

RANCANGAN EKSPERIMEN DEKOMPOSISI HIDROGEN IODIDA PADA LITBANG PRODUKSI HIDROGEN TERMOKIMIA S-I

Sumijanto
Pusat Teknologi Reaktor Dan Keselamatan Nuklir

ABTRAK

RANCANGAN EKSPERIMEN DEKOMPOSISI HIDROGEN IODIDA PADA LITBANG PRODUKSI HIDROGEN TERMOKIMIA S-I. Hidrogen merupakan sumber energi baru dan terbarukan yang ramah lingkungan. Sistem produksi hidrogen termokimia S-I sangat menjanjikan karena proses produksi hidrogen ini dapat memanfaatkan energi termal dari reaktor nuklir. Dekomposisi asam iodida merupakan salah satu tahapan penting dalam siklus produksi hidrogen namun efisiensinya belum optimal. Ketersediaan data dukung untuk peningkatan efisiensi reaksi dekomposisi sangat terbatas sehingga perlu dicari dengan cara eksperimen laboratorium. Dalam makalah ini dibahas rancangan eksperimen dekomposisi hidrogen iodida yang bertujuan untuk dapat diaplikasikan dalam eksperimen laboratorium. Perancangan dilakukan dengan memperhatikan permasalahan reaksi dekomposisi, parameter operasi, ketersediaan material dan peralatan, sifat-sifat spesi kimia dan keselamatan kerja. Dari hasil pembahasan dapat disimpulkan bahwa rancangan ini dapat diaplikasikan untuk mendapatkan karakteristik proses dekomposisi asam iodida yang efisien pada siklus *iodine* proses produksi hidrogen termokimia S-I dengan selamat.

Kata kunci : Rancangan, dekomposisi, hidrogen iodida, termokimia S-I

ABSTRACT

THE HYDROGEN IODIDA DECOMPOSITION EXPERIMENTAL DESIGN ON R&D I-S THERMOCHEMICAL HYDROGEN PRODUCTION. *Hydrogen is new and newly resource energy with environmentally friendly. I-S thermochemical hydrogen production system is one of promising process which using nuclear heat from the nuclear reactor. Hydrogen iodida decomposition is one of important step in hydrogen production cycle but its efficiency has been optimized yet. To increase the efficiency of decomposition reaction it is necessary to examine the feasibility of the process through laboratory experiment. Experimental design is implemented in regard to various reaction decomposition parameter including tools and equipment availability, chemical characteristic of compound, and also labour safety. This paper describes hydrogen iodida decomposition experimental design for laboratory application. From the assessment it can be concluded that the design can be applied to gain the hydrogen iodida decomposition process characteristic efficiently and safely in I-S thermochemical hydrogen production.*

Key word : design, decomposition, hydrogen iodida, I-S thermochemical

PENDAHULUAN

Hidrogen merupakan sumber energi baru dan terbarukan yang ramah lingkungan. Sistem produksi hidrogen termokimia S-I sangat menjanjikan karena proses produksi hidrogen ini dapat memanfaatkan energi termal dari reaktor nuklir. Pemanfaatan reaktor nuklir untuk produksi hidrogen dapat meningkatkan efisiensi termal reaktor nuklir dari sekitar 40% menjadi sekitar 85%.

Proses produksi hidrogen secara termokimia S-I terdiri dari beberapa tahapan proses reaksi kimia yang membentuk suatu siklus tertutup yaitu, reaksi Bunsen, pemisahan hasil reaksi Bunsen, pemurnian hasil reaksi Bunsen, dekomposisi asam iodida, dan dekomposisi asam sulfat. Efisiensi termal pada setiap tahapan proses perlu ditingkatkan guna

mewujudkan proses produksi hidrogen yang efisien dan hemat energi. Dari hasil kajian literatur terhadap reaksi dekomposisi asam iodida terdapat berbagai masalah yang perlu diselesaikan^[1].

