

## ANALISIS PROSES OKSIDASI H<sub>2</sub> DAN CO UNTUK DESAIN KONSEPTUAL SISTEM PEMURNIAN PENDINGIN PRIMER RGTT200K

Oleh

Sumijanto, Ign Djoko Irianto  
Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir

### ABSTRAK

**ANALISIS PROSES OKSIDASI H<sub>2</sub> DAN CO UNTUK DESAIN KONSEPTUAL SISTEM PEMURNIAN PENDINGIN PRIMER RGTT200K.** RGTT200K (Reaktor berpendingin Gas Temperatur Tinggi 200 MW Kogenerasi) adalah Sistem Energi Nuklir berbasis HTGR (*High Temperature Gas Cooled Reactor*) yang dirancang untuk dikembangkan dalam rangka memenuhi kebutuhan energi listrik di Indonesia ke depan. Reaktor ini dirancang menggunakan gas helium sebagai pendingin primer. Sistem pemurnian berfungsi untuk memisahkan gas pengotor pendingin primer seperti H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, dan O<sub>2</sub> agar berada di bawah konsentrasi yang dipersyaratkan. Gas H<sub>2</sub> dan CO adalah spesi yang sulit dipisahkan. Oksidasi gas H<sub>2</sub> dan CO menjadi H<sub>2</sub>O dan CO<sub>2</sub> merupakan alternatif untuk mempermudah proses pemisahan. Dalam makalah ini dianalisis proses oksidasi H<sub>2</sub> dan CO menggunakan oksidator CuO. Analisis dilakukan dengan memperhitungkan karakteristik pereaksi, laju reaksi, debit pendingin primer, konsentrasi H<sub>2</sub> dan CO, dan volume kolom oksidator. Hasil analisis menunjukkan bahwa durasi proses reaksi oksidasi ditentukan oleh reaksi gas H<sub>2</sub> dengan CuO, semakin tinggi temperatur reaksi semakin cepat. Reaksi optimal terjadi pada kondisi temperatur 300 °C, volume kolom oksidator 1200 liter, waktu kontak 2 detik, kebutuhan CuO 7572 kg, dan umur oksidator 10.000 hari.

Kata Kunci : RGTT200K, Pemurnian, Oksidasi, Desain konseptual.

### ABSTRACT

**ANALYSIS OF H<sub>2</sub> AND CO OXIDATION PROCESS FOR THE CONCEPTUAL DESIGN OF PRIMARY COOLING SYSTEM OF RGTT200K.** RGTT200K is a Nuclear Energy Systems based on HTGR (*High Temperature Gas-cooled Reactor*) which be developed to fulfill the future needs of electric energy in Indonesia. The reactor is designed to use helium gas as the primary coolant. Purification system serves to separate the primary coolant gas impurities such as H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, and O<sub>2</sub> in order to be under the required concentration. H<sub>2</sub> and CO gases are species that are difficult to separate. Oxidation of gaseous H<sub>2</sub> and CO to H<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> is an alternative to ease the separation process. In this paper analyzed the process of oxidation of H<sub>2</sub> and CO using CuO oxidizer. Analyses were performed taking into the account of the reactants characteristics, the reaction rate, the primary coolant flow, the concentration of H<sub>2</sub> and CO, and the volume of the column oxidizer. The results of the analysis showed that the duration of the oxidation reaction is determined by the reaction of H<sub>2</sub> gas with CuO, the higher the temperature will be the faster the reaction. The optimal reaction will occur on the temperature 300 °C, the volume of oxidizer column 1200 liters, the contact time 2 seconds, the needs of CuO 7572 kg, and the life time of oxidizing 10,000 day.

Keywords: RGTT200K, Purification, Oxidation, conceptual design.

### ENDAHULUAN

Seiring dengan pesatnya perkembangan diberbagai sektor industri di Indonesia serta mengingat cadangan sumber energi fosil yang

semakin menipis maka sudah waktunya diupayakan adanya sumber energi baru dan terbarukan guna menopang kebutuhan energi yang diperlukan dalam industri tersebut.

