

## **ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR OKSIDASI KARBONMONOKSIDA PADA KONTROL INVENTORI HELIUM RGTT200K**

**Sumijanto, Ign. Djoko Irianto, Sriyono**

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir – BATAN  
Kawasan PUSPIPTEK Gd. 80, Serpong, Tangerang Selatan, BANTEN.  
Telp.: 62-21-7560912, Fax.: 62-21-7560913, Kode Pos : 15310

### **ABSTRAK**

**ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR OKSIDASI KARBONMONOKSIDA PADA KONTROL INVENTORI HELIUM RGTT200K.** RGTT200K adalah reaktor berpendingin gas helium temperatur tinggi yang sedang dikembangkan di PTRKN-BATAN dalam rangka memenuhi kebutuhan energi listrik di Indonesia kedepan. Helium sebagai pendingin reaktor diprediksikan akan mengalami kontaminasi berbagai gas pengotor seperti CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> dan CO. Konsentrasi gas pengotor ini harus dijaga tidak melebihi konsentrasi yang dipersyaratkan. Karbonmonoksida (CO) merupakan spesi pengotor yang sulit untuk dipisahkan dari helium dikarenakan ukuran molekulnya relatif sangat kecil. Untuk mempermudah pemisahannya maka CO harus dikonversi menjadi molekul yang lebih besar yaitu CO<sub>2</sub> melalui proses oksidasi menggunakan oksidator kuprioksida (CuO). Temperatur oksidasi mempunyai kontribusi yang signifikan terhadap keberhasilan proses oksidasi CO. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh temperatur oksidasi CO terhadap karakteristik proses reaksi oksidasi pada kontrol inventori helium RGTT200K. Dalam makalah ini dianalisis pengaruh temperatur terhadap proses oksidasi CO oleh oksidator CuO menjadi CO<sub>2</sub>. Analisis dilakukan dengan pemodelan proses oksidasi menggunakan perangkat lunak *Super Pro Designer*. Hasil analisis menunjukkan bahwa temperatur pada proses oksidasi CO oleh CuO mempunyai pengaruh yang signifikan. Semakin tinggi temperatur semakin banyak CO yang dikonversi menjadi CO<sub>2</sub>. Kondisi optimum proses oksidasi CO dicapai pada temperatur 375 °C. Dengan demikian, operasi kolom oksidasi CO didesain pada temperatur 375 °C dengan mempertimbangkan pengaruh laju alir massa pada kontrol inventori helium terhadap EUF RGTT200K.

**Kata Kunci:** Oksidasi, inventori helium, pemurnian, RGTT200K.

### **ABSTRACT**

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF CARBON MONOXIDE OXIDATION TEMPERATURE ON RGTT200K HELIUM INVENTORY CONTROL.** RGTT200K is an high temperature gas-cooled reactor which have been developed at PTRKN-BATAN to fulfill the electrical energy need in Indonesia in the future. Helium as a reactor coolant was predicted to be contaminated with a variety of gas impurities such as CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, and H<sub>2</sub> and CO. This gas impurity concentration must be maintained not exceed to the required concentration. Carbon monoxide (CO) is a species that is difficult to be separated from the helium impurities due to small molecular size of the CO. To make CO be separated easier, CO must be converted to be a larger molecules as CO<sub>2</sub> through the oxidation process using CuO oxidizer. Oxidation temperature has a significant contribution to the success of the CO oxidation process. The purpose of this study was to determine the effect of oxidation temperature helium inventory control system of RGTT200K. In this paper the influence of temperature on the CuO oxidation of CO by oxidizing into CO<sub>2</sub> was analyzed. Analyses were performed with the oxidation process modeling using *Super Pro Designer* software. The analysis result shows that the temperature on the oxidation of CO by CuO has a significant influence. The higher temperature oxidation produces more CO converted to CO<sub>2</sub>. Optimum conditions of CO oxidation process is achieved at a temperature of 375 °C. CO oxidation column operation must be designed at a temperature of 375 °C by considering the influence of the mass flow rate of the helium inventory control of RGTT200K EUF.

**Keywords:** Oxidation, helium inventory, purification, RGTT200K

## PENDAHULUAN

Melalui Perpres RI No. 5 Tahun 2006<sup>[1]</sup>, pemerintah telah menetapkan sasaran bauran energi primer optimal tahun 2025 yang memberi kesempatan kepada sumber energi baru dan terbarukan (biomassa, nuklir, tenaga air, tenaga surya, tenaga angin) untuk berkontribusi lebih dari 5% pada sistem penyediaan energi listrik di Indonesia. Kebijakan pemerintah tersebut memberi peluang dan tantangan terhadap penerapan dan pengembangan Sistem Energi nuklir (SEN) di Indonesia.