Derajat dekomposisi asam iodida pada temperatur 400 °C adalah sekitar 20%. Pada kondisi tersebut, reaksi telah mencapai kondisi setimbang sehingga kuantitas gas H₂ dan gas I₂ sebagai hasil dekomposisi tidak lagi bertambah. Pada kondisi ini, secara mikro laju reaksi kearah produk sama dengan laju reaksi kearah reaktan, sehingga secara makro laju reaksi seakan bernilai nol (berhenti). Reaksi ini akan membatasi kuantitas *iodine* (I₂) yang dihasilkan sehingga pasokan bahan baku untuk reaksi Bunsen menjadi terbatas dan tidak efisien. Selain itu, gas H₂ sebagai produk utama proses produksi hidrogen termokimia S-I juga terbatas sehingga tidak efisien.

Untuk peningkatan efisiensi tersebut maka salah satu produk atau keduanya harus dipisahkan dari sistem reaksi dekomposisi asam iodida ataupun menggunakan katalis untuk mempercepat reaksi serta menurunkan suhu reaksi [2].

Keterbatasan data dukung kinetika proses untuk pemodelan, analisis dan evaluasi proses reaksi dekomposisi asam iodida merupakan kendala utama dalam membuat siklus tertutup. Disamping hal tersebut ketersediaan data dalam literatur juga sangat terbatas dan tidak mencukupi untuk kegiatan evaluasi. Satu-satunya cara yang dapat dilakukan untuk memperolehnya adalah dengan cara melakukan eksperimen.

Reaksi dekomposisi asam iodida adalah reaksi endotermis dan dapat balik (reversibel). Agar diperoleh hasil yang maksimal, maka kesetimbangan reaksi harus digeser ke arah produk. Untuk itu diperlukan data kesetimbangan reaksi dekomposisi asam iodida dan filter (membran) keramik untuk memisahkan gas hidrogen serta katalis dekomposisi asam iodida pada temperatur tinggi. Dengan demikian perlu dilakukan pengujian laboratorium terhadap reaksi dekomposisi asam iodida untuk memperoleh peningkatan efisiensi.

Peningkatan efisiensi reaksi dekomposisi asam iodida dilakukan dengan memisahkan gas hidrogen sebagai hasil dekomposisi asam iodida menggunakan membran keramik serta katalis untuk meningkatkan efisiensi reaksi dekomposisi. Parameter yang terkait dengan proses dekomposisi yaitu temperatur, waktu, katalis dan daya pisah membran divariasikan untuk memperoleh kondisi dekomposisi asam iodida yang optimal.

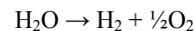
Dalam makalah ini dibahas rancangan eksperimen reaksi dekomposisi asam iodida dengan mengakomodasi parameter-parameter yang terkait dengan proses dekomposisi. Tujuan dari perancangan ini adalah untuk mendapatkan rancangan eksperimen yang dapat diaplikasikan untuk mendapatkan karakteristik proses dekomposisi asam iodida yang efisien pada siklus *iodine* proses produksi hidrogen termokimia S-I. Pengetahuan dan teknik dekomposisi yang diperoleh diharapkan dapat digunakan oleh para *engineer* sebagai dasar dalam membangun metode dekomposisi asam iodida guna mewujudkan sistem produksi hidrogen termokimia S-I dalam skala industri yang efisien.

TINJAUAN PUSTAKA

Produksi Hidrogen Termokimia

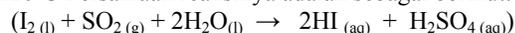
Produksi hidrogen termokimia meliputi penguraian air menjadi hidrogen dan oksigen secara reaksi kimia pada temperatur tinggi. Secara ideal air akan terurai secara langsung (*thermolysis*), namun proses ini membutuhkan temperatur sekitar 5000 °C.

Persamaan peruraian air yang menghasilkan gas hidrogen dan oksigen adalah sebagai berikut.

