

RANCANGAN SISTEM PURIFIKASI PENDINGIN REAKTOR GENERASI LANJUT JENIS HTGR

Sumijanto

Pusat Teknologi Reaktor Dan Keselamatan Nuklir

ABSTRAK

RANCANGAN SISTEM PURIFIKASI PENDINGIN REAKTOR GENERASI LANJUT JENIS HTGR. Untuk memenuhi kebutuhan energi dimasa mendatang, Pemerintah Indonesia merencanakan membangun pembangkit listrik tenaga nuklir. Salah satu kandidat reaktor yang akan dibangun adalah reaktor HTGR (*High Temperature Gas-cooled Reactor*), yang merupakan reaktor maju dengan teknologi modern. Reaktor ini menggunakan gas helium sebagai pendingin yang harus dijaga kemurniannya dari gas pengotor (H_2O , CO , CO_2 , N_2 , H_2 dan CH_4) karena pada temperatur tinggi, pengotor dapat terurai membentuk radikal bebas ataupun spesi kimia yang sangat agresif terhadap material struktur, sistem dan komponen reaktor. Rancangan sistem purifikasi gas helium perlu dikembangkan untuk menjaga kemurnian pendingin reaktor. Sistem purifikasi dirancang menggunakan teknik oksidasi untuk pembesaran ukuran molekul pengotor dan teknik filtrasi molekular untuk pemisahannya. Sebagai oksidator digunakan CuO dan sebagai filter molekular digunakan membran anorganik. Parameter proses purifikasi gas helium seperti temperatur operasi, kualitas gas pengotor, dan kualitas membran keramik, ditentukan dengan teknik optimasi untuk memperoleh hasil gas helium yang memenuhi syarat. Kualitas gas helium dipantau menggunakan alat GCMS (Gas Chromatografi Massa Spectroscopy) dengan teknik sampling. Oksidator CuO dengan ukuran 40 mes, membran silika dengan tingkat permeasi $1 \times 10^{-10} \text{ mol.m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$, dan $6 \times 10^{-10} \text{ mol.m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$, serta GCMS, layak digunakan dalam rancangan sistem purifikasi gas helium untuk memperoleh kualitas pendingin yang memenuhi persyaratan operasi reaktor generasi lanjut jenis HTGR.

Kata kunci : Rancangan, sistem purifikasi helium, HTGR.

ABSTRACT

DESIGN FOR COOLING PURIFICATION SYSTEM OF HTGR ADVANCED REACTOR. To meet future energy demand, Indonesia plans to deploy a nuclear power plant. One potential candidate reactor is high temperature gas-cooled reactor (HTGR), an advanced reactor applying modern reactor technology. This type of reactor uses helium as coolant. This coolant has to be kept clean from impurity gases such as H_2O , CO , CO_2 , N_2 , H_2 , and CH_4 , because at high temperature they may form free radicals or other chemistry compounds that are very aggressive to structural materials, system, and reactor components. To overcome this problem, a reliable HTGR coolant purification system that is able to reduce concentrations of those impurities is needed so that reactor integrity is sustained. In order to support deployment of this reactor, a design for cooling purification system of HTGR advanced reactor has been developed. Purification method employs oxidation technique and molecular filtration uses membrane. Molecule enlargement is carried out using CuO oxidant and filtered by filtration technique with a inorganic membrane. All parameters involved in this helium purification process are temperature, quality of impurities, quality of ceramic membrane. These parameters have to be optimized in order to obtain helium gas with permissible impurity concentrations. Monitoring of helium quality in the purification process is conducted by using Gas Chromatography Mass Spectroscopy (GCMS) with sampling technique. Oxidator CuO with grain size of 40 mesh and silica membrane as a molecular filter with permeability $1 \times 10^{-10} \text{ mol.m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$ and $6 \times 10^{-10} \text{ mol.m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$ and GCMS, visible to used for design for cooling purification system of HTGR advanced reactor.

Key word : Design, helium purification system, HTGR

PENDAHULUAN

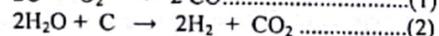
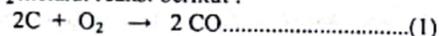
Reaktor generasi lanjut jenis HTGR (*High Temperature Gas-Cooled Reactor*) adalah reaktor teknologi modern yang akan dibangun di Indonesia

sebagai alternatif sumber energi nuklir yang handal guna memenuhi kebutuhan energi dimasa mendatang. HTGR merupakan reaktor nuklir berpendingin gas helium yang dapat beroperasi pada temperatur tinggi dengan aman.