RGTT200K adalah Sistem Energi Nuklir (SEN) berbasis reaktor berpendingin gas helium temperatur tinggi yang dikembangkan dan didesain di PTRKN-BATAN. SEN RGTT200K dikembangkan untuk diusulkan dalam rangka memenuhi kebutuhan energi listrik di Indonesia kedepan. Helium dipilih sebagai pendingin reaktor karena helium mempunyai kemampuan transfer panas pada temperatur tinggi yang memadai, bersifat mulia sehingga helium tidak mudah bereaksi dengan struktur material reaktor. Helium berfungsi sebagai pengambil energi termal yang dihasilkan dari reaksi fisi dalam teras reaktor untuk dipindahkan ke unit konversi daya guna pembangkitan listrik ataupun kogenerasi dengan produksi hidrogen dan desalinasi air laut. Helium sebagai pendingin reaktor diprediksikan akan mengalami kontaminasi oleh berbagai gas pengotor seperti CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, dan H<sub>2</sub> dan CO<sup>[2]</sup>. Gas pengotor tersebut merupakan spesi yang agresif terhadap material struktur reaktor sehingga akan dapat mempengaruhi keandalan operasi reaktor. Oleh karenanya sistem reaktor RGTT200K dilengkapi dengan sistem kontrol inventori helium yang berfungsi untuk pengendalian kualitas (kemurnian) dan kuantitas helium sebagai pendingin reaktor. Pengendalian kualitas pendingin dilakukan melalui proses pemurnian helium sedemikian hingga pendingin reaktor dapat memenuhi persyaratan kualitas yang telah ditetapkan.

Dalam proses pemurnian helium, karbonmonoksida (CO) dan hidrogen (H<sub>2</sub>) merupakan spesi gas pengotor pendingin yang sulit untuk dipisahkan dari helium dikarenakan keduanya mempunyai ukuran molekul yang relatif sangat kecil<sup>[3]</sup>. Untuk mempermudah proses pemisahan, maka gas CO dan H<sub>2</sub> harus dikonversi menjadi molekul yang mempunyai ukuran relatif lebih besar yaitu menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O melalui proses oksidasi menggunakan oksidator CuO (kuprioksida)<sup>[2]</sup>. Dalam proses oksidasi ini temperatur mempunyai kontribusi yang signifikan terhadap hasil proses konversi gas CO dan H<sub>2</sub> menjadi gas CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O.

Pada proses reaksi oksidasi CO, laju reaksi akan meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur karena rerata energi kinetik pereaksi dan jumlah molekul yang memiliki energi aktivasi ( $E_a$ ) minimum, meningkat<sup>[4]</sup>.

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan analisis pengaruh laju alir massa pada kontrol inventori helium untuk mengetahui signifikansi perubahan EUF (*Energy Utilization Factor*) RGTT200K<sup>[5]</sup>. Analisis dilakukan dengan pemodelan sistem kontrol inventori helium dan sistem konversi energi secara lengkap menggunakan perangkat lunak *Cycle-Tempo*. Perubahan laju alir massa pada kontrol inventori helium dari 0 s/d 12 kg/s berdampak pada kenaikan daya yang diperlukan untuk proses kompresi pendingin pada kompresor dari 55,84 MW s/d 61,42 MW. Kenaikan daya yang diperlukan oleh kompresor akan menyebabkan terjadinya penurunan

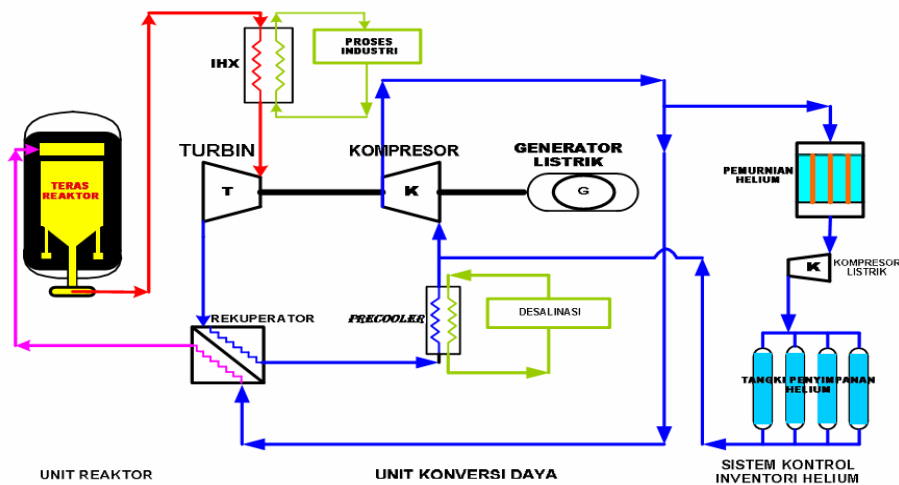
pembangkitan daya listrik yang diikuti dengan penurunan nilai EUP RGTT200K dari 66,88% s/d 64,15%.<sup>[5]</sup> Aspek operasional yang perlu dianalisis untuk melengkapi desain konseptual sistem kontrol inventori helium adalah pengaruh temperatur dalam proses oksidasi gas pengotor pendingin khususnya karbonmonoksida.

Makalah ini membahas tentang analisis hasil perhitungan pengaruh temperatur terhadap proses oksidasi CO oleh oksidator CuO menjadi CO<sub>2</sub> yang merupakan segmen penting pada proses pemurnian helium pendingin RGTT200K. Perhitungan dilakukan dengan pemodelan proses oksidasi CO oleh CuO menghasilkan Cu dan CO<sub>2</sub> menggunakan perangkat lunak *Super Pro Designer*. *Super Pro Designer*<sup>[6]</sup> adalah perangkat lunak komputer yang dapat digunakan untuk simulasi perhitungan proses reaksi kimia dalam industri dan lingkungan. Sebagai perangkat lunak simulator, *SuperPro Designer* telah banyak digunakan dalam berbagai simulasi perhitungan reaksi kimia khususnya reaksi oksidasi, adsorpsi dan lain-lain<sup>[7,8]</sup>.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap karakteristik proses reaksi oksidasi CO oleh oksidator CuO serta hasil oksidasinya. Data hasil penelitian ini akan digunakan sebagai dasar dalam membuat desain konseptual kolom oksidator CO pada sistem kontrol inventori helium RGTT200K.

