

OPTIMASI LAJU ALIR MASSA DALAM PURIFIKASI PENDINGIN RGTT200K UNTUK PROSES KONVERSI KARBONMONOKSIDA

Sumijanto, Sriyono
Pusat Teknologi Dan Keselamatan Reaktor Nuklir
Kawasan Puspiptek Gd 80, Serpong, Tangerang Selatan, 15310
Email: sumijanto@batan.go.id, tel: 021-7560912, fax: 021-7560913

Diterima editor: 11 Januari 2016

Direvisi editor: 26 Januari 2016

Disetujui untuk publikasi: 29 Februari 2016

ABSTRAK

OPTIMASI LAJU ALIR MASSA DALAM PURIFIKASI PENDINGIN RGTT200K UNTUK PROSES KONVERSI KARBONMONOKSIDA. Karbonmonoksida adalah spesi yang sulit dipisahkan dari helium pendingin reaktor karena mempunyai ukuran molekul relatif kecil sehingga diperlukan proses konversi menjadi karbondioksida. Laju konversi karbonmonoksida dalam sistem purifikasi dipengaruhi oleh beberapa parameter diantaranya konsentrasi, temperatur dan laju alir massa. Dalam penelitian ini dilakukan optimasi laju alir massa dalam purifikasi pendingin RGTT200K untuk proses konversi karbonmonoksida. Optimasi dilakukan melalui simulasi proses konversi karbonmonoksida menggunakan perangkat lunak Super Pro Designer. Laju pengurangan spesi reaktan, laju pertumbuhan spesi antara dan spesi produk dalam kesetimbangan reaksi konversi dianalisis untuk memperoleh optimasi laju alir massa purifikasi terhadap proses konversi karbonmonoksida. Tujuan penelitian ini adalah menyediakan data laju alir massa purifikasi untuk pembuatan dasar desain sistem purifikasi helium pendingin RGTT200K. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada laju alir massa 0,6 kg/detik proses konversi belum optimal, pada laju alir massa 1,2 kg/detik mencapai optimal dan pada laju alir 3,6 kg/detik s/d 12,0 kg/detik tidak efektif. Untuk mendukung dasar desain sistem purifikasi helium pendingin RGTT200K maka laju alir massa purifikasi untuk proses konversi karbonmonoksida digunakan laju alir massa 1,2 kg/detik.

Kata kunci: Karbonmonoksida, konversi, purifikasi, laju alir massa, RGTT200K.

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF MASS FLOW RATE IN RGTT200K COOLANT PURIFICATION FOR CARBONMONOXIDE CONVERSION PROCESS. Carbonmonoxide is a species that is difficult to be separated from the reactor coolant helium because it has a relatively small molecular size. So it needs a process of conversion from carbonmonoxide to carbondioxide. The rate of conversion of carbonmonoxide in the purification system is influenced by several parameters including concentration, temperature and mass flow rate. In this research, optimization of the mass flow rate in coolant purification of RGTT200K for carbonmonoxide conversion process was done. Optimization is carried out by using software Super Pro Designer. The rate of reduction of reactant species, the growth rate between the species and the species products in the conversion reactions equilibrium were analyzed to derive the mass flow rate optimization of purification for carbonmonoxide conversion process. The purpose of this study is to find the mass flow rate of purification for the preparation of the basic design of the RGTT200K coolant helium purification system. The analysis showed that the helium mass flow rate of 0.6 kg/second resulted in an unoptimal conversion process. The optimal conversion process was reached at a mass flow rate of 1.2 kg/second. A flow rate of 3.6 kg/second – 12 kg/second resulted in an ineffective process. For supporting the basic design of the RGTT200K helium purification system, the mass flow rate for carbonmonoxide conversion process is suggested to be 1.2 kg/second.

Keywords: Carbonmonoxide, conversion, purification, mass flow rate, RGTT200K.

PENDAHULUAN

RGTT200K adalah sistem energi nuklir (SEN) berpendingin gas helium temperatur tinggi (*High Temperature Gas-cooled Reactor*, HTGR) yang dikembangkan dan didesain di PTKRN-BATAN [1,2]. Helium dipilih sebagai pendingin reaktor karena helium mempunyai kemampuan transfer panas pada temperatur tinggi yang memadai, bersifat *inert* sehingga helium tidak mudah bereaksi dengan struktur material reaktor [3]. Namun pada kenyataannya dari pengalaman operasi HTGR yang ada di dunia, helium pendingin reaktor mengandung berbagai macam impuritas kimia seperti air, hidrogen, karbonmonoksida, karbondioksida, metana, nitrogen serta produk fisi Krypton dan Xenon [4-6]. Impuritas tersebut harus dieliminasi sampai batas konsentrasi yang dipersyaratkan untuk menghindari bereaksi dengan partikel bahan bakar berlapis, grafit dan material struktur reaktor [7,8].