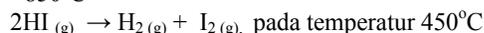
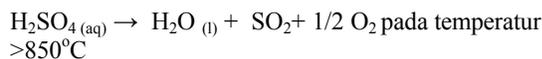


Karena temperatur tersebut tidak praktis, maka dikembangkan siklus pemisahan air secara termokimia pada temperatur lebih rendah dari temperatur di atas, tetapi dapat mencapai hasil yang sama dengan cara *thermolysis* [4]. Siklus pemisahan air secara termokimia adalah sederetan reaksi kimia, beberapa reaksi kimia tersebut berlangsung pada temperatur tinggi. Bahan kimia dipilih sedemikian rupa untuk membuat reaksi-reaksi menjadi siklus tertutup. Air adalah sebagai bahan masukan untuk proses, gas oksigen dan hidrogen menjadi luaran yang dapat dikumpulkan. Perekasi selain air dibangkitkan dan disiklus ulang kembali. Dewasa ini, studi NERI (*Nuclear Energy Research Initiative*) telah mengidentifikasi lebih dari 100 siklus pemisahan air secara termokimia. Beberapa siklus produksi hidrogen termokimia yang paling menjanjikan telah dipilih untuk diteliti dan dikembangkan berdasarkan pada : (i) kemudahan siklus, (ii) efisiensi proses dan (iii) dapat tidaknya dilakukan pemurnian yang tinggi.

Dari hasil identifikasi proses termokimia tersebut, proses keluarga sulfur, termasuk *Iodine-Sulfur (S-I)* dan *Hybrid Sulfur*, menunjukkan efisiensi yang paling tinggi dan mempunyai peluang yang paling menjanjikan. Siklus S-I menggunakan I₂ dan SO₂ sebagai bahan katalis untuk memisahkan air. Pertama, air akan bereaksi dengan I₂ dan SO₂ untuk membentuk HI dan H₂SO₄ pada temperatur sekitar 120°C Persamaan reaksinya adalah sebagai berikut:



HI dan H₂SO₄ kemudian dipisahkan satu sama lain. Bahan I₂ dan SO₂ diambil dari hasil peruraian berturut turut dari HI dan H₂SO₄, sedangkan gas hidrogen dan oksigen diambil untuk dikumpulkan. Persamaan dekomposisi tersebut adalah sebagai berikut:



Reaksi yang memerlukan energi panas terbesar adalah untuk proses peruraian H₂SO₄, pada temperatur sekitar 850°C. Temperatur tinggi diperlukan untuk menghasilkan hidrogen dalam jumlah besar dengan efisien, karena efisiensi proses akan menurun secara cepat dengan menurunnya temperatur.

Siklus termokimia diharapkan menjadi pelopor untuk memproduksi hidrogen dalam jumlah besar secara efisien dan ekonomis. Ekonomi proses tergantung pada siklus dan temperatur yang

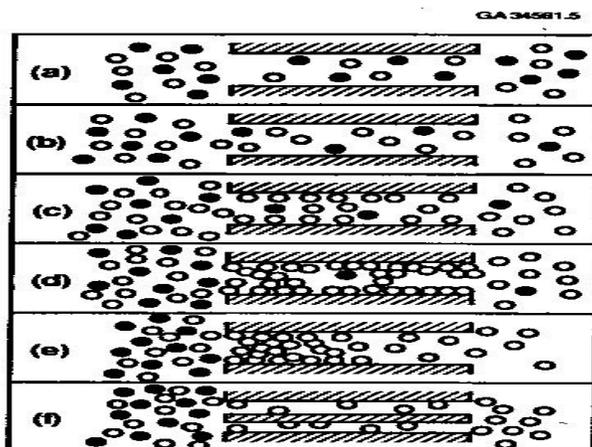
digunakan. Efisiensi produksi adalah salah satu faktor yang membantu faktor ekonomi dan sering digunakan sebagai proses pembandingan. Efisiensi produksi didefinisikan sebagai perbandingan antara kandungan energi dari hidrogen yang dihasilkan dengan energi yang dikeluarkan untuk produksi hidrogen. Untuk pendekatan termokimia, misalnya proses I-S, diharapkan efisiensi total lebih tinggi dari 50%. Sebagai perbandingan, proses yang tersedia secara komersial secara *electrolysis* ini memiliki efisiensi 25-35%^[1,3]. Efisien yang rendah ini disebabkan oleh penggunaan energi listrik yang besar.