## TINJAUAN PUSTAKA

Reaktor berpendingin Gas Temperatur Tinggi 200 MWt Kogenerasi (RGTT200K) merupakan reaktor generasi lanjut yang menggunakan helium sebagai pendingin. Reaktor ini didesain secara modular dengan daya 200 MWt. Selain menghasilkan listrik, energi termal reaktor ini dapat dimanfaatkan melalui sistem kogenerasi untuk produksi hidrogen, dan desalinasi air laut. RGTT200K ini dirancang mampu menghasilkan energi listrik sekitar 60 MW, produksi hidrogen sebesar 160.000 Nm<sup>3</sup>/hari dan desalinasi air laut sebesar 35000 m<sup>3</sup>/hari<sup>[9]</sup>. Konsep dasar diagram alir pendingin dan sistem kontrol inventori helium RGTT200K seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



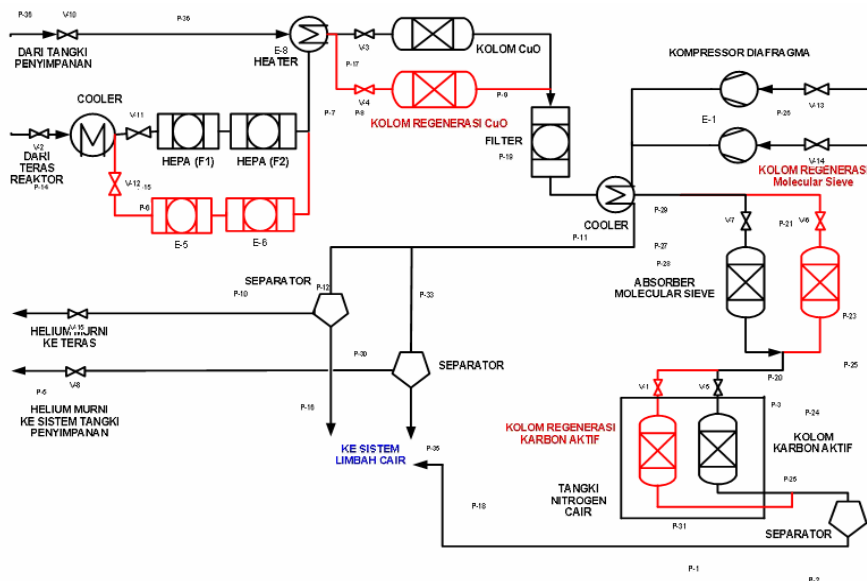
Gambar 1. Konsep dasar diagram alir pendingin dan sistem kontrol inventori helium RGTT200K

Sistem pendingin RGTT200K adalah sistem dengan siklus Brayton langsung yang dimanfaatkan secara kogenerasi untuk produksi gas hidrogen, pembangkitan listrik dan produksi air bersih melalui proses desalinasi. Sistem pemurnian helium adalah bagian dari sistem kontrol inventori helium yang berfungsi untuk memurnikan helium pendingin reaktor.

Helium sebagai pendingin RGTT200K dimurnikan dalam sistem pemurnian pendingin. Untuk keperluan pemurnian pendingin, maka sebagian aliran pendingin diambil untuk proses pemurnian. Titik pengambilan helium untuk proses pemurnian dirancang pada titik keluaran kompresor dengan laju alir 1,2 kg/s (1% dari laju alir massa pendingin reaktor), tekanan 52 bar, temperatur 116 °C<sup>[5]</sup>. Pendingin yang telah dimurnikan dikembalikan lagi melalui titik sebelum kompresor dimana pada kondisi ini tekanan dan temperatur pendingin reaktor pada kondisi terendah. Hal ini dimaksudkan agar dampak yang ditimbulkan akibat pengambilan dan pemasukan kembali helium kedalam sistem pendingin RGTT200K minimal.

### Konsep Sistem Pemurnian Helium Pendingin RGTT200K

Sistem pemurnian helium pendingin RGTT200K merupakan suatu sistem yang dirancang untuk memurnikan helium dari pengotornya. Pengotor gas helium tersebut berupa CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, dan CH<sub>4</sub> yang berasal dari *water ingress* dan *air ingress* berupa O<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O yang masuk saat perawatan dan pemeliharaan komponen sistem reaktor. Sistem pemurnian helium memiliki beberapa tahap pemisahan gas pengotor yang terkandung dalam gas helium, yaitu filtrasi, oksidasi, kondensasi, adsorpsi molekuler dan penyaringan molekuler, dan adsorpsi karbon aktif.