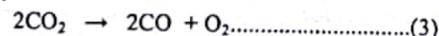
Penggunaan gas helium yang inert sebagai pendingin reaktor HTGR mempunyai berbagai keuntungan, diantaranya adalah mengeliminasi masalah korosi pada struktur sistem dan komponen reaktor yang biasanya dapat mengurangi tingkat keandalan operasi reaktor nuklir. Pada reaktor HTGR, pendingin gas helium dioperasikan pada temperatur tinggi dengan tekanan yang relatif rendah (5 MPa) dibandingkan dengan reaktor daya lainnya yang memanfaatkan air sebagai pendingin.

Pada kenyataannya dilapangan, pendingin helium berpotensi mengandung beberapa gas pengotor yaitu karbondioksida (CO_2), karbonmonoksida (CO), nitrogen (N_2), uap air (H_2O), hidrogen (H_2), gas metana (CH_4), oksigen (O_2) dan debu karbon yang berasal dari abrasi elemen bakar dan moderator grafit. Proses terbentuknya pengotor helium adalah adanya hasil produk reaksi fisi (Xe dan Kr) yang terperangkap pada matrik bahan bakar, sehingga terjadi perubahan struktur pada lapisan bahan bakar. Batas konsentrasi gas pengotor yang diijinkan untuk kondisi reaktor HTGR beroperasi normal adalah $\text{H}_2\text{O} < 0,1$ vpm (*volume part per million*), $\text{CO} < 2$ vpm, $\text{N}_2 < 1$ vpm, $\text{H}_2 < 55$ vpm, $\text{CH}_4 < 1$ vpm^[1]. Berdasarkan hasil analisis terhadap gas helium dengan kemurnian tinggi yang dioperasikan pada kondisi operasi reaktor normal ditemukan gas lainnya pada gas helium berupa gas $\text{CO}_2 < 0,02$ vpm, $\text{CO} < 0,05$ vpm, $\text{N}_2 < 0,05$ vpm, $\text{H}_2\text{O} < 0,1$ vpm, $\text{H}_2 < 0,1$ vpm, $\text{CH}_4 < 0,1$ vpm dan $\text{O}_2 < 0,1$ vpm.

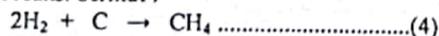
Pada hakekatnya gas helium yang memasuki teras reaktor sudah mengandung sejumlah gas O_2 dan H_2O . Ketika helium melalui moderator grafit, gas O_2 dan H_2O yang ada akan membentuk gas CO dan CO_2 melalui reaksi berikut :



Namun laju reaksi yang lambat antara H_2O dengan moderator grafit menyebabkan H_2O masih tertinggal sebagai pengotor dalam gas helium. Gas CO_2 yang terlepas dari grafit akibat temperatur tinggi menimbulkan terbentuknya gas CO menurut reaksi berikut :



Peningkatan kadar H_2 disebabkan oleh adanya interaksi antara H_2O dengan grafit. Sebagian gas H_2 akan bereaksi dengan grafit membentuk CH_4 ^[2]. Menurut reaksi berikut :



Gas pengotor yang terkandung dalam pendingin helium tersebut, pada temperatur operasi HTGR yang tinggi, dapat terurai membentuk radikal bebas ataupun spesi kimia yang sangat agresif. Dari fenomena tersebut, diduga akan terbentuk konsentrasi gas pengotor dapat melampaui batas kondisi persyaratan yang diijinkan. Hal ini akan menimbulkan berbagai masalah baru karena radikal bebas

ataupun spesi kimia tersebut akan dengan mudah berinteraksi dengan material struktur, material sistem dan komponen reaktor lainnya, yang pada akhirnya akan mengalami degradasi keandalan sistem. Degradasi yang terjadi akan mempengaruhi keandalan dan keselamatan operasi reaktor. Guna meminimalkan permasalahan baru tersebut maka pendingin reaktor harus selalu dipertahankan tingkat kemurniannya. Untuk mempertahankan tingkat kemurnian helium dalam reaktor HTGR harus disediakan suatu sistem yang mampu mengambil/mengurangi pengotor-pengotor yang terkandung dalam gas helium secara kontinyu.