Membran Keramik

Mekanisme transport gas pada membran sudah lama diteliti, terutama membran dengan kerapatan tinggi dan membran yang relatif tidak rapat. Untuk membran dengan kerapatan tinggi antara lain menggunakan metal dengan kerapatan tinggi atau membran keramik (membran anorganik). Sedangkan untuk membran dengan kerapatan rendah antara lain

membran polimer organik. Membran metal palladium yang telah diketemukan sejak tahun 1866 oleh Thomas Graham menerangkan bahwa membran tersebut telah dapat memisahkan hidrogen dengan jumlah yang besar. Sistem hibrid metal palladium tersebut merupakan suatu contoh membran yang sangat penting dan telah dipelajari secara mendalam^[2].

Mekanisme transport yang lain pada sistem fluida cair melalui pori membran berlapis. Mekanisme ini dilakukan dengan memvariasi ukuran pori membran dan mengurangi interaksi kimia antara gas yang dipisahkan dengan material membran yang digunakan. Dengan melakukan tekanan secara gradien, gas-gas dapat dilewatkan melalui membran satu persatu dengan mekanisme sebagai berikut. Tingkat permean dan selektivitas (dikenal dengan daya pisah) membran tergantung pada kondisi operasi, karakteristik membran dan gas yang berinteraksi dengan lingkungan membran. Mekanisme transportasi gas melalui membran anorganik seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Mekanisme transportasi gas campuran melalui pori membran, (a) aliran viskos, (b) difusi Knudsen, (c) difusi permukaan, (d) difusi multi-lapis, (e) kondensasi kapilaritas, (f) *molecular sieving*

Mekanisme transportasi untuk gas campuran melalui pori membran adalah sebagai berikut: (a) aliran viskos, (b) difusi *Knudsen diffusion*, (c) difusi permukaan, (d) difusi multi-lapis, (e) kondensasi kapilaritas dan (f) *molecular sieving*. Hanya lima mekanisme yang efektif dalam pemisahan gas yaitu diluar mekanisme aliran viskos. Pada mekanisme difusi Knudsen, difusi permukaan, difusi multi-lapis, kondensasi kapilaritas dan *molecular sieving* serta sejumlah kombinasinya dapat dipercaya untuk memisahkan gas-gas campuran.

Difusi Knudsen yang mana hasil pemisahannya secara dominan terjadi akibat pengaruh tumbukan antar molekul, yang didasarkan pada tumbukan antara molekul dengan permukaan pori membran. Dengan diameter pori menurun atau jejak bebas rata-rata (*mean free path*) molekul meningkat menumbuk dinding pori, hal ini menimbulkan berkurangnya tumbukan sesama gas dibandingkan tumbukan gas dengan dinding pori membran. Kontribusi dari difusi Knudsen secara jelas ketika diameter pori sekitar 5-10nm dibawah tekanan atau 5-50nm tanpa tekanan. Aturan secara umum adalah ketika ukuran pori

diperkirakan lebih kecil dari 1/10 *mean free path spesies*. Faktor pemisahan menunjukkan efisiensi pemisahan yang didefinisikan sebagai berikut:

$$FA/FB = (MB/MA)^{0.5} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana F dan M adalah fluks permeasi dan berat molekul gas A dan B. Aliran laminar sangat sering terjadi pada difusi Knudsen. Kontribusi difusi Knudsen relatif terhadap aliran laminar ditentukan oleh banyaknya bilangan Knudsen, K_n yang didefinisikan sebagai perbandingan antara *mean free path* terhadap jari-jari pori membran [5].

$$K_n = \lambda / r \dots\dots\dots(2)$$

Nilai λ tergantung tekanan dan jenis gas sesuai dengan persamaan gas ideal:

$$\lambda = (1/\sqrt{2}\sigma)(kT/p) \dots\dots\dots(3)$$

dengan:

σ =tampang lintang tumbukan molekul gas yang dapat ditentukan sebagai πd^2 dengan d=diameter molekul.