Gambar 2 : Konsep diagram alir sistem pemurnian pendingin RGTT200K [8]

Oksidasi gas pengotor merupakan langkah awal yang penting sebelum memasuki tahap pemurnian lain. Gas pengotor yang dioksidasi adalah gas hidrogen (H<sub>2</sub>) dan karbon monoksida (CO). Pengotor ini dioksidasi karena gas hidrogen memiliki ukuran yang terlalu kecil sehingga harus diubah menjadi H<sub>2</sub>O agar dapat dipisahkan pada saat tahap kondensasi, sedangkan gas karbon

monoksida disamping ukuran molekulnya relatif kecil juga bersifat polar sehingga akan sulit dipisahkan pada tahap adsorpsi molekuler yang bersifat nonpolar. Untuk itu, karbonmonoksida dioksidasi menjadi karbon dioksida. Konsep diagram alir sistem pemurnian helium pendingin RGTT200K seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

Masing-masing komponen dalam sistem pemurnian helium sebagai pendingin reaktor RGTT200K dilengkapi dengan redundansi untuk kebutuhan regenerasi sehingga tidak mengganggu operasi. Selain untuk keperluan regenerasi, komponen redundan juga digunakan sebagai pengganti sementara apabila terjadi kegagalan komponen. Dengan demikian kontinuitas operasi dapat dipertahankan.

### Laju Reaksi Kimia

Laju reaksi kimia adalah perubahan sejumlah mol pereaksi untuk menghasilkan produk per satuan waktu<sup>[11]</sup>. Laju reaksi yang terukur sering sekali sebanding dengan konsentrasi reaktan yang dipangkatkan dengan suatu angka. Persamaan yang menyatakan laju reaksi  $v=d(A)/dt$  sebagai fungsi dari konsentrasi untuk semua spesies yang ada, termasuk produknya, dapat dituliskan sebagai berikut<sup>[12]</sup> :

$$\frac{d(A)}{dt} = k [A]^x \dots\dots\dots(1)$$

dengan,

- [A] = konsentrasi reaktan,
- v = kecepatan reaksi,
- k = konstanta kecepatan reaksi,
- x = orde reaksi

Orde reaksi terhadap suatu komponen merupakan pangkat dari konsentrasi komponen itu dalam hukum laju. Sejumlah energi yang dibutuhkan untuk terjadinya suatu reaksi dinamakan energi pengaktifan ( $E_a$ ). Laju reaksi meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur karena rerata energi kinetik pereaksi dan jumlah molekul yang memiliki  $E_a$  minimum meningkat<sup>[4]</sup>. Energi pengaktifan diperoleh melalui regresi linier yang dihasilkan dari persamaan Arrhenius<sup>[4]</sup> yang dilogaritmakan dengan memplot  $1/K$  ( $\text{kelvin}^{-1}$ ) sebagai sumbu  $x$  dan  $\ln K$  sebagai sumbu  $y$ , persamaan Arrhenius yang digunakan adalah :

$$k = A e^{-E_a/RT} \dots\dots\dots(2)$$

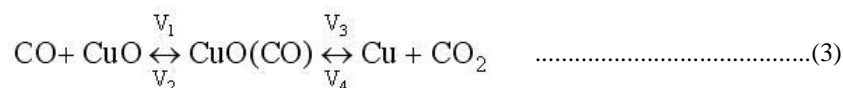
dengan,

- k = konstanta laju reaksi
- A = faktor frekuensi
- $E_a$  = energi pengaktifan
- R = tetapan gas universal
- T = temperatur

Persamaan Arrhenius diatas menggambarkan bahwa nilai konstanta laju reaksi (k) dapat diperoleh melalui nilai faktor frekuensi (A) dengan eksponensial energi aktivasi per tetapan gas universal (R) dan temperatur. Secara garis besar, persamaan empirik ini menggambarkan kebergantungan konstanta laju reaksi terhadap temperatur. Semakin meningkat temperatur reaksi, maka konstanta laju reaksi akan semakin meningkat dan begitu pula sebaliknya.

**METODOLOGI PERHITUNGAN**

Proses oksidasi CO oleh oksidator CuO<sup>[13]</sup> dalam sistem pemurnian pendingin RGTT200K mengikuti persamaan reaksi sebagai berikut;