Dalam makalah ini dibahas rancangan sistem purifikasi gas Helium yang selanjutnya untuk digunakan sebagai dasar dalam rancang bangun sistem purifikasi gas helium sebagai pendingin primer reaktor daya nuklir kogenerasi yang akan dibangun di Indonesia.

TEORI

Konsep purifikasi gas helium didasarkan atas sifat-sifat fisika dan kimia dari material pemisah dan unsur yang dipisahkan, sehingga akan diperoleh suatu korelasi optimal untuk menghasilkan gas helium dengan tingkat kemurnian yang diinginkan. Sebagai *input* pada sistem ini adalah gas helium dan gas-gas pengotor artifisial baik jenis maupun konsentrasinya yang sudah diketahui. Melalui tabung bertekanan, gas-gas *input* tersebut dilewatkan pada ruang oksidasi sebelum melewati membran anorganik untuk mengoksidasi gas hidrogen (H_2), gas metana (CH_4) dan gas karbonmonoksida (CO). Hasil oksidasi dari gas H_2 menjadi H_2O , gas CH_4 menjadi CO_2 dan H_2O , gas CO menjadi CO_2 .

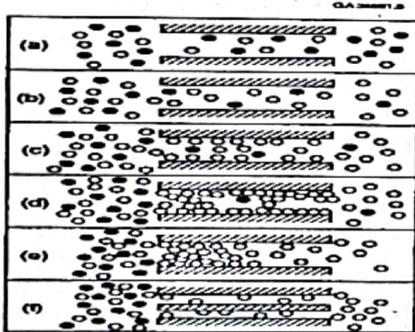
Reaktor HTGR adalah salah satu jenis reaktor daya modern yang dapat dikogenerasi dengan sistem konversi energi lainnya seperti sistem produksi hidrogen, desalinasi air laut dan proses industri lainnya untuk meningkatkan efisiensi termal dari reaktor. Temperatur operasi reaktor yang diinginkan biasanya melebihi 500°C . Keinginan ini membatasi pemanfaatan siklus Rankin yang menggunakan air sebagai media konversi energi, mengingat air akan mencapai titik kritis pada temperatur sekitar 374°C . Untuk itu perlu dipilih siklus konversi energi yang tidak menggunakan air, diantaranya adalah siklus Brayton. Siklus Brayton menggunakan gas sebagai media konversi energi. Reaktor daya Generasi lanjut yang diharapkan mulai beroperasi di Indonesia pada tahun 2030, dirancang memanfaatkan siklus Brayton dengan media konversi energi berupa gas helium^[1].

Untuk mengurangi jumlah gas pengotor (H_2 , CO , H_2O , CO_2 , CH_4 , N_2) yang terdapat pada gas helium sebagai pendingin primer reaktor HTGR maka perlu dibangun sistem purifikasi helium yang

komponen utamanya berupa oksidator CuO dan *molecular sieve*^(1,2)

Mekanisme transport gas pada membran sudah lama diteliti. 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⁽¹⁾ 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.

Mekanisme transport yang lain pada sistem fluida 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 permeasi dan selektivitas (daya pisah) membran tergantung pada kondisi operasi, karakteristik membran dan gas yang berinteraksi dengan lingkungan membran. Mekanisme transportasi gas 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 aliran 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:

$$F_A/F_B = (M_B/M_A)^{0.5} \dots \dots \dots (5)$$

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.

$$K_n = \lambda / r \dots \dots \dots (6)$$

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

$$\lambda = (1/\sqrt{2}\sigma)(kT/p) \dots \dots \dots (7)$$

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:

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

Q = permeansi ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$)

ϵ = porositas

τ = tortuositas

d_p = diameter pori-pori (m)

L = ketebalan membrane (m)

R = konstanta gas = $8.314 \text{ J mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

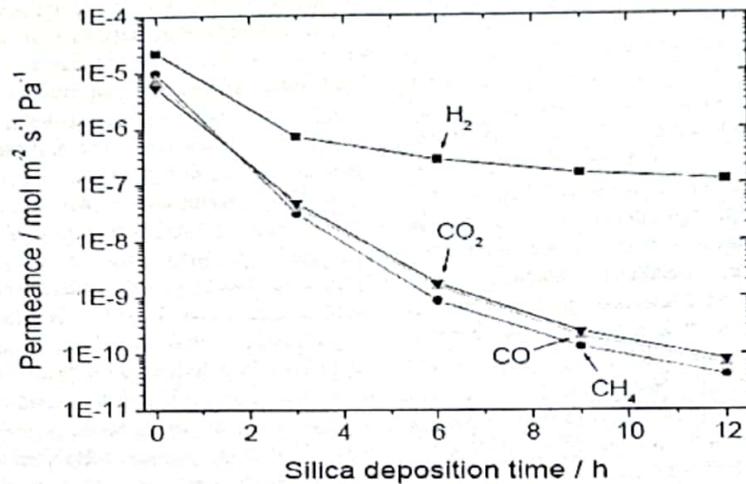
T = temperatur (K)