K =konstanta = 1.38×10^{-23} J/K ,

T =temperatur (K),

P =tekanan (atm)

Transportasi gas melalui membran berpori dengan difusi Knudsen akan terjadi bilamana *mean free path* dari molekul gas jauh lebih besar daripada ukuran pori-pori membran. Molekul gas berdifusi melalui pori-pori membran akibat tumbukan dinding pori-pori membran karena adanya perbedaan konsentrasi gas. Persamaan permeansi Knudsen diberikan oleh rumus:

$$Q = \frac{\epsilon d_p}{\tau L} \left(\frac{8}{9\pi MRT} \right)^{1/2} \dots\dots\dots(4)$$

dimana:

Q = permeansi (mol m⁻² s⁻¹ Pa⁻¹)

ϵ = porositas

τ = tortuositas

d_p = diameter pori-pori (m)

L = ketebalan membrane (m)

R = konstanta gas = 8.314 J mol⁻¹.K⁻¹

T = temperatur (K)

M = berat molekul (kg. Mol⁻¹)

Dari persamaan tersebut, *mean free path* adalah sebanding dengan temperatur absolut dan berbanding terbalik dengan tekanan.

Telah diketahui bahwa membran anorganik silika yang ditutupi dengan substrat gelas *vycore* mempunyai selektivitas yang tinggi terhadap gas H₂. Membran ini menunjukkan permeansi terhadap gas hidrogen yang tinggi yaitu 10⁻⁷ mol.m⁻².s⁻¹.Pa⁻¹. pada temperatur 800K dengan memisahkan pengotor CH₄, CO, CO₂, N₂ hingga pada tingkat 2000. Untuk memperkuat membran anorganik silika digunakan bingkai alumina. Pembuatannya dilakukan dengan mendeposisi lapisan tipis silika pada alumina fasa gamma yang berpori dengan cara mendekomposisi termal Tetra-Etil-Orto-Silika (TEOS) pada temperatur 873K dengan media gas argon yang mengalir^[2]. Permeansi dari gas hidrogen yang dilewatkan pada membran silika pada suhu 873K sebagai fungsi dari waktu deposisi silika dapat dilihat pada Tabel 1 [5].

Tabel 1 : Permeansi gas hidrogen pada membran silika pada 873 K.

Permeansi / mol m ⁻² S ⁻¹ Pa ⁻¹	1. 10 ⁻⁴	8.10 ⁻⁶	6.10 ⁻⁶	5.10 ⁻⁶	3.10 ⁻⁶
Waktu dekomposisi/ jam	0	3	6	9	12

Dari tabel 1 tersebut di atas dapat digunakan untuk mengevaluasi formasi pembentukan lapisan silika pada pendukung membran. Pada gambar tersebut diperlihatkan bahwa permeansi semua gas akan menurun seiring dengan waktu deposisi silika. Untuk gas hidrogen, permeansi mulai turun secara drastis setelah tiga jam waktu deposisi silika, hingga orde 10⁻⁷ mol.m⁻².s⁻¹.Pa⁻¹ tetapi selanjutnya penurunan akan landai. Bila dibandingkan dengan permeansi gas methana (CH₄), CO, dan CO₂ terlihat bahwa penurunan akan terus terjadi secara bertahap berlanjut sepanjang waktu deposisi silika. Dari gambar tersebut juga dapat disimpulkan pembentukan lapisan silika telah sempurna pada 12 jam waktu dekomposisi anorganik silika dan hasilnya adalah membran yang

selektif terhadap gas H₂^[2]. Dengan demikian diharapkan bahwa membran silika akan dapat digunakan untuk memisahkan gas H₂ pada proses dekomposisi asam iodida.

TATA KERJA

Rancangan eksperimen dilakukan dengan memperhatikan hal-hal sebagai hal-hal berikut :

- Peningkatan efisiensi reaksi dekomposisi asam iodida, dilakukan dengan memisahkan gas hidrogen sebagai hasil dekomposisi asam iodida menggunakan membran anorganik silika serta penggunaan katalis guna mempercepat reaksi.
- Parameter yang terkait dengan proses dekomposisi seperti temperatur, waktu, katalis

Keterangan gambar :

1. Indikator tekanan 2. Kontrol temperatur 3. Membran anorganik silika 4. Saluran pompa vakum / detektor H₂ 5. Saluran sampling.