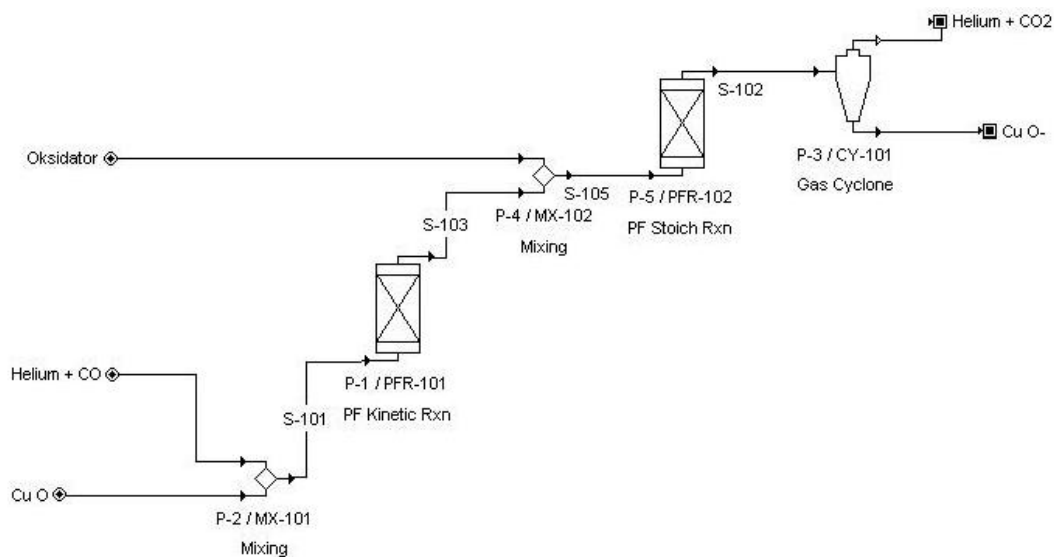


dengan,

- V<sub>1</sub> = kecepatan reaksi CO dan CuO
- V<sub>2</sub> = kecepatan peruraian CuO(CO) menjadi CO dan CuO
- V<sub>3</sub> = kecepatan reaksi CuO(CO) menjadi Cu dan CO<sub>2</sub>
- V<sub>4</sub> = kecepatan reaksi Cu dan CO<sub>2</sub> menjadi CuO(CO)

Reaksi oksidasi CO dan CuO tidak langsung menghasilkan produk reaksi yaitu CO<sub>2</sub> dan Cu, tetapi harus melalui spesi *intermediate* CuO(CO). Jumlah CO yang dapat dioksidasi menjadi CO<sub>2</sub> sangat bergantung dengan kesetimbangan laju reaksi v<sub>1</sub> dan v<sub>2</sub> serta v<sub>3</sub> dan v<sub>4</sub> dimana kondisi ini sangat bergantung terhadap temperatur reaksi oksidasi yang diberikan.

Perhitungan pengaruh temperatur terhadap proses oksidasi CO oleh oksidator CuO menjadi CO<sub>2</sub> dilakukan dengan pemodelan menggunakan perangkat lunak *Super Pro Designer*. Model proses perhitungan menggunakan *SuperPro Designer* ditunjukkan dalam diagram alir model proses oksidasi CO oleh oksidator CuO seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



**Gambar 3. Diagram alir pemodelan proses reaksi oksidasi CO oleh oksidator CuO**

Dalam pemodelan ini sebagai *input* adalah reaktan utama yang berupa campuran gas helium dengan gas CO pada laju alir 1,2 kg/s dan konsentrasi gas CO sebesar 40 ppmV. Proses reaksi oksidasi dijalankan pada kondisi operasi temperatur 116 °C, tekanan 52 bar. Tahap operasi diawali dengan dialirkannya gas helium bersama oksidator CO kedalam *mixer* (P2) dengan laju alir 0,01 kg/s. Untuk mempertahankan kondisi operasi yang tetap atau untuk menjaga kelangsungan reaksi oksidasi, maka reaktan CuO dialirkan dengan laju alir sebesar 45 kg/jam. Setelah bercampur, reaktan pada (P1-S101) dimasukkan ke dalam reaktor kinetik untuk diproses dengan variasi temperatur. Terhadap hasil operasi reaktor kinetik dengan variasi temperatur (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 serta padatan CuO untuk dikembalikan ke reaktor kinetik.

Perhitungan pengaruh temperatur pada proses reaksi oksidasi CO oleh CuO dilakukan dengan memvariasikan temperatur reaksi mulai dari 200 °C s/d 455 °C. Pemilihan temperatur 200 °C didasarkan pada pertimbangan bahwa cuplikan helium yang dimurnikan dalam kontrol inventori helium diambil dari *outlet* kompresor dimana temperaturnya berkisar sekitar 200 °C. Dengan demikian proses reaksi oksidasi akan terjadi di atas temperatur tersebut.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan reaksi oksidasi CO oleh CuO ditunjukkan pada Tabel 1 dan 2 serta Gambar 4. Dari data Tabel 2 ataupun Gambar 4 dapat diketahui bahwa pada kenaikan temperatur oksidasi dari 200 °C ke 330 °C berakibat terjadinya peningkatan laju reaksi oksidasi. Hal ini ditunjukkan melalui penurunan sisa reaktan (CO) dari laju alir 110 g/jam menjadi 4 g/jam yang berarti CO yang harus bereaksi = 3,785 mol/jam, tetapi produk CO<sub>2</sub> yang dihasilkan hanya = 1,136 mol/jam. Sesuai dengan stoikiometri reaksi oksidasi jika semua CO dikonversi menjadi CO<sub>2</sub>, maka CO<sub>2</sub> yang dihasilkan juga harus = 3,785 mol perjam. Jadi pada kondisi tersebut berarti hanya sekitar 30% CO saja yang dapat dikonversi menjadi CO<sub>2</sub>. Dimana sebagian besar CO (70% yang tidak dikonversi) akan membentuk spesi *intermediate* CuO(CO) sebanyak = 2,679 mol/jam. Kondisi ini juga akan menguntungkan karena jika CuO(CO) tetap berada dalam padatan maka tidak akan ikut dalam aliran pemurnian dan ini berarti mengurangi beban adsorpsi CO<sub>2</sub> pada penyaring molekuler berikutnya.