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% dari penyediaan energi listrik di Indonesia. Kebijakan pemerintah tersebut memberi peluang dan tantangan terhadap penerapan dan pengembangan Sistem Energi nuklir (SEN) di Indonesia.

RGTT200K (Reaktor berpendingin Gas Temperatur Tinggi 200 MW Kogenerasi) adalah Sistem Energi Nuklir berbasis HTGR (*High Temperature Gas Cooled Reactor*) yang dirancang untuk dikembangkan dalam rangka memenuhi kebutuhan energi listrik di Indonesia kedepan. Pengembangan RGTT200K tersebut harus dilakukan melalui berbagai tahapan desain yang meliputi *design requirement*, desain konseptual (*conceptual design*), desain dasar (*basic design*), desain rinci (*detail design*), demonstrasi instalasi (*plant demonstration*) atau prototipe, dan operasi komersial (*comercial operation*).

RGTT200K sebagai calon SEN di Indonesia harus memenuhi kriteria ramah lingkungan, aman, ekonomis, dan mampu menghemat cadangan uranium dunia. Oleh karenanya RGTT200K harus didesain tidak melepaskan polutan apapun yang dapat merusak atau mempengaruhi lingkungan. Media pendingin primer pada RGTT200K didesain menggunakan gas helium. Helium selain sebagai pendingin primer juga berfungsi

sebagai *barier* keselamatan ke enam (1.*meat* kernel, 2.*pyrolitic carbon*, 3.*silicon carbide*, 4.*pyrolitic carbon*, 5.*pabble*, dan 6. pendingin helium) dalam sistem keselamatan RGTT200K<sup>[2]</sup>.

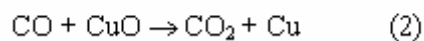
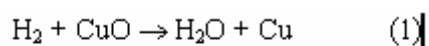
Helium dipilih sebagai pendingin primer reaktor karena helium mempunyai kemampuan transfer panas pada temperatur tinggi yang memadai, bersifat mulia sehingga helium tidak mudah bereaksi dengan struktur material reaktor. Helium berfungsi sebagai pengambil energi termal yang dihasilkan dari reaksi fisi dalam teras reaktor untuk dipindahkan ke unit konversi daya guna pembangkitan listrik ataupun kogenerasi dengan produksi hidrogen dan desalinasi air. Dalam analisis keselamatan RGTT, *air ingress* dan *water ingress* adalah merupakan kecelakaan dasar desain (*Design Basis Accident*, DBA). Pada kondisi DBA tersebut pendingin helium tercemar oleh pengotor. Spesi-spesi pengotor tersebut dalam temperatur tinggi akan terurai dan bereaksi dengan unsur karbon dalam teras menghasilkan spesi pengotor H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, dan O<sub>2</sub> yang sangat agresif terhadap material struktur dan komponen reaktor. Sebagai suatu sistem keselamatan, sistem pengendali inventori helium harus mampu mengatasi kondisi DBA tersebut. Pengaruh gas pengotor terhadap material bergantung pada konsentrasi relatif dan temperatur helium. Interaksi pengotor dengan material mengarah ke oksidasi dan dapat menyebabkan karburasi atau dekarburasi paduan logam material struktur reaktor<sup>[3]</sup>. Untuk itu konsentrasi gas pengotor dalam pendingin perlu dikendalikan pada kondisi konsentrasi yang dipersyaratkan. Batas maksimal konsentrasi gas pengotor yang dipersyaratkan dalam pendingin primer RGTT200K seperti pada Tabel 1.

Tabel 1 : Persyaratan batas konsentrasi maksimal gas pengotor dalam sistem primer RGTT200K [4].

H <sub>2</sub> O (ppmV)	CO <sub>2</sub> (ppmV)	H <sub>2</sub> (ppmV)	CO (ppmV)	CH <sub>4</sub> (ppmV)	N <sub>2</sub> (ppmV)	O <sub>2</sub> (ppmV)
0,2	0,6	3,0	3,0	0,5	0,2	0,02

Pengendalian konsentrasi gas pengotor dilakukan dengan sistem pemurnian helium, yang meliputi berbagai tahapan yaitu filtrasi, kondensasi, oksidasi, adsorpsi molekular dan, adsorpsi karbon aktif.