Untuk desain HTGR sampai saat ini, impuritas dikeluarkan oleh sistem purifikasi helium, yang terdiri dari *filter cartridge* untuk memisahkan debu karbon dan partikel padat, tiga kolom *bed* yaitu kolom bed tembaga oksida untuk mengkonversi hidrogen menjadi uap air dan karbonmonoksida menjadi karbondioksida, kolom penyaring molekuler 5A (*molecular sieve 5 AMS adsorber*) untuk menghilangkan karbondioksida dan uap air serta kolom karbon aktif kriogenik *adsorber* untuk menghilangkan sisa impuritas seperti metana dan nitrogen serta komponen radioaktif dari krypton dan xenon [9,10]. Sebagai contoh misalnya, sebesar lima persen (5%) dari laju alir massa helium pendingin primer HTR-10 yaitu sebesar 10,5 kg/jam dialirkan keluar untuk dimurnikan dan setelah murni dikembalikan ke teras reaktor atau ke tangki penyimpanan helium [11].

Gas pengotor yang terkandung dalam pendingin reaktor (CO_2 , H_2O , O_2 , CH_4 , N_2 , H_2 , CO , Kr , dan Xe) merupakan spesi yang agresif terhadap material struktur reaktor sehingga akan dapat mempengaruhi kelangsungan dan keandalan operasi reaktor. Oleh karenanya sistem reaktor dilengkapi dengan sistem purifikasi yang berfungsi untuk pengendalian kualitas (kemurnian) helium sebagai pendingin reaktor. Dalam proses purifikasi helium, sebagian dari laju alir massa pendingin reaktor diambil dan diproses dalam sistem purifikasi sehingga semua pengotor pendingin dapat dipisahkan dan diperoleh helium murni yang memenuhi persyaratan operasi reaktor.

Karbonmonoksida (CO) adalah spesi gas pengotor dalam pendingin yang sulit untuk dipisahkan dari helium dikarenakan mempunyai ukuran molekul yang relatif sangat kecil [12]. Untuk proses pemisahannya, maka gas CO harus dikonversi menjadi molekul yang mempunyai ukuran relatif lebih besar yaitu menjadi CO_2 melalui proses oksidasi menggunakan oksidator CuO (tembaga oksida) [10]. Hasil oksidasi CO menjadi CO_2 sangat dipengaruhi oleh berbagai parameter seperti temperatur dan laju alir massa pendingin dalam proses purifikasi. Laju alir massa pendingin yang diambil untuk diproses dalam sistem purifikasi helium selain berpengaruh terhadap kapasitas oksidasi CuO juga berpengaruh terhadap kondisi parameter operasi pendingin reaktor.

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan analisis pengaruh parameter temperatur pada proses oksidasi CO oleh CuO dalam sistem purifikasi helium RGTT200K. Hasil analisis menunjukkan bahwa temperatur mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap proses konversi CO khususnya pembentukan produk oksidasi yaitu CO_2 , CuO (CO), dan Cu . Semakin tinggi temperatur semakin banyak CO yang dikonversi menjadi CO_2 . Kondisi optimum proses oksidasi CO dicapai pada temperatur 375 °C [13]. Selain hal tersebut juga telah dilakukan analisis pengaruh laju alir massa purifikasi pendingin terhadap faktor utilisasi energi RGTT200K. Hasil analisis menunjukkan bahwa laju alir massa 0 s/d 12 kg/s berdampak pada kenaikan daya yang diperlukan untuk proses kompresi pendingin dari 55,84 MW s/d 61,42 MW, sehingga terjadi penurunan pembangkitan daya listrik yang diikuti dengan penurunan faktor utilisasi energi dari 66,88 % s/d 64,15 % [14].

Dalam penelitian ini dilakukan optimasi laju alir massa dalam purifikasi pendingin RGTT200K untuk proses konversi karbonmonoksida. Optimasi dilakukan melalui simulasi proses konversi karbonmonoksida menggunakan perangkat lunak Super Pro Designer. Super Pro Designer merupakan perangkat lunak yang banyak digunakan oleh para *engineer* dan ilmuwan dalam penelitian dan pengembangan dibidang proses kimia, biokimia, teknologi proses, teknik lingkungan dan manufaktur [15-21]. Perlengkapan yang terdapat dalam Super Pro Designer ini meliputi proses