**Tabel 1. Hasil perhitungan *input* data pada reaksi oksidasi CO oleh CuO**

No.	Parameter	Campuran He + CO	CuO	Campuran He + CO dan CuO
1.	Temperatur (°C)	116.00	116.00	116.00
2.	Tekanan (bar)	52.00	52.00	52.00
3.	Densitas (g/l)	6.43	8,920.00	6.50
4.	Total Enthalpi (kW-h)	820.86	1.37	822.23
5.	<i>Specific Enthalpy</i> (kcal/kg)	163.49	26.22	162.08

6.	Kapasitas panas (kcal/kg <sup>0</sup> C)	1.74	0.23	1.72
7.	Laju alir CO (kg/jam)	0.173	0.000	0.173
8.	Laju alir CuO (kg/jam)	0.000	45.000	45.000
9.	Laju alir He (kg/jam)	4,319.827	0.000	4,319.827
10.	Laju alir campuran He, CO, CuO (kg/jam)	4,320.000	45.000	4,365.000
11.	Laju alir campuran He, CO, CuO (l/jam)	671,639.729	5.045	671,644.774

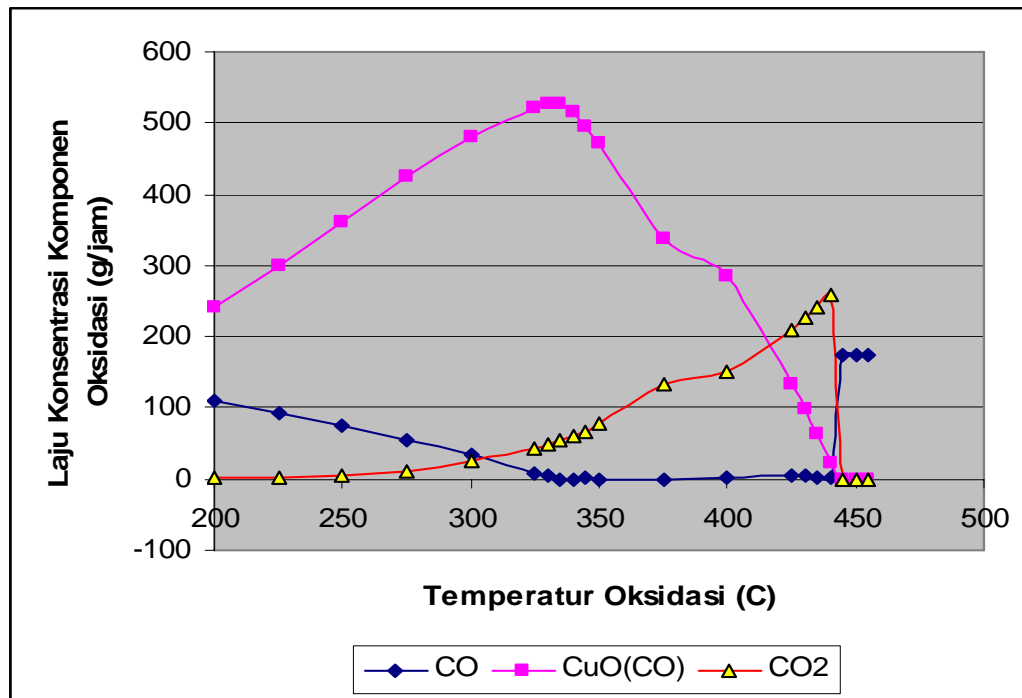
**Tabel 2. Hasil perhitungan proses oksidasi CO oleh oksidator CuO pada variasi temperatur (S-103)**

No.	Temperatur ( <sup>0</sup> C)	Laju Alir CO (kg/jam)	Laju Alir CuO (kg/jam)	Laju Alir CuO (CO) (kg/jam)	Laju Alir Cu (kg/jam)	Laju Alir CO <sub>2</sub> (kg/jam)
1.	200	0,110	44,821	0,240	0,001	0,001
2.	225	0,093	44,775	0,299	0,004	0,002
3.	250	0,075	44,723	0,361	0,008	0,006
4.	275	0,055	44,665	0,424	0,017	0,012
5.	300	0,033	44,602	0,480	0,034	0,024
6.	325	0,009	44,534	0,522	0,064	0,044
7.	330	0,004	44,520	0,528	0,072	0,050
8.	335	0,000	44,509	0,527	0,081	0,056
9.	340	0,000	44,510	0,515	0,087	0,060
10.	345	0,003	44,516	0,496	0,094	0,065
11.	350	0,000	44,509	0,472	0,113	0,078
12.	375	0,000	44,509	0,338	0,193	0,133
13.	400	0,003	44,516	0,284	0,219	0,151
14.	425	0,005	44,522	0,132	0,304	0,210
15.	430	0,004	44,519	0,098	0,326	0,226
16.	435	0,003	44,517	0,062	0,350	0,242
17.	440	0,002	44,514	0,023	0,376	0,259
18.	445	0,173	45,000	-	-	-
19.	450	0,173	45,000	-	-	-
20.	455	0,173	45,000	-	-	-

Pada kenaikan temperatur berikutnya yaitu 335 <sup>0</sup>C hingga 440 <sup>0</sup>C terlihat bahwa produk CO<sub>2</sub> juga meningkat dari 56 g/jam hingga 259 g/jam dan sisa CuO(CO) selalu menurun. Hal ini berarti bahwa reaksi oksidasi untuk mengkonversi CO menjadi CO<sub>2</sub> masih cukup efektif. Namun tepat pada kondisi temperatur 345 <sup>0</sup>C dan antara 400 <sup>0</sup>C hingga 440 <sup>0</sup>C terjadi pergeseran kesetimbangan dimana Cu dan CO<sub>2</sub> sebagai produk reaksi oksidasi bereaksi balik menghasilkan CO kembali sehingga sasaran konversi CO yang sempurna menjadi tidak tercapai. Hal ini dapat terjadi



karena pada temperatur tersebut kecepatan reaksi  $v_2$  lebih besar dari  $v_1$  dan  $v_4$  juga lebih besar dari  $v_3$ .