Pengotor yang terdapat pada helium sebagian besar merupakan molekul besar, kecuali gas hidrogen (H<sub>2</sub>). Selain itu, pengotor sebagian besar bersifat nonpolar kecuali gas karbon monoksida CO. Kedua gas pengotor tersebut sangat sulit untuk dipisahkan baik secara penyaringan molekular ataupun adsorpsi dalam sistem pemurnian gas helium. Untuk itu, gas H<sub>2</sub> dan gas CO sebagai pengotor pendingin primer harus diubah bentuknya menjadi senyawa yang mudah dipisahkan. Proses oksidasi gas H<sub>2</sub> dan gas CO menggunakan butiran tembaga oksida (CuO) adalah alternatif yang dapat diambil mengingat proses ini cukup sederhana dan akan menghasilkan air dan gas karbon dioksida menurut reaksi berikut .



Dalam makalah ini akan dianalisis tentang karakteristik proses oksidasi gas H<sub>2</sub> dan CO menggunakan oksidator CuO yang merupakan

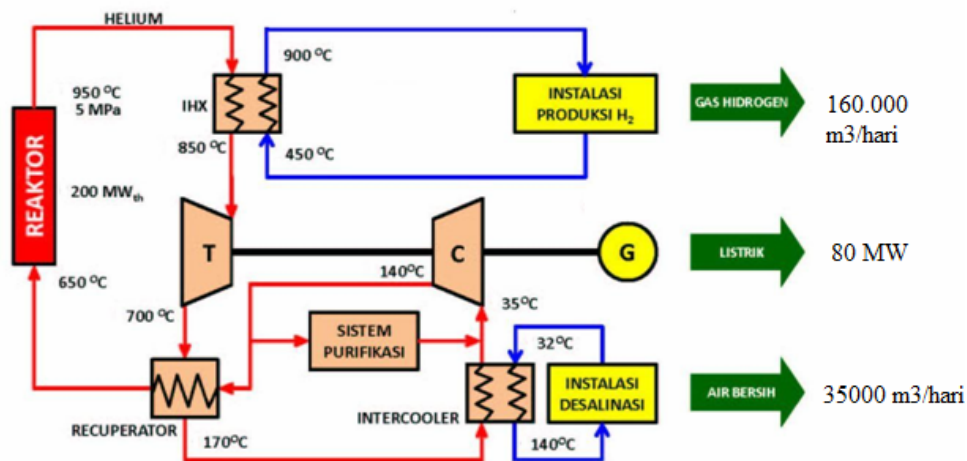
langkah awal dalam sistem pemurnian pendingin primer RGTT200K. Data analisis ini selanjutnya akan digunakan untuk keperluan desain konseptual sistem pemurnian pendingin primer RGTT200K.

Karakteristika proses oksidasi dilakukan melalui perhitungan menggunakan formulasi gas ideal , persamaan Arrhenius dan interaksi antara gas dan padatan.

#### TINJAUAN PUSTAKA

##### Konsep desain RGTT200K

Reaktor berpendingin Gas Temperatur Tinggi 200 MW Kogenerasi (RGTT200K) merupakan reaktor generasi lanjut yang menggunakan helium sebagai pendingin. Reaktor ini didesain secara modular dengan daya 200 MW. 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 80 MW, produksi hidrogen sebesar 160.000 m<sup>3</sup>/hari dan desalinasi air laut sebesar 35000 m<sup>3</sup>/hari<sup>[5]</sup>. Konsep dasar pemanfaatan energi termal RGTT200K ditunjukkan pada Gambar 1.



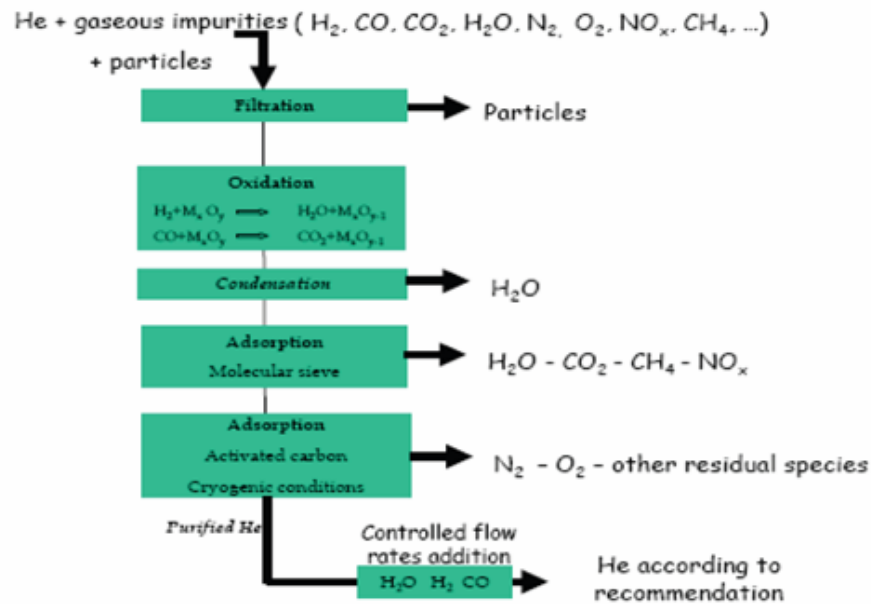
Gambar 1 : Konsep dasar pemanfaatan energi termal RGTT200K [6]

Karakteristika		Keterangan
Daya reaktor	:	200 MW
Moderator dan reflector	:	Grafit
Pendingin	:	Gas helium fasa tunggal (He)
Temperatur <i>outlet</i> pendingin He	:	950 °C
Temperatur <i>inlet</i> pendingin He	:	650° C
Laju alir pendingin He	:	120 kg/s
Tekanan pendingin He	:	5 Mpa

### Konsep Sistem Pemurnian Helium Pendingin Primer RGTT200K

Sistem pemurnian helium pendingin primer RGTT200K merupakan suatu sistem yang dirancang untuk memurnikan pendingin gas helium dari pengotornya [7]. Pengotor-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 primer. 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. 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 karena bersifat polar sehingga akan sulit dipisahkan pada tahap adsorpsi molekuler yang bersifat nonpolar. Untuk itu, karbon monoksida dioksidasi menjadi karbon dioksida. Strategi proses pemurnian gas helium seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 : Strategi proses pemurnian gas helium <sup>[4]</sup>.

Filtrasi digunakan untuk memisahkan partikel padat berukuran kecil yang terdapat di dalam helium, biasanya berupa debu karbon atau grafit yang berupa aerosol. Oksidasi gas pengotor, pengotor yang berukuran kecil seperti hidrogen ( $H_2$ ) dan karbon monoksida ( $CO$ ) dioksidasi oleh oksida logam berupa  $CuO$  menjadi air ( $H_2O$ ) dan karbon dioksida ( $CO_2$ ) sehingga jenis pengotor yang ada adalah  $H_2O$ ,  $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$ , dan  $O_2$ . Kondensasi, pada proses ini sebagian air akan terkondensasi dan terpisah dari senyawa gas yang lain sehingga pengotor yang tersisa adalah  $H_2O$  sisa,  $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$ , dan  $O_2$ . Adsorpsi dan penyaringan molekuler, proses ini akan memisahkan  $H_2O$ ,  $CH_4$ , dan  $CO_2$ . Bahan penyaring molekuler yang dapat digunakan ialah membran ataupun aluminium oksida, sedangkan bahan adsorpsi dapat digunakan karbon aktif. Gas pengotor yang tertinggal adalah oksigen dan nitrogen. Adsorpsi dengan karbon aktif pada kondisi *cryogenic* (kondisi sangat dingin), pada proses

ini oksigen dan nitrogen akan terkondensasi sedangkan helium masih dalam kondisi gas sehingga mudah dipisahkan <sup>[4]</sup>. Oksidasi pengotor  $H_2$  dan  $CO$  dengan butiran  $CuO$  dipengaruhi oleh laju reaksi keduanya. Laju reaksi yang paling lambat akan mempengaruhi waktu reaksi.

### Karakteristika $CuO$

*Cupric Oxide* ( $CuO$ ) merupakan senyawa yang terdiri dari  $Cu$  dan  $O$ , dalam senyawa mineral  $CuO$  atau tenorit.  $CuO$  merupakan senyawa keramik yang paling sederhana yang terdiri dari atom logam dan non-logam dalam jumlah yang sama. Seperti halnya keramik pada umumnya ikatan  $CuO$  terbentuk oleh ikatan ion dan kovalen. ikatan ion  $CuO$ , dua elektron dipindahkan dari atom  $Cu$  ke atom  $O$  sehingga menghasilkan kation ( $Cu^{2+}$ ) dan anion ( $O^{2-}$ ). Ikatan kovalen  $CuO$  berasal dari elektron valensi yang dipakai bersama dan terjadi pembagian elektron valensi <sup>[8]</sup>.

Tabel 3: Sifat intrinsik CuO

Sifat	Keterangan
Struktur kristal	: Monoklinik
Parameter kisi	: $a = 4,6837 \text{ \AA}$ $\alpha = 90^\circ$
	$b = 3,4226 \text{ \AA}$ $\beta = 99,54^\circ$
	$c = 5,1288 \text{ \AA}$ $\gamma = 90^\circ$
Energi gap	: 1,2eV, tidak tembus cahaya
Massa Molar	: 79,545 gram/mol
Kerapatan	: 6,31 gram/cm <sup>3</sup>
Titik Leleh	: $1201 \text{ }^\circ\text{C}$ +(1474K)
Resistivitas	: $10^5 \text{ Ohm/cm}$

### Karakteristika Hidrogen

Hidrogen adalah [unsur kimia](#) pada [tabel periodik](#) yang memiliki simbol H dan [nomor atom](#) 1. Pada [suhu dan tekanan standar](#), tidak berwarna, tidak berbau, bersifat [non-logam](#), [bervalensi](#) tunggal, dan merupakan [gas diatomik](#) (H<sub>2</sub>) yang sangat mudah [terbakar](#). Hidrogen memiliki [massa atom](#) sebesar 1,00794 amu.

Tabel 4: Sifat fisika hidrogen <sup>[8]</sup>.

Fase	:	gas
Massa jenis	:	0,08988 g/L
Titik lebur	:	14,01 <a href="#">K</a>
Titik didih	:	20,28 <a href="#">K</a>
Titik tripel	:	13,8033 K, 7,042 kPa
Titik kritis	:	32,97 <a href="#">K</a> , 1,293 MPa
Kalor peleburan	:	(H <sub>2</sub> ) 0,117 <a href="#">kJ·mol<sup>-1</sup></a>
Kalor penguapan	:	(H <sub>2</sub> ) 0,904 <a href="#">kJ·mol<sup>-1</sup></a>
Kapasitas kalor	:	28,836 J·mol <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>

Tabel 5: Sifat atom hidrogen <sup>[8]</sup>.

<b>Struktur kristal</b>	:	<b>Heksagonal</b>
Bilangan oksidasi	:	1, -1
Elektronegativitas	:	2,20 (skala Pauling)
Energi ionisasi	:	1st: 1312,0 <a href="#">kJ·mol<sup>-1</sup></a>
Jari-jari atom	:	<a href="#">25 pm</a>
Jari-jari kovalen	:	<a href="#">37 pm</a>
Jari-jari Van Der waals	:	120 pm

### Karakteristika Karbon Monoksida

Karbon monoksida adalah [gas](#) yang tak berwarna, tak berbau, dan tak berasa. Ia terdiri dari satu atom [karbon](#) yang secara [kovalen berikatan](#) dengan satu atom [oksigen](#). Dalam karbon monoksida, terdapat dua ikatan kovalen dan satu [ikatan kovalen koordinasi](#) antara atom karbon dan oksigen.

Tabel 6 : Sifat karbon monoksida <sup>[8]</sup>

<b>Rumus molekul</b>	:	<b>CO</b>
Massa molar	:	28,0101 g/mol
Wujud	:	tak berwarna, gas tak berbau
Densitas	:	0,789 g/cm <sup>3</sup> , liquid 1,250 g/L at 0 C, 1 atm 1,145 g/L pada 25 C, 1 atm
Titik leleh	:	-205 °C (68 K)
Titik didih	:	-192 °C (81 K)
Kelarutan dalam air	:	0,0026 g/100 mL (20 °C)
Momen dipol	:	0,112 <a href="#">D</a> (3,74×10 <sup>-31</sup> C·m)

## Laju Reaksi Kimia

Laju reaksi kimia adalah perubahan sejumlah mol pereaksi untuk menghasilkan produk per satuan waktu. Laju reaksi yang terukur sering sekali sebanding dengan konsentrasi reaktan yang dipangkatkan dengan suatu angka <sup>[9]</sup>. Persamaan yang menyatakan laju reaksi (V) sebagai fungsi dari konsentrasi semua spesies yang ada, termasuk produknya, disebut hukum laju. Persamaan laju reaksi dapat dituliskan sebagai berikut (Atkins 1990):

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

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 suhu karena rerata energi kinetik pereaksi dan jumlah molekul yang memiliki  $E_a$  minimum meningkat <sup>[10]</sup>. Energi pengaktifan diperoleh melalui regresi linier yang dihasilkan dari persamaan Arrhenius yang dilogaritmakan dengan memplot  $1/K$  (kelvin<sup>-1</sup>) sebagai sumbu  $x$  dan  $\ln K$  sebagai sumbu  $y$ , persamaan Arrhenius yang digunakan adalah :

$$k = A \exp(-E_a/RT) \quad (2)$$

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

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem pemurnian pendingin primer RGTT200K secara konseptual dirancang untuk memisahkan gas pengotor yang terbentuk selama operasi reaktor sehingga konsentrasi pengotor memenuhi kualitas yang dipersyaratkan. Proses pemisahan ini dilakukan melalui beberapa tahapan yaitu filtrasi, oksidasi, kondensasi, adsorpsi molekuler dan penyaringan molekul, serta adsorpsi karbon aktif. Oksidasi gas  $H_2$  dan  $CO$  merupakan langkah awal yang penting sehingga  $H_2$  dan  $CO$  diubah menjadi  $H_2O$  dan  $CO_2$  yang mudah untuk dipisahkan melalui proses penyaringan molekuler ataupun proses adsorpsi.

Gas helium yang tercampur pengotor-pengotor berupa karbon monoksida, karbon dioksida, hidrogen, nitrogen, oksigen, dan metana dialirkan dari reaktor ke dalam kolom oksidator dengan laju alir fluida sebesar 1% dari laju alir fluida pada reaktor sebesar 120 kg/s sehingga laju alir fluida dalam kolom oksidator sebesar 1,2 kg/s. Dalam reaktor, aliran fluida bertekanan sebesar 50 atm dengan suhu 950 °C. Berdasarkan data tersebut laju alir fluida dapat dikonversi ke dalam besaran volume menjadi sebesar 600 lt / s. Dalam reaktor konsentrasi gas pengotor helium diasumsikan mempunyai konsentrasi maksimal sebesar 40 ppmV sehingga banyaknya konsentrasi gas pengotor adalah sebesar 0,024 liter dalam 600 liter gas helium.

Karakteristika proses oksidasi  $H_2$  dan  $CO$  dihitung secara ekstrapolasi dari data kinetika reaksi yang diperoleh dari eksperimen sebelumnya menggunakan persamaan Arrhenius.

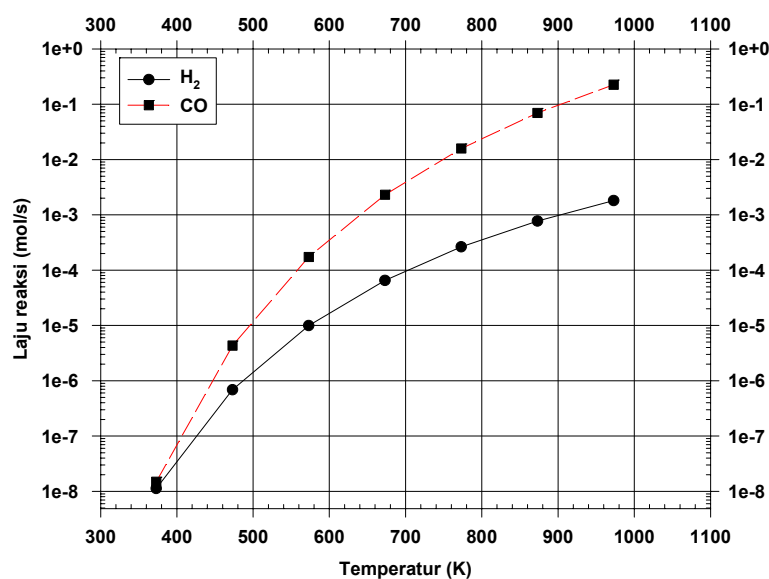
Laju reaksi merupakan salah satu faktor yang menentukan seberapa cepat suatu reaksi berlangsung. Laju reaksi yang lambat menunjukkan reaksi berjalan lama, begitu juga sebaliknya<sup>[10]</sup>. Analisis laju reaksi membandingkan laju reaksi CuO dengan hidrogen dan CuO dengan karbon monoksida. Data kinetika reaksi oksidasi hidrogen dan karbonmonoksida yang diperoleh dari

eksperimen sebelumnya seperti ditunjukkan pada tabel 7.

Tabel 7 : Data kinetika reaksi oksidasi hidrogen dan karbonmonoksida<sup>[11]</sup>.

Dari data ini dilakukan perhitungan laju reaksi oksidasi hidrogen dan karbon monoksida untuk berbagai temperatur oksidasi seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

Parameter proses oksidasi	Oksidasi H <sub>2</sub> + CuO	Oksidasi CO + CuO
Tekanan	1 atm	1 atm
Temperatur	473 K	773
Energi Aktivasi (Ea)	14,5 kkal/mol	20 KJ/mol
Konstante kecepatan reaksi (k)	3,4656x 10 <sup>-2</sup>	30,9656
Orde reaksi	1	0,7



Gambar 3 : Kurva laju reaksi oksidasi hidrogen dan karbon monoksida pada berbagai temperatur



Dari gambar 3 ini dapat diketahui bahwa laju reaksi hidrogen dengan oksidator CuO lebih lambat dibanding dengan laju reaksi antara karbonmonoksida dengan oksidator CuO. Hal ini dapat disimpulkan bahwa untuk perhitungan desain konseptual kolom oksidator terkait dengan waktu kontak, maka penentuan dimensi kolom didasarkan pada laju reaksi proses oksidasi hidrogen (laju reaksi yang lambat).

Dari kurva ini terlihat bahwa semakin tinggi temperatur semakin cepat reaksi. Namun dengan mempertimbangkan desain dan kekuatan material maka dipilih temperatur reaksi adalah  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  atau  $573\text{ K}$ , sehingga kecepatan reaksi oksidasinya adalah  $9,958 \times 10^{-6}\text{ mol/s}$ . Untuk mereaksikan hidrogen dengan konsentrasi  $40\text{ ppmV} = 1,98 \times 10^{-5}\text{ mol/l}$  diperlukan waktu  $2\text{ detik}$ . Jadi untuk membersihkan  $600\text{ liter}$  helium pendingin primer dibutuhkan waktu kontak  $2\text{ detik}$ .

Laju aliran pendingin masuk kolom oksidator adalah  $600\text{ L/s}$ , jadi dibutuhkan volume oksidator yang mampu menampung pendingin primer juga  $2 \times 600\text{ L} = 1200\text{ L}$ . Kolom ini tentunya diisi oleh Oksidator CuO. Dari data karakteristik CuO diperoleh kerapatan CuO adalah  $= 6,31\text{ gram/cm}^3$  sehingga jumlah CuO yang diperlukan dalam kolom oksidator adalah

$$1200\text{ L} \times 6,310\text{ kg/L} = 7572\text{ kg CuO.}$$

Konsentrasi gas pengotor terdiri dari 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> dan masing-masing diprediksikan mempunyai konsentrasi  $40\text{ ppmV}$  jadi total konsentrasi gas pengotor adalah  $280\text{ ppmV} = 5,54 \times 10^{-3}\text{ mol/L}$ .

Dari stoikiometri reaksi oksidasi diperoleh

bahwa  $1\text{ mol}$  gas pengotor setara dengan  $1\text{ mol}$  oksidator CuO.

Umur oksidator dengan jumlah  $7572\text{ kg CuO}$  ( $9,5 \times 10^4\text{ mol CuO}$ ) akan mampu beroperasi selama  $9,5 \times 10^4\text{ mol} / 9,958 \times 10^{-6}\text{ mol/s} = 10.000\text{ hari}$ .

## KESIMPULAN

Proses oksidasi gas H<sub>2</sub> dan CO menjadi H<sub>2</sub>O dan CO<sub>2</sub> merupakan alternatif untuk mempermudah proses pemisahan. Karakteristika proses oksidasi mempunyai peran penting dalam pembuatan desain konseptual sistem pemurnian pendingin primer RGTT200K. Hasil analisis menunjukkan bahwa durasi proses reaksi oksidasi ditentukan oleh reaksi gas H<sub>2</sub> dengan CuO, semakin tinggi temperatur reaksi semakin cepat. Reaksi optimal terjadi pada kondisi temperatur  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ , volume kolom oksidator  $1200\text{ liter}$ , waktu kontak  $2\text{ detik}$ , kebutuhan CuO  $7572\text{ kg}$ , dan umur oksidator  $10.000\text{ hari}$ .

## DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, 'Kebijakan Energi Nasional', Peraturan Presiden RI Nomor 5 Tahun 2006. .
2. Suwoto dkk, Analisis Sensitivitas Parametrik Dalam perhitungan Kritikalitas Sel Kisi Kernel Bahan Bakar RGTT Menggunakan Program Monte Carlo MCNP5, Prosiding Seminar Nasional ke -16 tentang Teknologi Keselamatan PLTN dan Fasilitas Nuklir, Surabaya 28 Juli 2010.
3. Kaczorowski D and Chaovoloff J, Material Degradation In High Temperature, The AREVA -NP Corrosion Loop, *Proceedings HTR 3<sup>rd</sup> International Tropical Meeting on High Temperature Reactor Technology*, Johannesburg 2006.

4. Gastaldi O. Helium Purification, *Proceedings HTR 3<sup>rd</sup> International Tropical Meeting on High Temperature Reactor Technology*, Johannesburg, 2006
5. Sumijanto, Analisis Aplikasi Energi Termal RGTT200K Untuk Produksi Hidrogen PLTN dan Desalinasi, Prosiding Seminar Nasional ke 16 tentang Teknologi Keselamatan PLTN dan Fasilitas Nuklir , Surabaya 28 Juli 2010.
6. Dhandhang Purwadi, Desain Konseptual Sistem Reaktor Daya Maju Kogenerasi berbasis RGTT, Prosiding Seminar Nasional ke -16 tentang Teknologi Keselamatan PLTN dan Fasilitas Nuklir , Surabaya 28 Juli 2010.
7. Tischler W, HTR Specific System, Fuel Handling System, Helium Auxiliary System, HTR Module. *Framatome-ANP GmbH*, 2002.
8. Anonim, MSDS 2010
9. Silbey RJ, Alberty RA, and Bawendi MG, *Physical Chemistry. Fourth Edition*, United States, John Wiley dan Sons, Inc 2005.
10. Espenson JH, *Chemical Kinetics and Reaction Mechanism. Ed ke-2*. New York: McGraw-Hill, 1968
11. Kim JY *et al*, Reduction of CuO and Cu<sub>2</sub>O with H<sub>2</sub>, H Embedding and Kinetic Effects in the Formation of Suboxides. *JACS articles* 125: 10684-10692, 2003.