu kajian lebih lanjut.

4. KESIMPULAN

Pengintegrasian reaktor RGTT200K yang dikopling dengan pabrik hidrogen harus mempertimbangkan berbagai macam aspek keselamatan dan salah satunya adalah pemisahan jarak antara kedua sistem. Sumber-sumber terjadinya kebakaran/ledakan pada pengintegrasian reaktor RGTT200K yang dikopel dengan pabrik hidrogen adalah gas alam, gas H₂ dan gas CO. Jarak aman yang dibutuhkan oleh pabrik hidrogen yang dikopel dengan RGTT200K dengan produk 160.000 m³/hari adalah 1 km, dimana tangki penyimpanan sebesar 400.000 m³, dan konstanta k adalah 8 (karena termasuk dalam kategori bangunan kerja). Dengan jarak yang sangat jauh ini secara termal sangat tidak efisien, karena banyak kehilangan (*loss*) panas ketika gas dialirkan dalam pipa menuju ke pabrik hidrogen. Untuk mengatasi supaya jarak yang dibutuhkan lebih dekat maka harus dibuat tembok penghalang tahan api, sehingga perlu kajian lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] PURWADI, M D., "Desain Konseptual Reaktor Daya Maju Kogenerasi Berbasis RGTT", Prosiding Seminar TKPFN-16, PTRKN, BATAN- FMIPA, ITS, Surabaya, 28 Juli 2010.
- [2] ALIMAH, S., dkk., "Pemilihan Teknologi Produksi Hidrogen Dengan Energi Nuklir", Jurnal Pengembangan Energi Nuklir, Vol. 10, No.2, Desember 2008.

- [3] OHASHI H., et.al., "Current Status of Research and Development on System Integration Technology for Connection between HTGR and Hydrogen Production System at JAEA", JAEA, Japan, 2008.
- [4] CURTIS, S., et all., "Separation Requirements for a Hydrogen Production Plant and High Temperature Nuclear Reactor", Idaho National Laboratory (INL), USA, September 2005.
- [5] ZUHAIR, dkk., "Studi Efek Fraksi Packing TRISO dalam Desain Kritikalitas RGTT200K", Prosiding Seminar Nasional ke-17 Teknologi dan Keselamatan PLTN serta Fasilitas Nuklir, PTRKN, BATAN-FMIPA, UNY, Yogyakarta, 1 Oktober 2011.
- [6] IRIANTO, I G., "Desain Konseptual Unit Konversi Daya Berbasis Kogenerasi Untuk Reaktor Tipe RGTT200K", Prosiding Seminar Nasional ke-17 Teknologi dan Keselamatan PLTN serta Fasilitas Nuklir, PTRKN, BATAN-FMIPA, UNY, Yogyakarta, 1 Oktober 2011.
- [7] SUMIJANTO, dkk., "Analisis Aplikasi Energi Termal RGTT200K untuk Produksi Hidrogen PLTN dan Desalinasi", Prosiding Seminar Nasional ke -16 Teknologi dan Keselamatan PLTN serta Fasilitas Nuklir , PTRKN, BATAN- FMIPA, ITS, Surabaya, 28 Juli 2010.
- [8] SITI ALIMAH, dkk., "Aspek Termodinamika Produksi Hidrogen Dengan Proses Steam Reforming Gas Alam", Majalah Ilmiah Pengkajian Industri, BPPT, Volume 4 Nomor 1, April 2010.
- [9] VERFONDERN, K., NISHIHARA, T., "Valuation of the Safety Concept of the Combined Nuclear/Chemical Complex For Hydrogen Production With HTTR", Department of Advanced Nuclear Heat Technology, JAERI, Oarai-Ibaraki, Japan, 2004.
- [10] VERFONDERN, K., NISHIHARA, T., "The Particular Safety Aspects of The Combined HTTR/Steam Reforming Complex for Nuclear Hydrogen Production", The 1st COE-INES Int. Symposium, INES-1 Oct 31 – Nov 4, Japan , 2004.
- [11] USNRC, "Regulatory Guide 1.91: Evaluations of Explosions Postulated To Occur on Transportation Routes Near Nuclear Power Plants ", USA, Revision 1, February 1978.