M = berat molekul ($\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$)

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 *ycore* mempunyai selektivitas yang tinggi terhadap gas H_2 . Membran ini menunjukkan permeansi terhadap gas hidrogen yang tinggi yaitu $10^{-7} \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}.\text{Pa}^{-1}$ pada temperatur 800K dengan memisahkan pengotor CH_4 , CO , CO_2 , N_2 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^[1]. Permeansi dari beberapa gas yang dilewatkan pada membran silika pada suhu 873K sebagai fungsi dari waktu deposisi silika dapat dilihat pada Gambar 2^[2].



Gambar 2. Permeansi pada beberapa gas terhadap waktu deposisi

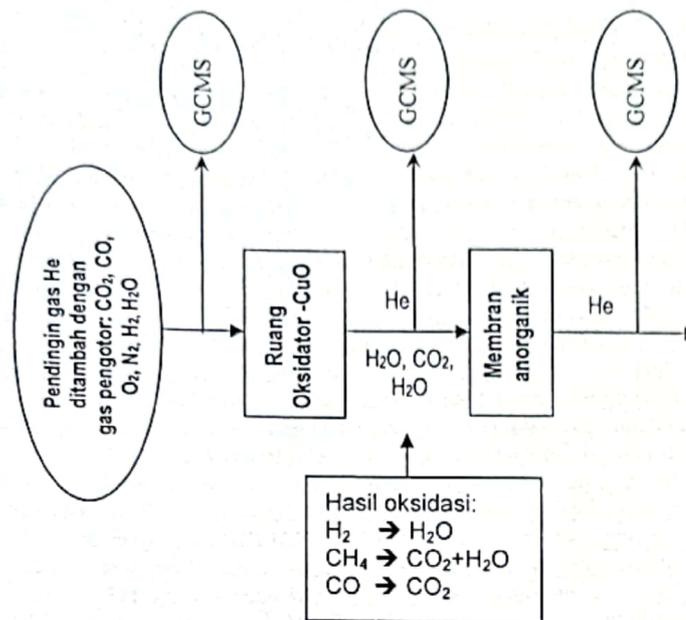
Gambar 2 tersebut di atas dapat digunakan untuk mengevaluasi formasi pembentukan lapisan silika pada pendukung membran. Pada gambar tersebut diperlihatkan bahwa permeansi semua gas akan menurun seiring dengan waktu deposisi silika. Untuk gas hidrogen, permeansi mulai turun secara drastis setelah tiga jam waktu deposisi silika, hingga orde $10^{-7} \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}.\text{Pa}^{-1}$ tetapi selanjutnya penurunan akan landai. Bila dibandingkan dengan permeansi gas methana (CH_4), CO , dan CO_2 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 H_2 ^[1].

Helium merupakan gas inert yang mempunyai massa dan ukuran molekul yang sedikit lebih kecil jika dibandingkan dengan gas hidrogen dan jauh lebih kecil lagi dari CH_4 , CO dan CO_2 . Dengan

demikian diharapkan bahwa membran silika akan dapat digunakan untuk menyaring gas helium.

KOSEP DASAR

Gas helium dan gas pengotornya (H_2O , CO , CO_2 , N_2 , H_2 dan CH_4) melalui sebuah pipa gas dihubungkan langsung dengan ruang yang dilengkapi oksidator serbuk CuO agar gas H_2 teroksidasi membentuk H_2O , gas CH_4 teroksidasi menjadi CO_2 dan H_2O , gas CO teroksidasi menjadi CO_2 , H_2 teroksidasi menjadi H_2O sedangkan N_2 tetap sebagai N_2 . Kemudian gas keluaran dari ruang oksidator diarahkan melewati membran anorganik, dan hanya gas helium saja yang akan melewati membran organik tersebut. Untuk monitoring kualitas gas helium digunakan GCMS. Sitem pemurnian gas helium dirancang mempunyai kapasitas 10 % dari total gas helium yang digunakan sebagai pendingin primer HTGR. Konsep dasar sistem purifikasi gas helium seperti pada Gambar 3.