Penggunaan bahan gelas yang tahan suhu tinggi dimaksudkan untuk dapat mengikuti secara visual proses reaksi dekomposisi. Membran anorganik silika dipasang pada bagian atas yang dihubungkan dengan pompa vakum guna memisahkan gas hasil dekomposisi HI. Kontrol temperatur digunakan sistem termokopel dihubungkan *heater* elektrik yang mampu memvariasikan temperatur percobaan. Tekanan sistem dimonitor melalui indikator tekanan, sedangkan untuk sampling gas digunakan alat sampling yang cocok dengan analisis gas khromatografi atau detektor gas hidrogen.

Rancangan Tahapan Eksperimen

Percobaan pendahuluan terhadap reaksi dekomposisi asam iodida dilakukan tanpa menggunakan membran dan katalis, ini berarti gas hidrogen yang dihasilkan tidak dipisahkan. Percobaan dilakukan pada temperatur dan waktu yang divariasikan untuk memperoleh karakteristik dasar dan kondisi optimal temperatur dan waktu dekomposisi asam iodida. Efisiensi dekomposisi diukur dengan mendeteksi gas hidrogen yang dihasilkan dari reaksi tersebut menggunakan detektor gas hidrogen.

Berdasarkan data karakteristik dasar dan kondisi optimal yang diperoleh pada percobaan pendahuluan, selanjutnya eksperimen peningkatan efisiensi reaksi dekomposisi asam iodida dilakukan dengan memisahkan gas hidrogen menggunakan membran anorganik silika serta penggunaan katalis untuk mempercepat reaksi dan menurunkan energi termal dekomposisi asam iodida. Parameter yang terkait dengan penggunaan membran dan katalis untuk peningkatan efisiensi dekomposisi asam iodida yaitu temperatur, waktu, jenis katalis, dan daya pisah membran divariasikan untuk memperoleh kondisi optimal reaksi dekomposisi asam iodida. Efisiensi dekomposisi diukur dengan deteksi *iodine* dengan jumlah maksimal atau asam iodida sisa dengan jumlah minimal.

Kondisi percobaan

Percobaan dilakukan dengan menyiapkan cairan asam iodida murni dalam reaktor dan menentukan pengaruh temperatur dan waktu terhadap hasil dekomposisi asam iodida. Temperatur reaksi dijalankan dari 300 °C hingga 500 °C dengan rentang temperatur 50 °C. Asam iodida dipanaskan dalam reaktor kimia pada rentang temperatur yang telah ditetapkan dan gas hidrogen yang terbentuk diukur tanpa pemisahan terlebih dahulu. *Iodine* dan asam iodida yang tersisa dalam sistem dekomposisi dianalisis dan dibandingkan dengan kadar hidrogen yang terbentuk guna menentukan efisiensi awal

proses dekomposisi. Eksperimen ini dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik dasar fenomena reaksi dekomposisi asam iodida.

Berdasarkan karakteristik reaksi dekomposisi tersebut, peningkatan efisiensi reaksi dekomposisi dilakukan dengan menggunakan katalis dan memisahkan gas hidrogen dari sistem menggunakan membran anorganik silika pada temperatur yang divariasikan mulai dari 300 °C hingga 500 °C dengan rentang temperatur 50 °C. Membran anorganik silika dipilih karena mampu meloloskan hidrogen tetapi menahan *iodine* dan asam iodida. Pemisahan hidrogen ini diharapkan dapat menggeser kesetimbangan dekomposisi ke arah kanan/produk yaitu hidrogen dan iodin sehingga reaksi dekomposisi menjadi lebih efektif. Efisiensi reaksi dekomposisi ini bergantung pada unjuk kerja membran yang digunakan untuk memisahkan hidrogen. Unjuk kerja membran yang digunakan dipilih pada daya pisah antara 200–600. Katalis dimaksudkan untuk mempercepat reaksi dekomposisi serta menurunkan energi termal yang digunakan dalam proses dekomposisi asam iodida. Rangkaian fasilitas uji dekomposisi asam iodida menggunakan membran anorganik jenis silika disajikan pada Gambar 2.