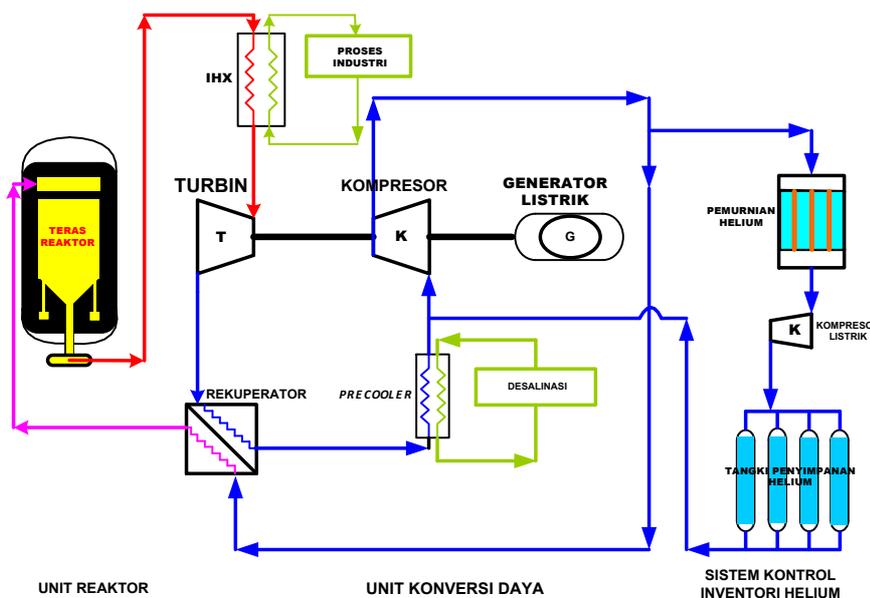
neraca massa dan energi dari proses kimia, pengaturan ukuran peralatan, penjadwalan dari proses *batch*, analisa biaya dan evaluasi ekonomis, analisa produk, dan dugaan dampak lingkungan.

Pada penelitian ini simulasi hanya dibatasi pada reaksi konversi spesi CO menjadi CO₂ dengan oksidator CuO. Laju pengurangan spesi reaktan, laju pertumbuhan spesi antara dan spesi produk dalam kesetimbangan reaksi konversi dianalisis untuk memperoleh optimasi laju alir massa purifikasi terhadap proses konversi karbonmonoksida. Tujuan penelitian ini adalah menyediakan data laju alir massa purifikasi untuk pembuatan dasar desain sistem purifikasi helium pendingin RGTT200K.

TEORI

RGTT200K Dan Sistem Kontrol Inventori Helium

Reaktor berpendingin gas temperatur tinggi 200 MWt Kogenerasi (RGTT200K) merupakan reaktor generasi lanjut yang menggunakan helium sebagai pendingin. Kogenerasi RGTT200K memanfaatkan energi termal reaktor untuk produksi hidrogen, dan desalinasi air. Konsep dasar diagram alir pendingin RGTT200K dan sistem kontrol inventori helium seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

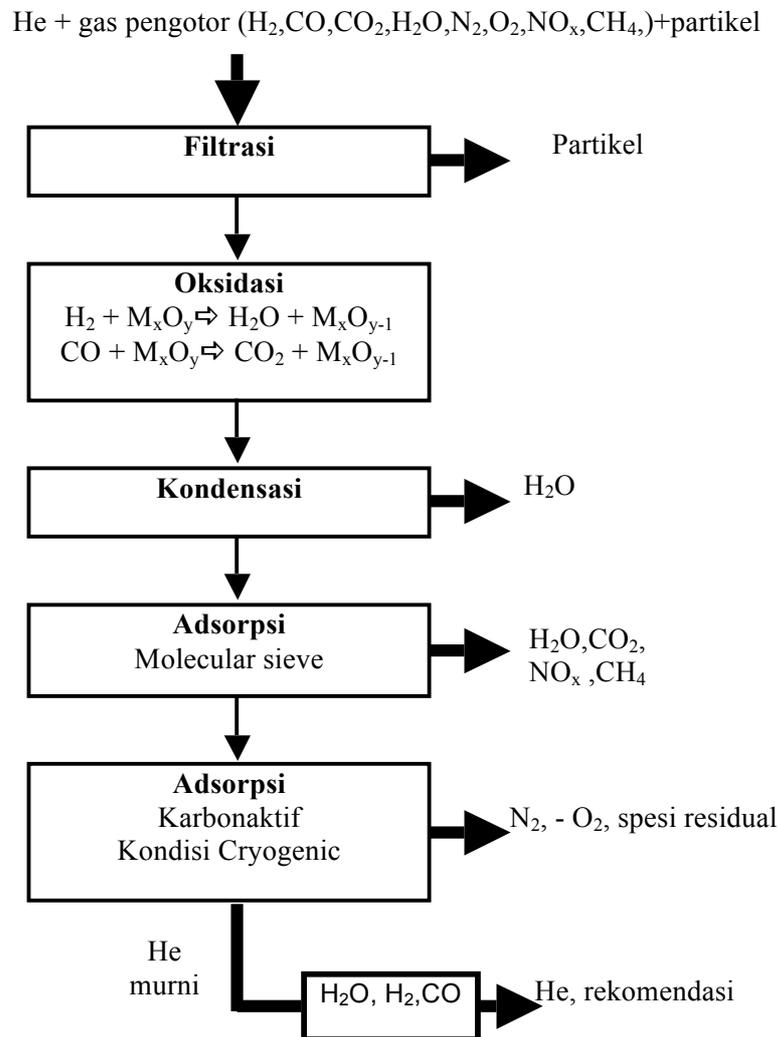


Gambar 1. Konsep dasar diagram alir pendingin RGTT200K dan sistem kontrol inventori helium [22].