Gambar 3: Konsep Dasar Sistem Purifikasi Gas Helium

PEMBAHASAN

Pendingin gas helium dalam reaktor HTGR harus dijaga kemurniannya dari gas pengotor (H₂O, CO, CO₂, N₂, H₂ dan CH₄) yang pada temperatur tinggi dapat terurai membentuk radikal bebas ataupun spesi kimia yang sangat agresif dan mudah berinteraksi dengan material struktur, sistem dan komponen reaktor yang pada akhirnya menyebabkan degradasi keandalan sistem. Untuk mengurangi gas pengotor dalam pendingin helium, diperlukan adanya sistem purifikasi gas helium yang handal. Bahan yang digunakan untuk proses pemurnian adalah oksidator CuO dan membran keramik. Prinsip dasar dalam proses pemurnian gas helium menggunakan metode reaksi kimia dan sistem penyaringan. Proses reaksi kimia dilakukan dengan menggunakan oksidator CuO untuk mengoksidasi gas pengotor (H₂O, CO, CO₂, N₂, H₂ dan CH₄), hal ini dilakukan untuk meningkatkan ukuran molekul sehingga dapat tertahan pada proses penyaringan dengan membran. Setelah keluar dari oksidator campuran gas terdiri dari H₂O, CO₂ dan N₂. Setelah dilakukan proses oksidasi tersebut, kemudian dilakukan proses penyaringan berdasarkan ukuran molekul gas. Dalam hal ini diupayakan agar ukuran molekul gas helium mempunyai ukuran molekul terkecil dibanding dengan ukuran molekul gas-gas pengotornya. Sehingga akan diperoleh tingkat kemurnian gas helium yang optimal. Tingkat kemurnian gas helium sebelum dan sesudah proses purifikasi, diuji dengan menggunakan alat GCMS (*Gas Chromatography Mass Spectrometry*).

Berbagai parameter yang terkait dengan proses purifikasi helium yaitu temperatur, konsentrasi gas pengotor, kualitas membran keramik, perlu dioptimalkan guna memperoleh hasil yang memenuhi syarat.

Metode pemisahan gas menggunakan membran anorganik silika dilakukan berdasarkan perbedaan ukuran diameter molekul yang akan melewati membran tersebut. Membran anorganik silika memiliki kisaran daya permeabilitas mulai dari orde 10⁻⁷ s/d 10⁻⁸ mol.Pa⁻¹.m⁻².s⁻¹, dan mempunyai kisaran daya pisah dari 50 s/d 500 untuk gas tertentu. Dalam sistem pemurnian gas helium ini, tingkat kemurnian ditentukan oleh unjuk kerja membran yang direpresentasikan oleh daya pisah tersebut. Permeansi dan daya pisah selain ditentukan oleh gas yang melewatinya juga dipengaruhi oleh temperatur operasi sistem pemurnian. Secara teoritis semakin tinggi temperatur mengakibatkan permeansi yang tinggi namun mengakibatkan daya pisah yang rendah.

Optimasi hasil pemurnian gas helium dapat dilakukan dengan mengontrol variasi temperatur, konsentrasi pengotor, jenis dan kecepatan alir gas dan unjuk kerja membran yang dipakai. Dalam pemurnian gas helium menggunakan membran anorganik, gas H₂ yang diameter molekulnya sedikit lebih besar dari gas helium tidak dapat dipisahkan maka harus dilakukan perlakuan khusus yaitu dengan cara melewatkan gas H₂ dan gas helium tersebut melalui ruang oksidator CuO sebelum melewati membran anorganik.

Rancangan sistem purifikasi gas helium didasarkan

atas sifat-sifat fisika dan kimia dari material pemisah dan unsur yang dipisahkan, sehingga akan diperoleh suatu korelasi optimal untuk menghasilkan gas helium dengan tingkat kemurnian yang diinginkan.

Untuk mengetahui efektivitas sistem pemurnian helium yang ada, akan dilakukan analisis konsentrasi campuran gas pengotor dan helium, baik sebelum dan sesudah melewati oksidator dan membran keramik. Analisis penentuan konsentrasi gas dilakukan dengan menggunakan alat GCMS (*Gas Chromatography – Mass Spectrometry*).