Efisiensi reaksi dekomposisi ditentukan dengan pengukuran konsentrasi *iodine* yang dihasilkan serta asam iodida yang tersisa serta energi termal yang digunakan. Energi termal pada reaksi dekomposisi asam iodida dihitung dari temperatur optimal dan penggunaan membran ataupun katalis pada proses dekomposisi asam iodida. Dengan demikian dapat ditentukan kondisi optimal (daya pisah membran, katalis, pengaruh waktu dan temperatur) proses dekomposisi. Kondisi optimal diukur dengan indikator temperatur di mana produk *iodine* paling banyak dengan temperatur reaksi paling rendah.

Analisis Keselamatan

Pelaksanaan eksperimen reaksi dekomposisi asam iodida perlu memperhatikan aspek-aspek keselamatan. Oleh karena itu perlu dipertimbangkan bahwa, meskipun eksperimen yang dilakukan tidak dalam kondisi tekanan tinggi (kondisi vakum / tekanan rendah), namun resiko lain harus dipertimbangkan dan diperhatikan, seperti bahaya efek kimia dan temperatur tinggi.

Bahaya efek kimia dari asam sulfat, asam iodida, uap iodin, dan gas hidrogen hasil dekomposisi. Kemungkinan bahaya ledakan asam sulfat bila terkena air, uap iodin dan HI yang merupakan oksidator kuat, percikan fluida panas, serta ledakan hidrogen bila terkena api atau oksigen. Tindakan keselamatan yang harus ditetapkan adalah :

- Pelaksanaan eksperimen dilakukan dalam almari asam yang dilengkapi dengan hisapan udara keluar laboratorium.

- Menggunakan sarung tangan tahan kimia dan panas.
- Menggunakan pelindung pernafasan dan pelindung muka.
- Menggunakan Jas laboratorium.
- Menjauhkan api atau loncatan api didekat gas hidrogen yang terbentuk.
- Menggunakan peralatan keselamatan kerja laboratorium kimia saat preparasi kimia.
- Memperhatikan hubungan listrik saat menghidupkan *heater* dan pompa vakum.
- Isolasi / jauhkan gas hidrogen yang terbentuk dari api, oksigen ataupun percikan api.

Rancangan eksperimen yang terdiri dari reaktor kimia, tahapan eksperimen, kondisi eksperimen, serta aspek keselamatan, dapat diaplikasikan di laboratorium untuk mendapatkan karakteristik reaksi dekomposisi asam iodida, dalam rangka mewujudkan siklus tertutup produksi hidrogen termokimia S-I yang efisien.

KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan dapat disimpulkan bahwa rancangan ini dapat diaplikasikan dilaboratorium untuk mendapatkan karakteristik proses dekomposisi asam iodida yang efisien pada siklus

iodine proses produksi hidrogen termokimia S-I dengan selamat.

DAFTAR PUSTAKA

1. Onuki et. al. “*Thermochemical Hydrogen Production By Iodine-Sulfur Cycle*”, Proceedings 14th World Hydrogen Energy Conference, Montreal, Canada, 2002.
2. Anonim, “A Highly hydrogen permeable silica membrane supported on porous alumina”.
3. Brown L.C., et.al. “*High Efficiency Generation of Hydrogen Fuels Using Nuclear Power*” Proposal to US-DOE prepared under Nuclear Energy Reseach Initiative Program, DE-FG03-99SF21888.
4. NORMAN, J.H., Besenbruch, G.E., and O’keefe, D. R., “*Thermochemical Water Splitting for Hydrogen Production*”, *GRI-80/0105, March, 1981*.
5. H.Y. Ha, S.W. Nam et.al. “Chemical vapor deposition of hydrogen permselective silica film on porous glass support from TEOS”, *Jour. Membr. Sci.* 85 (1993), p:279-290