Sistem kontrol inventori helium terdiri dari sistem purifikasi helium, kompresor listrik dan tangki penyimpanan helium yang terangkai dalam satu urutan proses purifikasi pendingin RGTT200K. Sistem purifikasi helium adalah bagian dari sistem kontrol inventori helium yang berfungsi untuk memurnikan helium pendingin reaktor. Laju alir massa pendingin RGTT200K didesain 120 kg/detik. Sistem purifikasi helium merupakan suatu sistem yang dirancang untuk memurnikan helium dari pengotornya. Pengotor gas helium tersebut berupa gas CO, H₂, CO₂, H₂O, N₂, O₂, dan CH₄ yang masuk ke dalam pendingin melalui *water ingress* dan *air ingress* berupa O₂ dan H₂O [23]. Untuk menjamin agar helium selalu memenuhi persyaratan kualitas operasi maka helium harus dimurnikan.

Proses konversi gas CO dan gas hidrogen H₂ menjadi CO₂ dan H₂O dalam sistem purifikasi helium merupakan langkah awal yang penting sebelum memasuki tahap purifikasi berikutnya. Gas H₂ dioksidasi karena gas ini memiliki ukuran yang terlalu kecil sehingga harus diubah menjadi gas H₂O agar dapat dipisahkan pada saat tahap kondensasi, sedangkan gas karbonmonoksida (CO) dioksidasi

menjadi karbondioksida (CO₂) agar dapat dipisahkan dalam penyaringan molekuler. Konsep diagram alir sistem purifikasi helium pendingin RGTT200K seperti ditunjukkan pada Gambar 2 [9,10].



Gambar 2 : Diagram proses purifikasi helium pada RGTT200K.

1. Filtrasi :

Langkah pertama yang harus dilakukan dalam unit pemurnian helium adalah memisahkan partikel padat berukuran kecil yang terdapat dalam helium, biasanya adalah debu karbon/grafit yang berbentuk aerosol. Teknik pemisahannya menggunakan filtrasi membran atau *cartridge filter*. Dari proses ini diharapkan semua partikel padat dapat dipisahkan.

2. Oksidasi :

Langkah kedua adalah oksidasi gas pengotor. Pada langkah ini gas pengotor yang berukuran kecil seperti hidrogen (H₂) dan karbonmonoksida (CO) dioksidasi oleh oksida logam yaitu CuO sedemikian sehingga hidrogen akan menjadi air dan karbonmonoksida menjadi karbondioksida menurut reaksi berikut :



Dengan demikian maka jenis gas pengotor yang ada adalah H₂O, CH₄, CO₂, N₂, dan O₂.

3. Kondensasi

Langkah ketiga adalah kondensasi/pendinginan. Pada proses ini sebagian besar air (H₂O) akan terkondensasi dan terpisah dari senyawa gas yang lain. Gas yang tertinggal adalah H₂O sisa, CH₄, CO₂, N₂, dan O₂.

4. Adsorpsi *Molecular Seive*

Langkah keempat adsorpsi dan penyaringan molekuler (*molecular seive*). Pada langkah ini molekul besar yang akan dipisahkan adalah H₂O sisa, CH₄, dan CO₂. Bahan penyaring molekuler dapat digunakan membran ataupun alumonium oksida sedangkan untuk bahan adsorpsi dapat digunakan karbon aktif. Gas pengotor yang masih tertinggal adalah N₂ dan O₂.

5. Adsorpsi Karbon Aktif

Langkah kelima adalah adsorpsi dengan karbon aktif tetapi pada kondisi *cryogenic* (kondisi sangat dingin). Pada proses ini maka oksigen dan nitrogen akan terkondensasi sedangkan helium masih dalam kondisi gas sehingga akan dipisahkan. Untuk mendapatkan kondisi helium sebagai pendingin primer maka langkah-langkah tersebut harus diakomodasi atau terimplementasikan dalam desain konseptual sistem kontrol inventori helium RGTT200K.

METODOLOGI

Proses konversi karbonmonoksida (CO) menjadi karbondioksida dalam sistem purifikasi merupakan reaksi oksidasi CO oleh oksidator (CuO) menjadi karbondioksida (CO₂) mengikuti persamaan kesetimbangan reaksi sebagai berikut :



Keterangan :