Pemilihan oksidator CuO

Bahan oksidator CuO dipilih bentuk butir kecil ukuran 40 mes dengan tujuan bahwa fluida gas dapat dengan mudah melewati bahan ini dikarenakan CuO dengan ukuran butir 40 mes masih relatif *porous*. Ketebalan ruang oksidator dioptimalkan dengan laju aliran gas sedemikian hingga mempunyai waktu kontak yang cukup untuk proses oksidasi gas pengotor. Sebelum dan sesudah ruang oksidasi disediakan fasilitas sampling gas guna keperluan analisis GCMS.

Pemilihan membran

Permeasi membran mempunyai peran sebagai pemisah gas helium dalam sistem pemurnian. Seperti ditunjukkan dalam gambar 2, terlihat ada korelasi antara daya pisah membran dan permeasi gas yang melewati membran, dimana untuk molekul dengan ukuran besar mempunyai permeasi rendah dan sebaliknya. Sedangkan jika dilihat dari teknik pembuatannya maka ada korelasi antara permeasi dan waktu deposisi, dimana pada waktu deposisi tinggi maka diperoleh permeasi rendah dan sebaliknya. Jadi untuk pemisahan helium akan lebih cocok digunakan membran dengan tingkat permeasi rendah untuk selain gas helium dan ini diperoleh pada membran dengan waktu deposisi tinggi. Dengan demikian maka gas pengotor akan dapat dipisahkan dari helium dengan baik. Membran silika yang dipilih adalah membran yang yang dibuat dengan waktu deposisi 12 jam, mempunyai permeasi $1 \times 10^{-10} \text{ mol.m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$ untuk gas H₂O dan CO, CH₄ dan $6 \times 10^{-10} \text{ mol.m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$ untuk gas helium.

KESIMPULAN

Rancangan sistem purifikasi pendingin reaktor generasi lanjut jenis HTGR seperti pada Gambar 3. Oksidator CuO dengan ukuran 40 mes, membran silika dengan tingkat permeasi $1 \times 10^{-10} \text{ mol.m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$, dan $6 \times 10^{-10} \text{ mol.m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$, serta GCMS, layak digunakan dalam rancangan sistem purifikasi gas helium untuk memperoleh kualitas pendingin yang memenuhi persyaratan operasi reaktor generasi lanjut jenis HTGR.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Waldemar Tischler, "HTR/ECS 2002 High Temperature Reactor School", Nov. 4-8, 2002, Framatome-ANPGmbH.
- [2]. K. Natesan, A., Purohit, S.W. Tan, "Material Behavior in HTGR Environments", Argonne National Laboratory, NUREG/CR-6824 ANL-0237, July 2003.
- [3]. Anonim, "Flexibility of the Gas Cooled fast Reactor to Meet the Requirements of the 21st Century".
- [4]. M.S. Yao et.al, "The Helium Purification System of The HTR-10", Nuclear Engineering and Design, Vol. 218, Issue 3, October 2002, p.163-167
- [5]. Anonim, "Design of High Temperature Engineering Test Reactor", p. 108-109, JAERI-1332, September 1994.
- [6]. Anonim, "Physical, Chemical & Surface Properties", pp. 119
- [7]. H.Y. Ha, S.W. Nam et.al. "Chemical Vapor Deposition Of Hydrogen Permeable Silica Film On Porous Glass Support From TEOS", Jour. Membr. Sci. 85 (1993), p:279-290
- [8]. Anonim, "A Highly Hydrogen Permeable Silica Membrane Supported On Porous Alumina".
- [9]. G.R. Gavalas, C.E. Megiris, S.W. Nam, "Deposition of H₂ Permeable SiO₂ Films", Chem. Eng. Sci. 44(9), 1989.

DISKUSI

Penanya : R. Indrawanto

Pertanyaan :

- Jelaskan pengertian keamanan HTGR

Jawaban :

- Dari aspek teknis HTGR jelas aman rancangan ini dimaksudkan untuk membuat rancang bangun sistem purifikasi pendingin HTGR dimana ini juga mendukung keamanan operasi HTGR

Penanya : Bagiono-PDL

Pertanyaan :

- Kriteria apa yang digunakan sehingga kesimpulan dikatakan "layak digunakan" sedangkan yang disajikan baru berupa rancangan sehingga belum terbukti dapat digunakan

Jawaban :

- Kelayakan disini ditinjau dari aspek fenomena pemisahan (seperti melalui oksidasi impuritas dengan CuO dan menggunakan membran silika yang selanjutnya digunakan ke desain rinci detail rinci (detail desain).