Gambar 4. Hasil perhitungan proses oksidasi CO oleh oksidator CuO pada variasi temperatur (S-103)

Pada kenaikan temperatur berikutnya yaitu 445 °C hingga 455 °C reaksi oksidasi berhenti total artinya tidak ada produk reaksi yang dihasilkan reaktan CO masih tetap = 0,173 kg/jam dan CuO juga tetap = 45,000 kg/jam. Hal ini dimungkinkan bahwa pada kondisi temperatur ini energi bebas Gibbs  $G$  pada reaksi oksidasi CO dengan CuO positif (lebih besar dari nol) sehingga reaksi tidak spontan atau berhenti.

Spesi CuO(CO) sebagai *intermediate* memegang peran yang penting dalam proses reaksi oksidasi CO oleh CuO dimana produk ini meningkat terus hingga terbanyak pada kondisi temperatur reaksi 330 °C dan pada kenaikan temperatur selanjutnya jumlahnya terus menurun. Pada Gambar 4, bahwa pada temperatur 375 °C kurva CuO(CO) terlihat mendekati datar. Hal ini dapat dipahami bahwa pada temperatur tersebut produk spesi CuO(CO) stabil dan tidak membentuk reaksi berantai berikutnya. Karena apabila terjadi reaksi berantai berikutnya akan berdampak pada kenaikan gas pengotor. Dengan demikian dapat ditetapkan bahwa pada temperatur 375 °C merupakan temperatur optimal untuk proses oksidasi CO oleh CuO. Hal ini juga didukung oleh laju alir CO sebagai reaktan yang juga sudah mencapai 0,0 g/jam dan produk CO<sub>2</sub> mencapai 133 g/jam.

Desain konseptual kolom oksidator CO dalam proses pemurnian pendingin reaktor disamping berdasarkan temperatur optimal 375 °C juga harus mempertimbangkan faktor utilisasi energi (EUF)

yang juga dipengaruhi oleh laju alir massa pada sistem kontrol inventori helium dimana semakin besar laju alir massa akan berdampak semakin rendah EUF RGTT200K<sup>[5]</sup>.

## **KESIMPULAN**

Parameter temperatur pada proses oksidasi CO oleh CuO dalam sistem kontrol inventori helium RGTT200K, mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap pembentukan produk oksidasi yaitu CO<sub>2</sub>, CuO(CO), dan Cu. Semakin tinggi temperatur semakin banyak CO yang dikonversi menjadi CO<sub>2</sub>. Kondisi optimum proses oksidasi CO dicapai pada temperatur 375 °C. Operasi kolom oksidasi CO harus didesain pada temperatur 375 °C dengan mempertimbangkan pengaruh laju alir massa pada kontrol inventori helium terhadap EUF RGTT200K.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- [1]. Anonim, “Kebijakan Energi Nasional”, Peraturan Presiden RI Nomor 5 Tahun 2006.
- [2]. GASTALDI O., “Helium Purification.”, Proceedings HTR 3<sup>rd</sup> International Tropical Meeting on High Temperature Reactor Technology. Johannesburg, 2006.
- [3]. LILA M. MULLOTH, “Carbon Dioxide Adsorption on a 5A Zeolite Designed for CO<sub>2</sub> Removal in Spacecraft Cabins”, NASA/TM -1998-208752, 1998.
- [4]. ESPENSON JH., “Chemical Kinetics and Reaction Mechanism”. Ed ke-2. New York: McGraw-Hill, 1968.
- [5]. SUMIJANTO dkk, 2012, 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, PTAPB Yogyakarta
- [6]. Intelligent Inc, 2012, “Super PRO Designer and Enviro Pro designer User Guide” USA.
- [7]. AMEY DESHPANDE, NIMISH SHAH, “Aqueous Phase Adsorption of Toluene in a Packed Bed of Hydrophobic Aerogels”, Proceeding Institute Of Technology, Nirma University, Ahmedabad – 382 481, 08-10 December, 2011
- [8]. NIKHIL KAWACHALE, ASHWANI KUMAR, “Simulation, scale-up and economics of adsorption and membrane based processes for isoflavones recovery”, Journal Chemical Engineering Research and Design 8 9 ( 2 0 1 1 ) 428–435
- [9]. SUMIJANTO, 2010 “Analisis Aplikasi Energi Termal RGTT200K Untuk Produksi Hidrogen PLTN Dan Desalinasi” Prosiding Seminar Nasional ke-16 Tentang Teknologi Keselamatan PLTN Dan Fasilitas Nuklir, Surabaya.
- [10]. SRIYONO dkk, 2011, “Desain Konseptual Sistem Pemurnian Helium Pada RGTT200K Untuk menjamin Keselamatan Pengoperasiannya” Seminar Keselamatan Nuklir, Bapeten.
- [11]. SILBEY RJ, ALBERTY RA, DAN BAWENDI MG. 2005. Physical Chemistry. Fourth Edition. United States: John Wiley dan Sons, Inc.
- [12]. ATKINS PW. 1996. Kimia Fisik. Jilid 2 Ed ke-4. Kartohadiprodjo II, penerjemah; Indarto PW, editor. Jakarta: Erlangga. Terjemahan dari: Physical Chemistry.