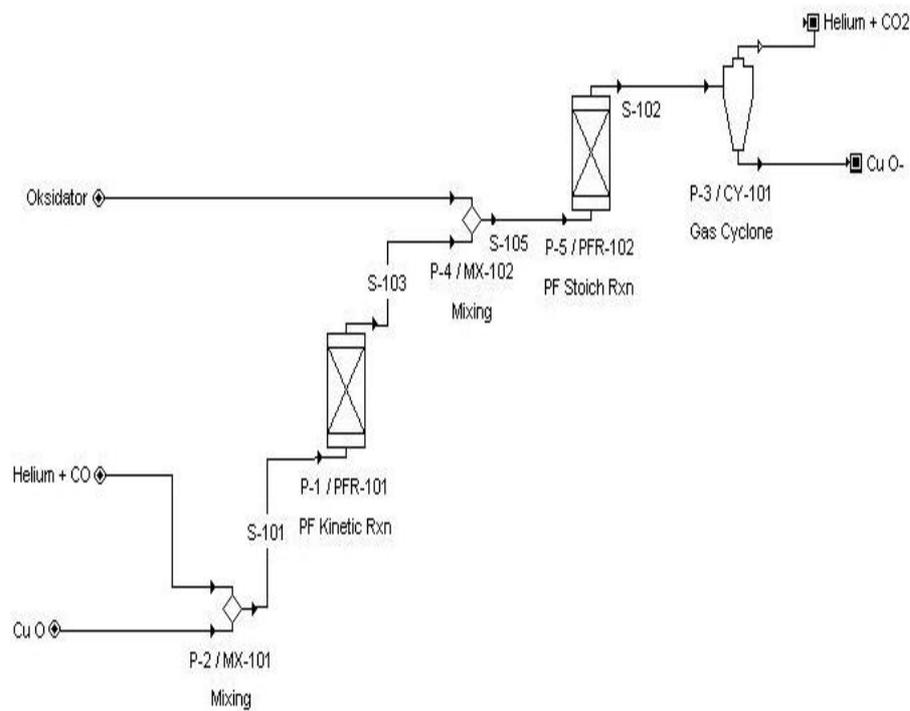
- V₁ = kecepatan reaksi CO dan CuO
- V₂ = kecepatan peruraian CuO(CO) menjadi CO dan CuO
- V₃ = kecepatan reaksi CuO(CO) menjadi Cu dan CO₂
- V₄ = kecepatan reaksi Cu dan CO₂ menjadi CuO(CO)

Analisis pengaruh laju alir massa purifikasi terhadap laju konversi CO dihitung melalui simulasi reaksi antara oksidator (CuO) dengan reduktor (CO) menggunakan perangkat lunak Super Pro Designer dengan *input* data sebagai berikut:

- Reaktan utama berupa simulasi fluida pendingin reaktor yang merupakan campuran gas helium (He) dengan gas CO dengan konsentrasi CO sebesar 40 ppmV dengan laju alir massa 120 kg/detik. Penetapan konsentrasi CO dalam simulasi ini dilakukan dengan pertimbangan bahwa pada kondisi operasi terburuk konsentrasi CO dalam pendingin primer RGTT200K diprediksikan mencapai 40 ppmV.
- Laju alir massa dalam proses purifikasi diambil dari simulasi fluida pendingin reaktor dengan laju alir massa purifikasi yang divariasikan mulai 0,5% s/d 10% dari laju alir massa pendingin reaktor sebesar 120 kg/detik. Variasi laju alir massa purifikasi diprediksikan sesuai dengan laju pertumbuhan gas pengotor dalam pendingin serta dampaknya terhadap faktor utilisasi energi RGTT200K.
- Laju alir massa oksidator CuO sebesar 45 kg/jam. Pada dasarnya bahwa oksidator CuO yang berada dalam kolom oksidator adalah tidak bergerak. Oleh karenanya maka dalam simulasi laju alir massa oksidator CuO ditentukan sebesar 45 kg/jam, nilai ini relatif tidak bergerak dibandingkan dengan laju alir massa fluida helium sebesar 120 kg/detik.

- Kondisi temperatur 375°C dan tekanan 52 atm, kondisi ini disesuaikan dengan hasil penelitian sebelumnya dimana temperatur proses konversi optimal pada 375°C . Adapun tekanan fluida 52 atm adalah tekanan telah ada pada fluida pendingin reaktor.

Laju pengurangan spesi reaktan (CO dan CuO), laju pertumbuhan spesi antara (CuOCO) dan spesi produk (Cu, CO_2) dalam kesetimbangan reaksi dianalisis untuk mengetahui pengaruh laju alir massa purifikasi terhadap laju konversi karbonmonoksida. Diagram alir proses simulasi reaksi konversi CO menjadi CO_2 oleh oksidator CuO seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir proses simulasi reaksi konversi CO menjadi CO_2 oleh oksidator CuO.

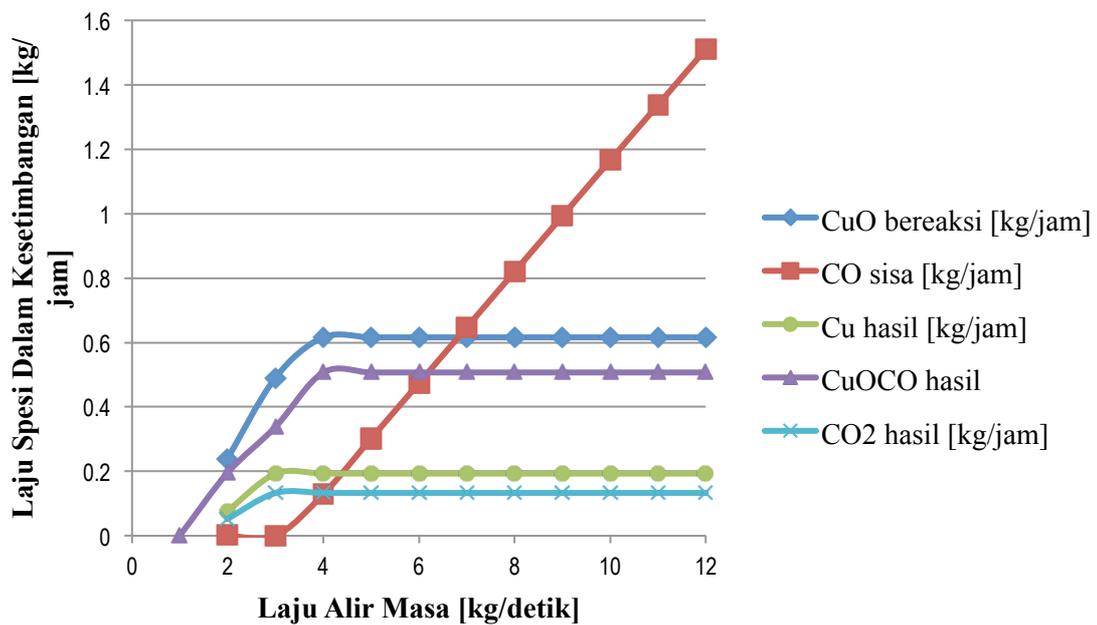
Tahap operasi simulasi diawali dengan dialirkannya gas helium bersama reduktor CO kedalam *mixer* (P2) dengan laju alir masa purifikasi yang divariasikan berturut-turut mulai dari 0,5 % s/d 10% dari laju alir massa pendingin RGTT200K sebesar 120 kg/detik. Setelah bercampur, reaktan pada (P1-S101) dimasukkan ke dalam reaktor kinetik. Terhadap hasil operasi reaktor kinetik (S-103), selanjutnya dilakukan regenerasi untuk mengembalikan Cu menjadi CuO melalui proses oksidasi (S-105) menggunakan reaktor stoikiometrik. Hasil keseluruhan (S-102) selanjutnya dipisahkan dengan teknik *Gas Cyclone*, dan akan diperoleh keluaran hasil berupa campuran gas produk reaksi (CO_2) serta padatan CuO untuk dikembalikan ke reaktor kinetik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan pengaruh laju alir massa purifikasi pendingin reaktor terhadap reaksi konversi CO oleh CuO ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 4.

Tabel 1. Hasil perhitungan pengaruh laju alir massa purifikasi pendingin reaktor terhadap reaksi kesetimbangan oksidasi CO oleh CuO.

No.	Laju alir purifikasi [kg/detik]	CO awal [kg/jam]	CuO bereaksi [kg/jam]	CO sisa [kg/jam]	Cu hasil [kg/jam]	CuOCO hasil [kg/jam]	CO ₂ hasil [kg/jam]
1.	0,6	0,086	0,239	0,002	0,075	0,196	0,052
2.	1,2	0,173	0,491	0,000	0,193	0,338	0,133
3.	2,4	0,346	0,616	0,129	0,193	0,507	0,133
4.	3,6	0,518	0,616	0,302	0,193	0,507	0,133
5.	4,8	0,691	0,616	0,474	0,193	0,507	0,133
6.	6,0	0,864	0,616	0,647	0,193	0,507	0,133
7.	7,2	1,037	0,616	0,820	0,193	0,507	0,133
8.	8,4	1,210	0,616	0,993	0,193	0,507	0,133
9.	9,6	1,382	0,616	1,166	0,193	0,507	0,133
10.	10,8	1,555	0,616	1,338	0,193	0,507	0,133
11.	12,0	1,728	0,616	1,511	0,193	0,507	0,133



Gambar 4. Kurva pengaruh Laju Alir Massa Purifikasi Pendingin terhadap laju spesi dalam kesetimbangan reaksi.

Pada laju alir massa purifikasi pendingin sebesar 0,6 kg/detik, konversi spesi CO berjalan tidak sempurna dan hanya menghasilkan spesi CO₂ sebanyak 0,052 kg/jam dan masih meninggalkan sisa spesi CO sebanyak 0,002 kg/jam. Secara teori reaksi kimia, hal ini dimungkinkan karena pada laju alir massa purifikasi tersebut, tumbukkan antara spesi CO dan CuO kurang sempurna sehingga tidak membuat semua spesi CO dan spesi CuO berada pada kondisi tereksitasi sempurna yang membentuk produk antara CuOCO, sehingga masih meninggalkan spesi

CO yang tidak bereaksi sebesar 0,002 kg/jam, meskipun pada kondisi ini masih ada produk antara (CuOCO) yang tidak terurai menjadi CO₂ dan Cu dan tetap berada pada bentuk CuOCO.

Kondisi ini berbeda dengan kondisi konversi CO pada laju alir massa purifikasi sebesar 1,2 kg/detik, dimana terlihat seluruh spesi CO habis terkonversi menjadi CO₂ sebanyak 0,133 kg/jam dan CuOCO sebanyak 0,338 kg/jam serta Cu sebanyak 0,193 kg/jam. Pada kondisi ini dapat dijelaskan bahwa telah terjadi tumbukkan yang efektif antara spesi CO dan spesi CuO sehingga membentuk spesi antara (CuOCO) yang selanjutnya sebagian besar terurai menjadi spesi Cu dan spesi CO₂ sebanyak tersebut diatas. Pada tahapan ini dapat disimpulkan bahwa pada laju alir massa purifikasi 1% mempunyai laju konversi CO yang sempurna dimana seluruh CO terkonversi menjadi spesi CuOCO dan spesi CO₂.

Pada kondisi laju alir massa purifikasi 2% atau laju alir massa purifikasi sebesar 2,4 kg/detik, jika dibanding dengan kondisi laju alir massa purifikasi 1% terjadi peningkatan laju alir massa CO dari 0,173 kg/jam menjadi 0,346 kg/jam atau naik sebesar 0,173 kg/jam spesi CO. Pada kondisi terakhir ini proses konversi berlangsung kurang efektif dibanding pada kondisi laju alir 1%. Hal ini terlihat masih adanya sisa spesi CO yang tidak bereaksi yaitu sebesar 0,129 kg/jam, meskipun terjadi konsumsi spesi CO tetapi spesi CO₂ yang terbentuk tidak meningkat hal ini dikarenakan konsumsi CO seluruhnya digunakan untuk membentuk spesi CuOCO. Jadi pada tahapan ini dapat disimpulkan bahwa proses konsumsi CO berlangsung tetapi tidak terkonversi menjadi CO₂ melainkan menjadi spesi CuOCO.

Pada kondisi laju alir massa purifikasi dari 3% sampai 10% atau laju alir massa purifikasi dari 3,0 kg/jam sampai 12,0 kg/detik, proses konversi CO menjadi CO₂ tidak efektif. Hal ini terlihat tidak terjadi peningkatan spesi CO₂, spesi CuOCO dan spesi Cu. Kondisi ini dimungkinkan bahwa pada laju alir massa tersebut kecepatan gerak reaktan yang ditimbulkan oleh fluida yang terlalu cepat sehingga waktu kontak sedikit dan mengakibatkan kehilangan efektifitas reaksi konversi CO karena tumbukkannya menjadi tidak efektif. Pada akhir proses konversi spesi padat produk reaksi meliputi spesi CuOCO, spesi Cu, spesi CuO dipisahkan dengan teknik *cyclon* dan yang berupa spesi gas termasuk sisa spesi CO yang tidak terkonversi diproses lebih lanjut ke pemisahan dengan penyaring molekuler.

Berdasarkan fenomena proses konversi tersebut maka untuk pemisahan CO dari helium pendingin reaktor, secara kuantitas konversi CO yang optimal terjadi pada laju alir massa purifikasi sebesar 2%, namun pada kondisi ini masih terdapat sisa CO yang tidak terkonversi sehingga pendingin masih belum bebas CO dan tidak memenuhi persyaratan konsentrasi CO yang telah ditetapkan untuk keselamatan operasi reaktor. Pada proses konversi CO dengan laju alir massa purifikasi sebesar 1% memang secara kuantitas CO yang terkonversi masih lebih rendah dibanding dengan proses konversi pada laju alir purifikasi 2%. Namun pada kondisi yang terakhir ini mempunyai keunggulan yaitu bahwa seluruh CO terkonversi menjadi CO₂ sehingga tidak ada sisa CO dan pendingin reaktor terbebas dari CO. Oleh karena itu untuk memperoleh pendingin reaktor yang bebas CO maka proses konversi CO dalam sistem purifikasi helium pendingin reaktor laju alir massa purifikasi yang optimal adalah 1%. Pada kondisi laju alir massa purifikasi sebesar 1% merupakan kondisi yang menguntungkan karena berdasarkan hasil penelitian sebelumnya [14], karena mempunyai faktor utilisasi energi cukup tinggi yaitu 66,86 %.

KESIMPULAN

Pada laju alir massa purifikasi pendingin sebesar 0,6 kg/detik, proses konversi spesi CO menjadi CO₂ berjalan belum optimal. Pada laju alir massa purifikasi pendingin sebesar 1,2 kg/detik, konversi spesi CO menjadi CO₂ berjalan optimal. Pada kondisi laju alir massa purifikasi dari 3,0 kg/detik sampai 12,0 kg/detik, proses konversi CO menjadi CO₂ tidak efektif serta mempunyai faktor utilisasi energi tinggi. Untuk mendukung pembuatan dasar desain sistem purifikasi helium pendingin RGTT200K maka laju alir massa purifikasi pada proses konversi CO menjadi CO₂ digunakan laju alir massa sebesar 1,2 kg/detik.

DAFTAR PUSTAKA

1. Mohammad Dhandhang Purwadi. Desain Konseptual Sistem RGTT 200 MWt Siklus Tak Langsung. Seminar Nasional Ke 17 Teknologi Dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir. Yogyakarta. BATAN; 2011.
2. Mohammad Dhandhang Purwadi. Desain Konseptual Sistem Reaktor Daya Maju Kogenerasi Berbasis RGTT. Seminar Nasional Ke 16 Teknologi Dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir. Surabaya. BATAN; 2010.
3. Ap George. Introduction To The Pebble Bed Modular Reactor (PBMR). Exelon Generation. 2011. No.009949: 185.
4. A.Ciampichetti et al. The Coolant Purification System Of The European Test Blanket Modules. Fusion Engineering and Design.2010; 85 2033-2039.
5. Josef Matecha et al. Testing Of Analytical And Purification Methods For HTR Helium Coolant. Nuclear Engineering And Design. 2012; 251 208-215
6. Shimpei Hamamoto et al. Investigation Of Chemical Characteristics Of Primary Helium Gas Coolant Of HTTR (High Temperature Engineering Test Reactor). Nuclear Engineering And Design. 2014; 271 487-491.
7. Chang Hua et al. Experimental Investigation And Modeling Of Adsorption Of Carbon dioxide On 5A Moleculer Seive For Helium Purification Of High Temperature Gas Cooled Reactor. Energy Procedia. 2013; 39 208-226
8. Sakaba N et al. Coolant Chemistry Of The High Temperature Gas-cooled Reactor HTTR. Trans At Energy Soc Jpn 3. 2004: 388-95.
9. Liao C et al. Study On The Adsorption Of H₂O And CO₂ From The Carrier Gas Of High temperature Gas-cooled Reactor. Yuanzineng Kexue Jishu 32. 1998; 438-44.
10. Liao C et al. Experimental Study On The Conversion Of H₂ And CO From The Helium Carrier Gas Of High Temperature Gas-cooled Reactor. Yuanzineng Kexue Jishu 29. 1995; 441-48.
11. Yao MS et al. The Helium Purification System Of HTR-10. Nuclear Engineering And Design 218. 2002; 163-67.
12. Gastaldi O. Helium Purification. Proceedings HTR 3rd International Tropical Meeting on High Temperature Reactor Technology. Johannesburg, 2006.
13. Sumijanto. Analisis Pengaruh Temperatur Oksidasi Karbonmonoksida Pada Kontrol Inventori Helium RGTT200K. Seminar Nasional TKPFN ke 18. Bandung. 2012.
14. Sumijanto dkk. Analisis Pengaruh Laju Alir Massa Pada Kontrol Inventori Helium terhadap Faktor Utilisasi Energi RGTT200K. Pertemuan Dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Nuklir, Yogyakarta. PTAPB. 2012.
15. Koon Fung Lam et al. Economic Feasibility Of A Pilot-scale Fermentative Succinic Acid Production From Bakery Waste. Food And Bioproducts Processing 92. 2014. 282-290.
16. Jemaa Mabrouki et al. Simulation Of Production Via Fast Pyrolysis Of Palm Oil Residues. Fuel 159. 2015. 819- 827.
17. S.A. Rouf P L et al. Computer Simulation For Large Scale Bioprocess Design. Biochemical Engineering Journal 8. 2001. 229-234.
18. Amey Deshpande et al. Aqueous Phase Adsorption Of Toluena In A Packed Bed Of Hydrophobic Aerogels. Institute Of Technology. Nirma University. Ahmedabad. 2011. 382-481.
19. Iliana Barrera et al. Technical And Economical Evaluation Of Bioethanol Production Fromm Lignocellulosic Residues In Mexico. Case Of Sugarcane And Blue Agave Bagasses. Chemical Engineering Research And Design. 2015.

20. Nikhil Kawachale et al. Simulation. Scale Up And Economics Of Adsorption And membrane Based Processes For Isoflavones Recover. *Chemical Engineering Research And Design* 89. 2011. 428-435.
21. Alexandru Woinaroschy et al. Multiobjective Optimal Design For Biodiesel Sustainable Production. *Fuel* 135. 2014. 391- 405.
22. Sumijanto. Desain konseptual Sistem Kontrol Inventori Helium Pendingin Primer RGTT200K. Seminar Nasional TKPFN ke 17. Yogyakarta. BATAN. 2011.
23. Sumijanto. Analisis Proses Oksidasi H₂ dan CO Untuk Desain Konseptual Sistem pemurnian pendingin Primer RGTT200K. *Majalah Ilmiah Sigma Epsilon*. 2011. Volume 15 Nomor 2.