- [13]. GOLDSTEIN EA DAN MITCHELL RE. 2010. Chemical Kinetics of Copper Oxide Reduction with Carbon Monoxide. Di dalam: Proceedings of the Combustion Institute vol 33: 2803-2810.

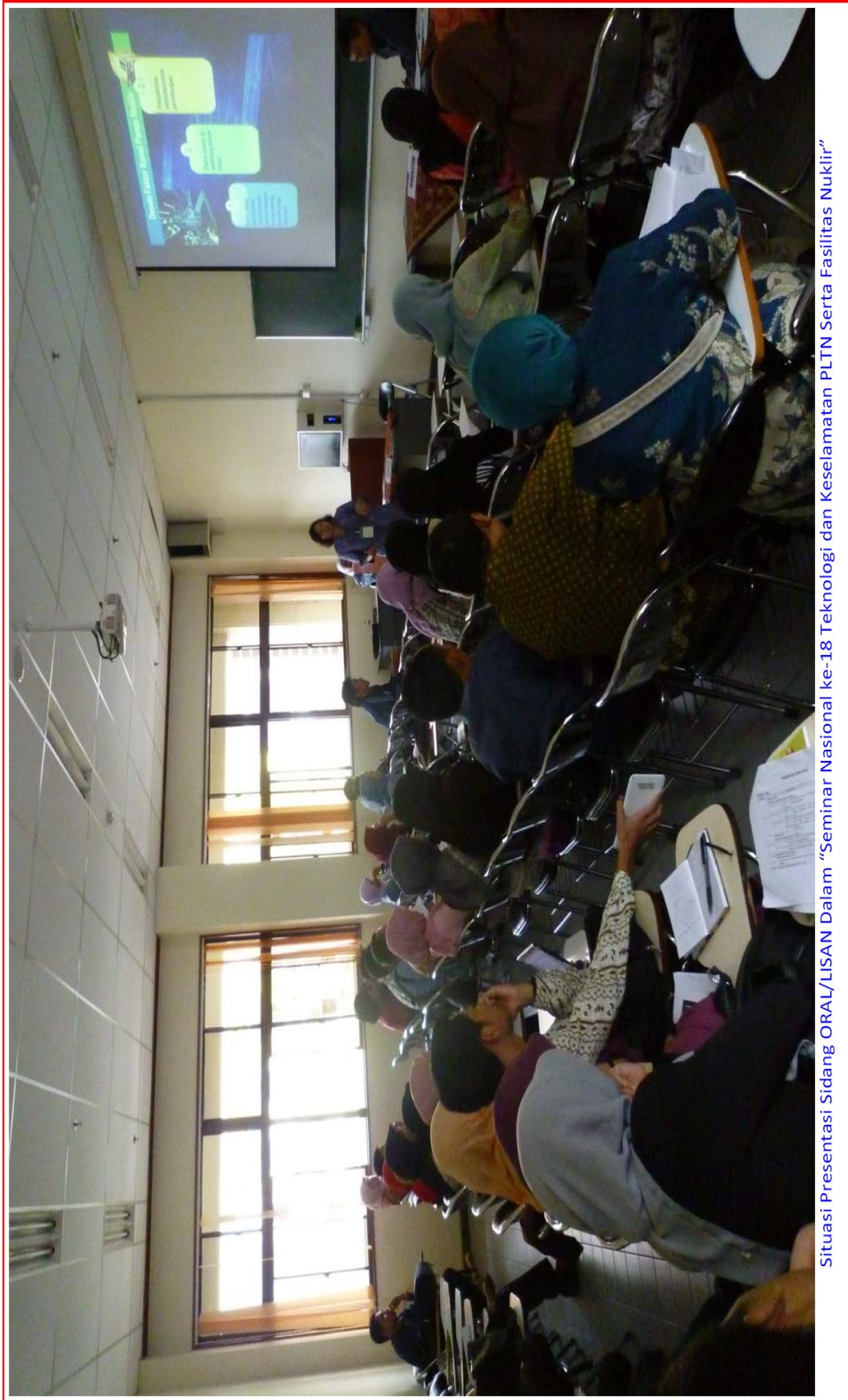
**DISKUSI/TANYA JAWAB:**

**1. PERTANYAAN: (Ir. Pudjjanto, MS., PTRKN-BATAN)**

- Apakah dalam reaksi oksidasi ini menggunakan katalis untuk mempercepat reaksi dan bagaimana perubahan energi aktivasinya?.

**JAWABAN: (Sumijanto, PTRKN-BATAN)**

- *Dalam reaksi oksidasi ini (mengkonversi CO menjadi CO<sub>2</sub>) tidak menggunakan katalis untuk mempercepat reaksi. Kecepatan reaksi dipicu dengan menggunakan kenaikan temperatur hingga 375 °C dan hasilnya cukup baik yang ditandai oleh: semakin tinggi temperatur semakin banyak CO yang dikonversi menjadi CO<sub>2</sub>. Jadi aktivasi reaksi dalam hal ini tidak menggunakan katalis, tetapi dengan menaikkan temperatur hingga 375 °C dan hasilnya cukup baik.*



Situasi Presentasi Sidang ORAL/LISAN Dalam "Seminar Nasional ke-18 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir"