

## KARAKTERISASI PROSES PENANGKAPAN PENGOTOR N<sub>2</sub> DAN O<sub>2</sub> PADA KARBON AKTIF SISTEM PEMURNIAN RGTT200K

Itjeu Karliana, Sumijanto, Rahayu Kusumastuti, Sriyono  
Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir

### ABSTRAK

**KARAKTERISASI PROSES PENANGKAPAN PENGOTOR N<sub>2</sub> DAN O<sub>2</sub> PADA KARBON AKTIF SISTEM PEMURNIAN RGTT200K.** RGTT200K adalah Reaktor Gas Temperatur Tinggi 200MW<sub>th</sub> Kogenerasi. RGTT200K menggunakan helium sebagai pendingin. Kemurnian helium harus selalu dijaga dari pengotor berbentuk partikel padatan dan gas. Untuk menjamin keselamatan operasional reaktor, RGTT200K dilengkapi dengan sistem pemurnian pendingin reaktor. Ada 4 tahapan proses dalam sistem pemurnian helium untuk mengendalikan kotoran-kotoran yang muncul selama operasi, yaitu penyaringan partikulat padat, oksidasi gas pengotor, penyaringan molekuler, dan adsorpsi kriogenik. Dalam proses pemurnian helium, temperatur dan tekanan mempunyai peran yang sangat menentukan dalam keberhasilan pemurnian. Makalah ini membahas analisis pengaruh tekanan dan temperatur terhadap proses penyaringan gas pengotor dengan Karbon Aktif. Unit operasi Karbon Aktif dimodelkan dengan software Super Pro Designer. Hasil analisis menunjukkan bahwa kenaikan temperatur dari: -200°C hingga 0°C menurunkan kapasitas serap Karbon Aktif terhadap O<sub>2</sub> dari 0,000103 g/L hingga 0,000033 g/L. Sedangkan untuk pengotor N<sub>2</sub> dengan kenaikan temperatur yang sama menurunkan kapasitas serap Karbon Aktif dari 0,00009 g/L hingga 0,000029 g/L. Hubungan temperatur dengan jumlah O<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub> yang tertangkap oleh Karbon Aktif ditunjukkan oleh persamaan linier yaitu:  $Y = -3.10^{(-7)}X + 2.10^{(-5)}$ . Kenaikan tekanan dari 5 bar hingga 50 bar meningkatkan kapasitas serap Karbon Aktif terhadap O<sub>2</sub> dari 0,000048 g/L hingga 0,000463 g/L. Hubungan tekanan dengan jumlah O<sub>2</sub> yang tertangkap ditunjukkan oleh persamaan linier:  $Y = -9.10^{(-6)}X + 2.10^{(-5)}$ . Demikian pula pada kenaikan tekanan yang sama kapasitas serap terhadap N<sub>2</sub> meningkat dari 0,000043 g/L menjadi 0,0000405 g/L. Hubungan tekanan dengan jumlah N<sub>2</sub> yang tertangkap oleh Karbon Aktif ditunjukkan oleh persamaan linier  $Y = -8.10^{(-6)}X + 2.10^{(-5)}$ .

**Kata kunci :** karakterisasi, kriogenik, karbon aktif, pendingin, RGTT200K

### ABSTRACT

**THE CHARACTERIZATION OF CAPTURE PROCESS OF O<sub>2</sub> AND N<sub>2</sub> IMPURITIES ON ACTIVE CARBON. PURIFICATION SYSTEM.** RGTT200K is a 200 MW<sub>th</sub> high-temperature gas-cooled reactors cogeneration. RGTT200K uses helium as reactor coolant. The purity of helium should be maintained from gas impurities and particulate. For the safe operation, RGTT200K equipped with reactor coolant purification system. There are 4 stages of the process in the helium purification system for controlling impurities that arise during the operation, the solid particulate filtration, oxidation of gaseous impurities, molecular filtration and absorption cryogenic. In the helium purification process, temperature and pressure have a decisive role in the success of purification. In this paper discussed the analysis of the influence of pressure and temperature on the gas filtering impurities by using Active Carbon. The effect of temperature and pressure in Active Carbon unit operation is modeled by the software Super Pro Designer. The analysis showed that the increase of temperature from -200°C to 0°C, decreased the Active Carbon absorption capacity to O<sub>2</sub> is 0.000103 g/L to 0.000033 g/L and to N<sub>2</sub> is 0.00009 g/L to 0.000029 g/L. The relationship between temperature and the amount of O<sub>2</sub> and N<sub>2</sub> were caught by Activated Carbon is represented by the same equation  $Y = -3.10^{(-7)}X + 2.10^{(-5)}$ . An increase of pressure from 5 bar to 50 bar increases the absorption capacity of O<sub>2</sub> from 0.000048 g/L to 0.000463 g/L. The relationship between pressure and the amount of O<sub>2</sub> that caught in Active Carbon is indicated by the linear equation:  $Y = -9.10^{(-6)}X + 2.10^{(-5)}$ . Similarly, at the same pressure rise of N<sub>2</sub> sorption capacity increased from 0.000043 g/L to 0.0000405 g/L. The relationship between pressure and the amount of N<sub>2</sub> that caught in Active Carbon indicated by the linear equation  $Y = -8.10^{(-6)}X + 2.10^{(-5)}$ .

**Keywords:** characterization, cryogenic, Active Carbon, RGTT200K

## PENDAHULUAN

RGTT200K adalah reaktor berpendingin gas temperatur tinggi yang mempunyai potensi besar untuk dikembangkan di masa yang akan datang. Reaktor ini secara khusus dikembangkan dan didesain PTRKN-BATAN dalam rangka memenuhi kebutuhan energi listrik di Indonesia. 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*)<sup>[1]</sup>.

Media pendingin primer pada RGTT200K menggunakan gas helium. Helium selain sebagai pendingin primer juga berfungsi sebagai *barrier* keselamatan ke enam (*barrier* keselamatan tersebut adalah : 1. *meat* kernel, 2. *pyrolitic carbon*, 3. *silicon carbide*, 4. *pyrolitic carbon*, 5. *pebble*, dan 6. pendingin helium) dalam sistem keselamatan RGTT200K<sup>[2]</sup>. Helium adalah molekul *inert* sehingga tidak mudah berinteraksi dengan material, namun pada kenyataannya selama operasi reaktor, helium akan terkontaminasi oleh berbagai impuritas melalui *air ingress*, *oil ingress* dan *water ingress*. Impuritas ini tentu saja akan selalu terbawa ke dalam sistem primer sehingga kontak dengan material struktur dan komponen reaktor. Pada suhu yang relatif tinggi impuritas ini menjadi agresif terhadap material yang dilewatinya dan bereaksi menimbulkan berbagai kerusakan. Kerusakan inilah yang tidak dikehendaki karena dapat menimbulkan gangguan dalam sistem

keselamatan RGTT200K. Sistem kontrol kimia dan tekanan helium adalah dua subsistem bagian dari HICS (*Helium Inventory Control System*) yang berfungsi untuk mengontrol kandungan gas pengotor dan tekanan dalam pendingin primer RGTT200K.

Pengotor gas helium pada sistem pendingin RGTT200K dapat dibedakan dalam 2 kategori yaitu pengotor berbentuk partikulat padat (berbentuk debu karbon dan radionuklida produk fisi), dan pengotor berbentuk gas<sup>[3]</sup>. Pengotor debu karbon banyak terjadi pada RGTT tipe *pebble* sedangkan pada bentuk prisma relatif sedikit. Hal ini dikarenakan pada bentuk *pebble* probabilitas gesekan antar bahan bakar lebih besar dibandingkan bentuk prisma yang relatif tidak ada (minimal), pengotor berbentuk partikel radionuklida dalam pendingin helium berasal dari produk fisi (terutama Sr, Cs) dari teras yang terbawa aliran pendingin helium. Jumlah dan konsentrasi produk fisi ini sangat bervariasi tergantung pada keandalan matriks bahan bakar dan umur reaktor. Pada prinsipnya bahwa untuk menjamin keselamatan pengoperasian RGTT, maka besar radioaktifitas yang terpancar ke pekerja atau ke lingkungan selalu dipantau dalam rentang batas aman buat pekerja dan masyarakat luas.<sup>[4]</sup>

Pengotor berbentuk gas yang terbawa dalam aliran helium dapat terjadi dari berbagai sumber antara lain : proses *degassing* dari reflektor grafit, menghasilkan pengotor: CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub>; proses *loading* dan *unloading* bahan bakar, menghasilkan pengotor: CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub>; proses *welding* dan penyambungan sistem pemipaan pada saat perawatan, menghasilkan pengotor O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>; proses

*degassing* dari dalam struktur logam, akan menghasilkan pengotor  $O_2$ ,  $H_2O$ ,  $H_2$  dan  $N_2$ ; proses *degassing* berasal dari insulator thermal akan menghasilkan  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ , dan  $N_2$ . Gas-gas pengotor tersebut harus dibersihkan dalam aliran pendingin karena memicu terjadinya proses korosi oksidasi dan karburisasi-dekarburisasi<sup>[5,6]</sup>.

Untuk menjamin bahwa helium bersih dari pengotor, maka di Sistem Pendingin RGTT200K, didesain Sistem Pemurnian Helium (SPH). Dalam sistem ini terdapat 4 tahapan proses pembersihan pengotor yaitu penyaringan dengan filter HEPA, oksidasi dengan oksidator CuO, penangkapan pengotor dengan kolom *Molecular Sieve adsorber*, dan penyerapan dengan kriogenik karbon aktif temperatur sangat rendah. Filter HEPA berfungsi menyaring debu karbon dan radionuklida produk fisi. Kolom oksidasi CuO untuk mengoksidasi gas CO dan  $H_2$  menjadi  $CO_2$  dan  $H_2O$  sehingga mampu diserap pada tahapan berikutnya. Kolom *Molecular Sieve adsorber* berguna untuk menangkap gas  $NO_x$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $CH_4$ , sedangkan kriogenik karbon aktif *adsorber* digunakan untuk menangkap gas  $N_2$  dan  $O_2$  yang masih lolos dari *Molecular Sieve*.

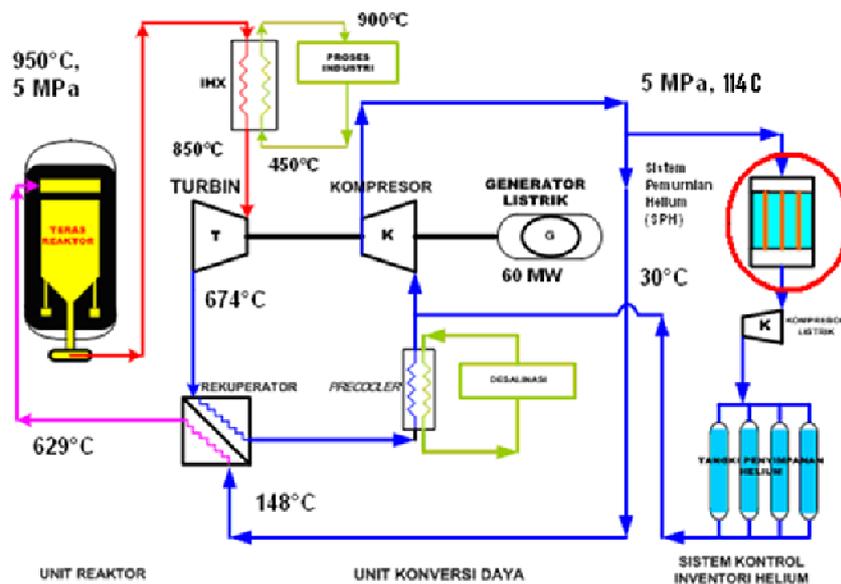
Makalah ini menampilkan hasil analisis proses penangkapan gas pengotor dengan karbon aktif. Metodologi yang digunakan adalah dengan memodelkan Karbon Aktif dengan *software SuperPro Designer* dan mekanisme penangkapannya disimulasikan dan dianalisis. Tujuan pemodelan Karbon Aktif adalah untuk mengetahui pengaruh temperatur dan tekanan terhadap kemampuan Karbon Aktif dalam mey-

erap gas pengotor  $N_2$  dan  $H_2$  yang terbawa dalam aliran pendingin.

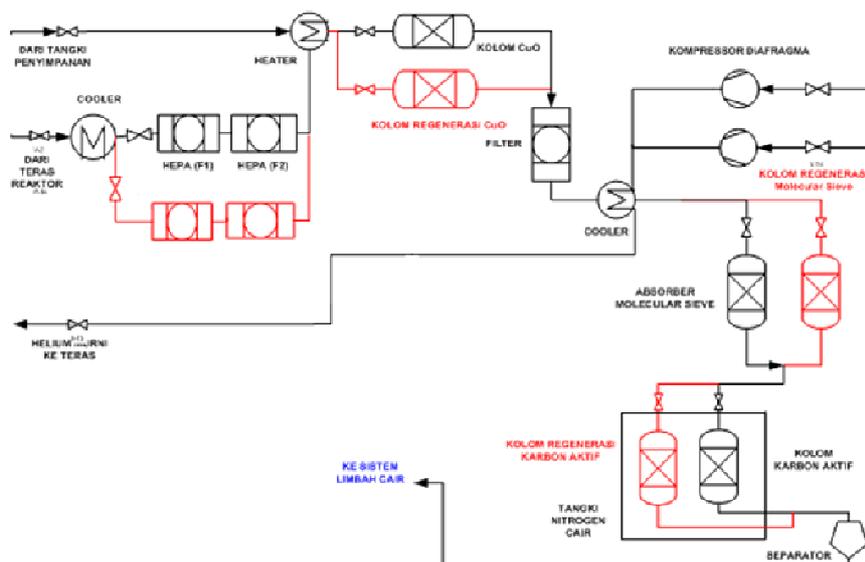
## Sistem Pemurnian Helium Pendingin RGTT200K

RGTT200K menggunakan siklus langsung (*direct cycle*) seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Aliran pendingin helium mengambil panas dari teras reaktor kemudian panasnya dapat dimanfaatkan sebagai pendukung proses produksi hidrogen, pembangkit listrik dan desalinasi. Aliran ini mempunyai laju sebesar 120

kg/detik, dengan temperatur keluar teras  $950^{\circ}\text{C}$  dan tekanan 50 bar. Aliran pendingin helium dimurnikan dengan Sistem Pemurnian Helium (SPH), mengambil sebagian (1%) aliran pendingin utama. Temperatur aliran adalah sekitar  $114^{\circ}\text{C}$  dan tekanan sekitar 50 bar. Konsep Sistem Pemurnian Helium ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Sistem konversi energi RGTT200K dengan Sistem Pemurnian Helium (SPH)



Pada masing-masing komponen sistem kontrol kimia helium dipasang redudansi secara paralel guna kepentingan regenerasi. Rancangan siklus operasi sistem purifikasi helium adalah meliputi proses-proses sebagai berikut :

Filtrasi partikulat padat yang terkandung dalam helium pendingin primer dilakukan sebelum masuk ke reaktor CuO, menggunakan filter HEPA khusus (*High efficiency Particulate Air / HEPA*) pada kondisi suhu 140 °C 5 MPa [7].

Pada dasarnya proses kontrol menggunakan fenomena adsorpsi dengan dua tipe adsorben yang berbeda yaitu penyaring molekuler dan karbon aktif. Namun karena gas H<sub>2</sub> dan CO sulit untuk diserap baik oleh penyaring molekuler ataupun karbon aktif maka proses dikembangkan dengan mengkonversi gas H<sub>2</sub> dan CO menjadi H<sub>2</sub>O dan CO<sub>2</sub> melalui kolom oksidator CuO (reaktor CuO) pada temperatur 350 °C. Dalam proses ini CH<sub>4</sub> juga akan mengalami oksidasi menghasilkan H<sub>2</sub>O dan CO<sub>2</sub> menurut reaksi sbb :



Dengan demikian maka seluruh spesi yang sulit untuk diserap dapat dihilangkan. Jika oksidator jenuh maka dilakukan regenerasi menggunakan oksigen pada suhu 300 °C. Selanjutnya flux gas helium pendingin primer dilewatkan melalui kolom penyaring molekuler yang beroperasi pada temperatur kamar ( 30 ° C) di mana akan terjadi adsorpsi gas CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O. Jika media penyaring molekuler jenuh maka

dilakukan regenerasi dengan memanaskan media penyaring molekuler pada temperatur 250 °C dan dibawah tekanan 10 -20 kPa.

Proses kontrol kimia selanjutnya adalah dilakukan adsorpsi pada kondisi kriogenik (temperatur sangat rendah -180 °C) menggunakan karbon aktif. Kondisi ini dimaksudkan untuk meningkatkan kapasitas serapan, di mana pada kondisi ini adsorpsi sangat efektif. Namun dalam proses ini tidak diperbolehkan ada air karena air akan membeku dan menutup kolom. Dalam proses yang terakhir ini (kondisi kriogenik) dimaksudkan untuk menyerap oksigen (O<sub>2</sub>), Nitrogen (N<sub>2</sub>), dan seluruh spesi gas sisa yang tidak terserap oleh penyaring molekuler. Regenerasi karbon aktif dilakukan dengan memanaskan karbon aktif jenuh pada temperatur 150 °C di bawah tekanan 10 – 20 kPa.

Dengan pertimbangan bahwa proses operasi purifikasi tersebut berada pada berbagai kondisi temperatur yang berbeda-beda, maka Sistem Pemurnian Helium yang tersusun oleh berbagai penukar panas serta ekonomiser perlu diatur konfigurasi sedemikian sehingga dapat meminimalkan biaya operasi sistem.

### Proses Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses pengikatan bahan pada permukaan sorben padat dengan cara pelekatan, di mana adsorpsi memisahkan bahan dari campuran gas atau cair, bahan yang harus dipisahkan ditarik oleh permukaan tersebut. Kinetika adsorpsi menyatakan adanya proses penyerapan suatu zat padat karena adanya gaya tarik atom atau molekul pada permukaan zat padat. Molekul-molekul pada permukaan zat padat atau zat cair, mempunyai gaya tarik kea

rah dalam, karena tidak ada gaya-gaya lain yang mengimbangi. Adanya gaya-gaya ini menyebabkan zat padat dan zat cair, mempunyai gaya adsorpsi. Peristiwa adsorpsi disebabkan oleh gaya tarik molekul-molekul di permukaan adsorben.

### Karakteristika Gas Nitrogen ( $N_2$ )

Dalam molekul nitrogen ikatan yang terbentuk adalah ikatan kovalen rangkap tiga

karena terdapat tiga pasang elektron yang akan membentuk ikatan. Ikatan rangkap tiga nitrogen sangat kuat sehingga  $N_2$  sangat stabil di udara. Dengan ikatan yang berimbang menyebabkan molekul  $N_2$  tidak membentuk momen *dipole* sehingga bersifat non polar. Karakteristika gas Nitrogen ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Karakteristika Fisika Nitrogen ( $N_2$ )**

Fase	: Gas
Titik lebur	: - 210,00°C,
Titik didih	: - 195.79 °C
Titik Tripel	: 63,1526 K(-210°C),12,53 kPa
Titik Kritis	: 126,19 K, 3,3978 MPa
Panas lebur ( $N_2$ )	: 0,72 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
Panas penguapan ( $N_2$ )	: 5,56 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
Kapasitas panas molar: ( $N_2$ )	: 29,124 $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
Kerapatan pada 0 °C, 101,325 kPa	: 1,251 g/l
Kerapatan cairan pada titik didih	: 0,808 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$

### Karakteristika Gas Oksigen ( $O_2$ )

Pada suhu dan tekanan standar, oksigen adalah gas tidak berwarna, tidak berbau dengan rumus molekul  $O_2$ , di mana dua atom oksigen secara kimiawi terikat satu sama lain dengan konfigurasi elektron triplet spin. Atom-atom oksigen membentuk ikatan kovalen rangkap

karena melibatkan pemakaian bersama lebih dari satu pasang elektron. Pada ikatan kovalen rangkap dalam oksigen tidak terdapat momen dipol yang kuat sehingga oksigen bersifat non polar. Karakteristika gas Oksigen ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 2. Karakteristika Oksigen ( $O_2$ )**

Fase	: Gas
Titik lebur	: -218,79 °C,
Titik didih	: - 182,95 °C
Titik Tripel	: 63,1526 K (-210°C), 12,53 kPa
Titik Kritis	: 154,59 K, 5,043 MPa
Panas lebur ( $O_2$ )	: 0,444 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
Panas penguapan ( $O_2$ )	: 6,82 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
Kapasitas panas molar: ( $O_2$ )	: 29,378 $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
Kerapatan pada 0 °C, 101.325 kPa	: 1,429 g/L
Kerapatan cairan pada titik didih	: 1,141 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$

### Adsorpsi dengan Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan senyawa karbon amorf dan berpori yang mengandung 85-95% karbon yang dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon (batubara, kulit kelapa dan sebagainya) atau dari karbon yang diperlakukan dengan cara khusus baik aktivasi kimia maupun fisika untuk mendapatkan permukaan yang lebih luas. Karbon aktif dapat mengadsorpsi gas dan senyawa kimia tertentu atau sifat adsorpsinya selektif tergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaan. Daya serap karbon aktif sangat besar, yaitu 25-1000% terhadap berat karbon aktif. Karena hal tersebut maka karbon aktif banyak digunakan oleh kalangan industry.

Dalam satu gram karbon aktif, pada umumnya memiliki luas permukaan 500-1500

m<sup>2</sup>, sehingga sangat efektif dalam menangkap partikel-partikel yang sangat halus berukuran 0,01-0,0000001 mm. Karbon aktif bersifat sangat aktif dan akan menyerap apa saja yang kontak dengan karbon tersebut. Dalam waktu 60 jam biasanya karbon aktif tersebut menjadi jenuh dan tidak aktif lagi. Oleh karena itu biasanya karbon aktif dikemas dalam kemasan yang kedap udara.

Pengertian karbon aktif, karbon aktif adalah karbon yang sudah diaktifkan sehingga pori-porinya lebih terbuka dan permukaannya menjadi lebih luas dengan demikian daya adsorpsinya menjadi lebih besar. Karbon aktif dibuat dengan proses pirolisis bahan dasar yang dilakukan pada temperatur 800-1000 °C. Proses aktivasi bertujuan untuk memperbesar pori karbon. Gambar 3 menunjukkan pori karbon aktif.



Gambar 3. Serbuk dan pori-pori Karbon Aktif<sup>[8]</sup>

Karbon aktif merupakan salah satu adsorben yang efektif digunakan dalam proses adsorpsi. kemampuan karbon aktif dalam mengadsorpsi disebabkan beberapa faktor, diantaranya adalah sifat fisiknya yang berhubungan dengan jumlah dan ukuran pori yang dapat diisi oleh adsorbat. Sifat kimia karbon aktif, gugus pengaktif pada permukaan karbon aktif dapat

berinteraksi secara kimiawi dengan molekul organik. Jenis adsorbat, adsorbat yang mudah berikatan dengan gugus pengaktif adalah adsorbat yang bersifat nonpolar, yaitu bukan senyawa air atau senyawa yang bersifat hidrofobik. Suhu air, proses adsorpsi akan bertambah besar apabila suhu air semakin rendah, sebab pada keadaan tersebut umumnya kelarutan

molekul akan berkurang sehingga akan semakin banyak molekul yang teradsorpsi. Waktu kontak, semakin lama waktu kontak antara karbon aktif dengan adsorbat maka semakin banyak adsorbat yang mengisi pori karbon aktif. luas permukaan karbon aktif sangat berpengaruh pada proses adsorpsi, semakin besar luas permukaan karbon aktif semakin banyak adsorbat yang teradsorpsi. Konsentrasi, semakin besar konsentrasi dan ukuran adsorbat maka pori karbon aktif akan lebih cepat terjenuhkan.

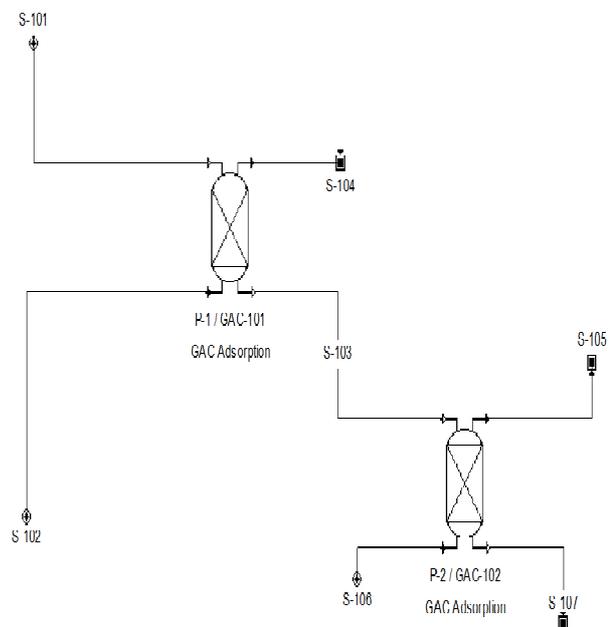
### Software SuperPro Designer

Software Super Pro Designer dibuat dan didistribusikan oleh Intelligen Inc. Amerika Serikat. Perangkat lunak ini dapat digunakan untuk melakukan analisis dan pemodelan pada berbagai proses industri seperti pabrik kimia, proses biokimia, farmasi, rekayasa lingkungan dll. Software SuperPro Designer dapat melakukan perhitungan kesetimbangan energy dan massa pada berbagai unit operasi. Selain itu software ini dapat pula digunakan untuk melakukan analisis biaya dan manfaat (*cost and benefit analysis*) terhadap kelayakan suatu proses/pabrik yang akan dibangun. Software SuperPro Designer juga handal apabila digunakan untuk melakukan analisa mengenai dampak lingkungan (AMDAL)<sup>[9]</sup>.

### METODOLOGI

Proses adsorpsi dengan Karbon Aktif dimodelkan dengan perangkat lunak SuperPro Designer<sup>[9]</sup>. Pada pemodelan ini, unit operasi GA (*Gas Adsorption*) dibuat dengan 2 unit, satu unit untuk menjerab/menangkap pengotor O<sub>2</sub> sedangkan unit ke 2 digunakan untuk menjerab pengotor N<sub>2</sub> dari aliran pendingin helium. Hasil

pemodelan ditunjukkan pada Gambar 4. Aliran S-101 adalah merupakan aliran masuk dengan konsentrasi 40 ppmV gas N<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub>. Nilai ini diasumsikan sepuluh kali nilai batas maksimum konsentrasi pengotor yang masih diijinkan dalam pendingin RGTT200K. Pada unit *Gas Adsorption* yang pertama (GAC-101), pengotor O<sub>2</sub> diserap, dengan kapasitas *binding* 80%, sedangkan pengotor N<sub>2</sub> akan diserap pada unit Gas Adsorption yang kedua (GAC-102) dengan kapasitas binding sebesar 70%. Sisa gas O<sub>2</sub> diamati pada aliran S-103 (keluaran GAC-101), sedangkan sisa gas N<sub>2</sub> diamati pada aliran S-107 (keluaran GAC-102). Aliran S-102 dan S-106 adalah aliran helium murni sebagai regenerasi, dengan tekanan (50 bar) temperatur (114°C) sesuai aliran utama. Regenerasi dilakukan karena setelah rentang waktu tertentu maka Karbon Aktif akan mengalami kejenuhan.



Gambar 4. Pemodelan unit adsorben Karbon Aktif

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Model unit operasi kriogenik karbon aktif disimulasikan dengan memberikan variasi atau perbedaan temperatur ke dalam unit operasi karbon aktif. Temperatur divariasikan mulai dari  $-200^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $0^{\circ}\text{C}$ . Konsentrasi pengotor  $\text{O}_2$  dan  $\text{N}_2$  yang masuk ke karbon aktif diasumsikan 40 ppmV atau setara dengan 0,0004% dari total fraksi dalam aliran pendingin, nilai 40 ppmV ini diambil berdasarkan nilai yang dimungkinkan terjadi pada pengoperasian RGTT200K. Ketika temperatur input diturunkan maka konsentrasi ini akan berubah,

seperti ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4. Karbon aktif selanjutnya akan menangkap  $\text{O}_2$  yang terdapat dalam aliran pendingin. Konsentrasi  $\text{O}_2$  yang terserap pada karbon aktif dan yang tersisa dalam aliran seperti ditunjukkan dalam kolom 3 dan kolom 4 pada Tabel 3. Hasil analisis menunjukkan bahwa kenaikan temperatur dari  $-200^{\circ}\text{C}$  hingga  $0^{\circ}\text{C}$  menurunkan kapasitas serap  $\text{O}_2$  dari 0,000103 g/L hingga 0,000033 g/L. Sedangkan untuk pengotor  $\text{N}_2$  kapasitas serap dengan kenaikan temperatur yang sama menurunkan kapasitas serap dari 0,00009 g/L hingga 0,000029 g/L

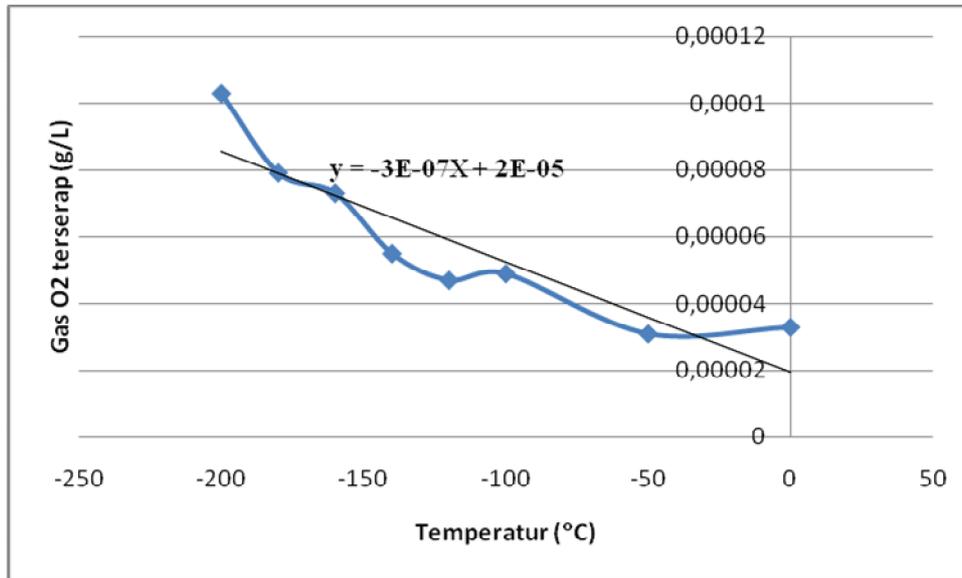
**Tabel 3. Hasil simulasi proses adsorpsi Karbon Aktif terhadap pengotor  $\text{O}_2$  dengan kapasitas binding 80% pada berbagai temperatur**

Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )	Konsentrasi $\text{O}_2$ masuk Karbon Aktif (g/L)	Konsentrasi $\text{O}_2$ terserap (g/L)	Konsentrasi $\text{O}_2$ tersisa (g/L)
-200	0,00013	0,000103	0,000027
-180	0,0001	0,000079	0,000021
-160	0,00009	0,000073	0,000017
-140	0,00007	0,000055	0,000015
-120	0,00006	0,000047	0,000013
-100	0,00006	0,000049	0,000011
-50	0,00004	0,000031	0,000009
0	0,00004	0,000033	0,000007

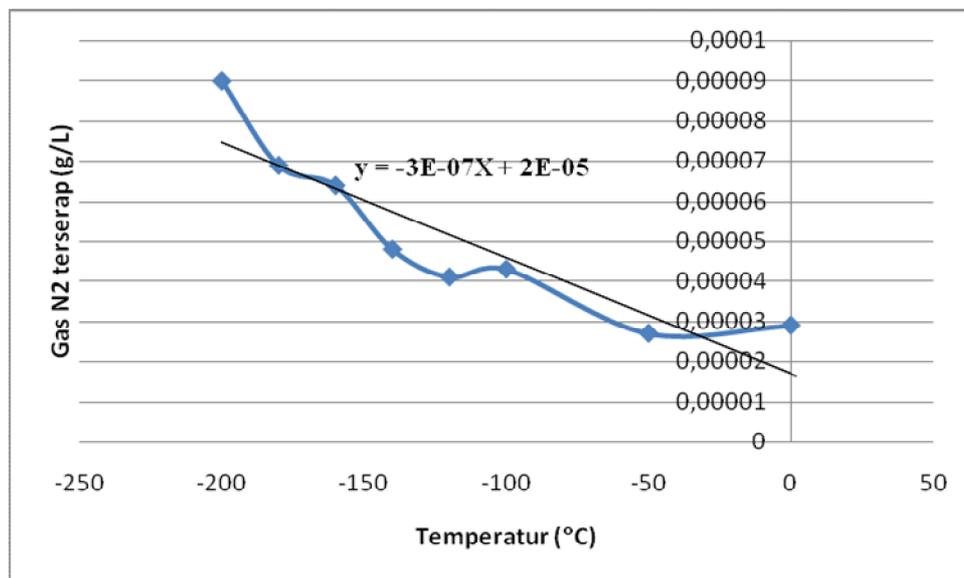
**Tabel 4. Hasil simulasi proses adsorpsi Karbon Aktif terhadap pengotor  $\text{N}_2$  dengan kapasitas binding 70% pada berbagai temperatur**

Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )	Konsentrasi $\text{N}_2$ masuk Karbon Aktif (g/L)	Konsentrasi $\text{N}_2$ terserap (g/L)	Konsentrasi $\text{N}_2$ tersisa (g/L)
-200	0,00013	0,00009	0,00004
-180	0,0001	0,000069	0,000031
-160	0,00009	0,000064	0,000026
-140	0,00007	0,000048	0,000022
-120	0,00006	0,000041	0,000019
-100	0,00006	0,000043	0,000017
-50	0,00004	0,000027	0,000013
0	0,00004	0,000029	0,000011

Hubungan temperatur proses dengan jumlah  $O_2$  dan  $N_2$  yang tertangkap ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6. Semakin rendah temperatur proses maka semakin besar jumlah pengotor yang tertangkap, hubungan temperatur dengan jumlah  $O_2$  dan  $N_2$  yang tertangkap ditunjukkan oleh persamaan linier yang sama yaitu :  $Y = -3.10^{(-7)}X + 2.10^{(-5)}$ .



Gambar 5. Hubungan temperatur proses adsorpsi dengan jumlah pengotor  $O_2$  yang terserap dalam kriogenik karbon aktif



Gambar 6. Hubungan temperatur proses adsorpsi dengan jumlah pengotor  $N_2$  yang terserap dalam kriogenik karbon aktif

Tekanan awal aliran masuk Sistem Pemurnian Helium (SPH) adalah 50 bar. Aliran ini akan dimurnikan melalui proses filtrasi, kolom oksidasi CuO, unit *Molecular Sieve* dan unit kriogenik Karbon Aktif. Pada setiap komponen/unit operasi yang akan dilalui oleh gas pendingin, tekanan akan disesuaikan sesuai kondisi optimal proses pengambilan pengotor dengan menggunakan *Expander/Compressor*.

Aliran input unit kriogenik Karbon Aktif mempunyai tekanan 10 bar, yang merupakan aliran keluaran dari unit *Molecular Sieve*. Tekanan ini dapat ditingkatkan atau diturunkan

sesuai dengan kebutuhan unit operasi kriogenik Karbon Aktif. Hasil simulasi perubahan tekanan terhadap jumlah O<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub> yang diserap oleh Karbon Aktif pada temperatur -180°C (sesuai desain sistem pemurnian pendingin RGTT200K khususnya pada unit kriogenik karbon aktif), ditunjukkan oleh Tabel 3 dan Tabel 4. Konsentrasi mula-mula O<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub> adalah 40 ppmV atau setara dengan 0,0004%. Setelah melalui perubahan tekanan, maka konsentrasi ini akan berkurang seperti ditunjukkan oleh kolom ke 2 pada Tabel 3 dan Tabel 4 tersebut.

**Tabel 5. Hasil simulasi proses adsorpsi Karbon Aktif terhadap pengotor O<sub>2</sub> dengan kapasitas binding 80% pada berbagai tekanan**

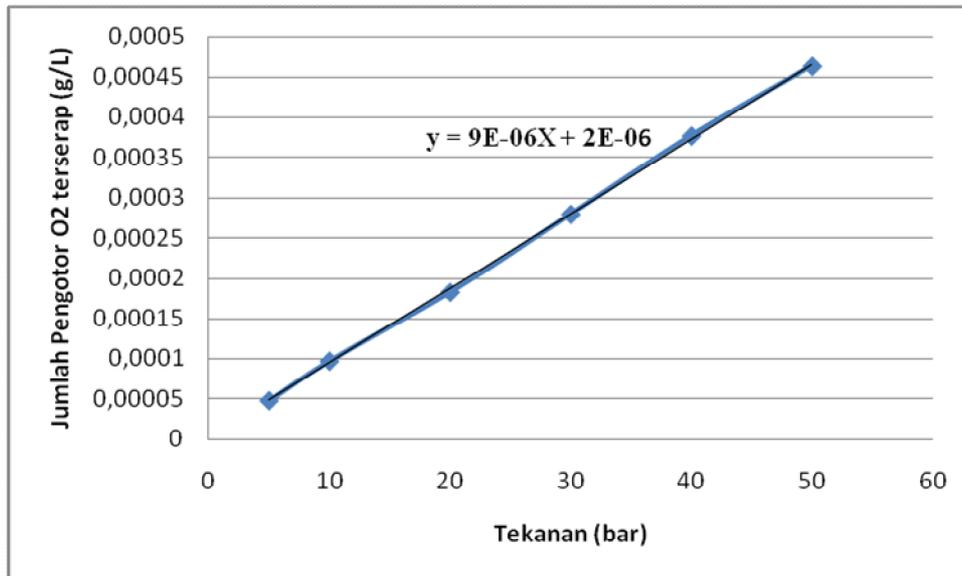
Tekanan (bar)	Konsentrasi O <sub>2</sub> masuk Karbon Aktif (g/L)	Konsentrasi O <sub>2</sub> terserap (g/L)	Konsentrasi O <sub>2</sub> \ Tersisa (g/L)
5	0,00006	0,000048	0,000012
10	0,00012	0,000097	0,000023
20	0,00023	0,000183	0,000047
30	0,00035	0,00028	0,00007
40	0,00047	0,000377	0,000093
50	0,00058	0,000463	0,000117

**Tabel 6. Hasil simulasi proses adsorpsi Karbon Aktif terhadap pengotor N<sub>2</sub> dengan kapasitas binding 70% pada berbagai tekanan**

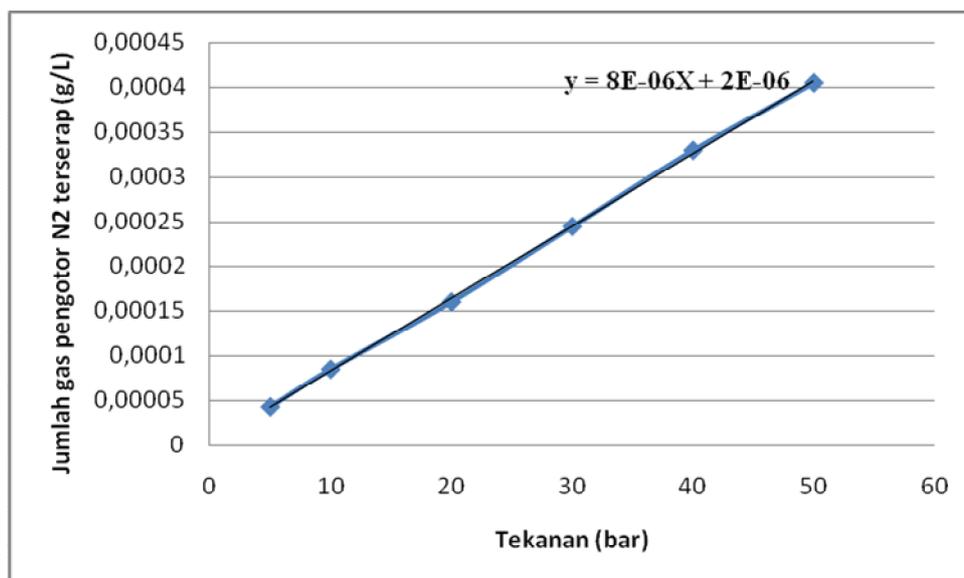
Tekanan (bar)	Konsentrasi N <sub>2</sub> masuk Karbon Aktif (g/L)	Konsentrasi N <sub>2</sub> terserap (g/L)	Konsentrasi O <sub>2</sub> tersisa (g/L)
5	0,00006	0,000043	0,000017
10	0,00012	0,000085	0,000035
20	0,00023	0,00016	0,00007
30	0,00035	0,000245	0,000105
40	0,00047	0,00033	0,00014
50	0,00058	0,000405	0,000175

Pada simulasi divariasikan kenaikan tekanan dari 5 bar hingga 50 bar, pada kenaikan tekanan ini meningkatkan kapasitas serap  $O_2$  dari 0.000048 g/L hingga 0.000463 g/L. Hubungan tekanan dengan jumlah  $O_2$  yang tertangkap ditunjukkan oleh persamaan linier :  $Y = -9.10^{(-6)}X + 2.10^{(-5)}$  seperti ditunjukkan pada

Gambar 7. Demikian pula pada kenaikan tekanan yang sama terhadap kapasitas serap  $N_2$  meningkat dari 0.000043 g/L menjadi 0.0000405 g/L. Hubungan tekanan dengan jumlah  $N_2$  yang tertangkap oleh karbon aktif ditunjukkan oleh persamaan linier  $Y = -8.10^{(-6)}X + 2.10^{(-5)}$  seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 7. Hubungan tekanan proses adsorpsi dengan jumlah pengotor  $O_2$  yang terserap dalam kriogenik Karbon Aktif



Gambar 8. Hubungan tekanan proses adsorpsi dengan jumlah pengotor  $N_2$  yang terserap dalam kriogenik Karbon Aktif

Adsorben karbon aktif mempunyai karakteristik yang cocok untuk diaplikasikan dalam sistem pemisahan gas pengotor pendingin helium pada temperatur sangat rendah (<-180°C). Semakin rendah temperatur maka kapasitas adsorpsi semakin tinggi. Untuk adsorpsi pengotor dalam jumlah (kuantitas) yang sedikit dalam aliran pendingin akan memberikan penggunaan adsorben yang lebih lama.

Tingkat kejenuhan adsorben Karbon Aktif dapat diamati dari efisiensi adsorpsi yang menurun atau dari kandungan gas pengotor yang lolos dari adsorben meningkat. Pada keadaan demikian karbon aktif perlu dilakukan regenerasi. Regenerasi dilakukan dengan memanaskan Karbon Aktif pada temperatur >100 °C. Pada umumnya, 2 buah kolom dibuat, satu kolom untuk regenerasi dan satu kolom lain beroperasi. Pada saat satu kolom mengalami kejenuhan, maka aliran gas masuk ditutup, dipindah ke kolom yang baru/ sudah diregenerasi, demikian seterusnya.

## KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi, diketahui bahwa semakin tinggi tekanan dan temperatur maka gas pengotor yang tertangkap dalam Karbon Aktif semakin besar pula. Hasil analisis menunjukkan bahwa kenaikan temperatur dari -200°C hingga 0°C menurunkan kapasitas serap O<sub>2</sub> dari 0.000103 g/L hingga 0.000033 g/L. Sedangkan untuk pengotor N<sub>2</sub> kapasitas serap dengan kenaikan temperatur yang sama menurunkan kapasitas serap dari 0.00009 g/L hingga 0.000029 g/L. Semakin rendah temperatur proses maka semakin besar jumlah pengotor yang tertang-

kap, hubungan temperatur dengan jumlah O<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub> yang tertangkap ditunjukkan oleh persamaan linier yang sama yaitu :  $Y = -3.10^{(-7)}X + 2.10^{(-5)}$ .

Kenaikan tekanan dari 5 bar hingga 50 bar meningkatkan kapasitas serap O<sub>2</sub> dari 0.000048 g/L hingga 0.000463 g/L. Hubungan tekanan dengan jumlah O<sub>2</sub> yang tertangkap ditunjukkan oleh persamaan linier :  $Y = -9.10^{(-6)}X + 2.10^{(-5)}$ .

Demikian pula pada kenaikan tekanan yang sama kapasitas serap N<sub>2</sub> meningkat dari 0.000043 g/L menjadi 0.0000405 g/L. Hubungan tekanan dengan jumlah N<sub>2</sub> yang tertangkap oleh karbon aktif ditunjukkan oleh persamaan linier  $Y = -8.10^{(-6)}X + 2.10^{(-5)}$ . Proses regenerasi dilakukan terhadap karbon aktif apabila telah mengalami kejenuhan. Regenerasi dilakukan dengan memanaskan Karbon Aktif pada temperatur >100 °C. Gas yang digunakan adalah helium murni dengan tekanan dan temperature yang lebih besar dari aliran input.

## DAFTAR PUSTAKA

1. DHANDHANG PURWADI, M., "Desain Konseptual Reaktor Daya Maju Kogenerasi Berbasis RGTT", Prosiding Seminar TKPFN-16, PTRKN, BATAN-FMIPA, ITS, Surabaya, 28 Juli 2010.
2. SUMIJANTO, "Kajian Dampak Gas Pengotor Pendingin Primer Terhadap Integritas Material Struktur RGTT", Majalah Ilmiah Teknologi Keselamatan Nuklir Sigma Epsilon, Volume 14 Nomor 2, Mei 2010.
3. ITJEU KARLIANA, dkk., "Konsep Awal Model Pemisahan Gas Pengotor Pendingin Primer RGTT", Prosiding Seminar TKPFN

- 17, PTRKN, BATAN- FMIPA, UNY, Yogyakarta, 1 Oktober 2011.
4. KACZOROWSKI.D, CHAOVOLOFF.J, "Material Degradation in High Temperature, The AREVA-NP Corrosion Loop" Proceedings HTR 2006, 3<sup>rd</sup> International Topical Meeting on High Temperature Reactor Technology, Johannesburg, South Africa, 2006.
  5. SUMIJANTO dkk., "Analisis Aplikasi Energi Termal RGTT200K untuk Produksi Hidrogen PLTN dan Desalinasi", Prosiding Seminar Nasional ke -16 tentang Teknologi Keselamatan PLTN dan Fasilitas Nuklir , PTRKN, BATAN- FMIPA, ITS, Surabaya, 28 Juli 2010.
  6. SRIYONO, dkk "Desain Konseptual Sistem Pemurnian Helium Pada RGTT200K Untuk Menjamin Keselamatan Pengoperasiannya", Seminar Keselamatan Nuklir, Bapeten, 28 Juni 2011.
  7. GASTALDI,O,et all "Helium Purification" Proceedings HTR 2006, 3<sup>rd</sup> International Topical Meeting on High Temperature Reactor Technology, Johannesburg, South Africa, 2006.
  8. YOSSI RESPA dkk., "Filtrasi dan Aplikasinya dalam Industri", Fak. Farmasi, Universitas Gadjah Mada, 2010
  9. INTELLIGEN. Inc., "SuperPro Designer User's Guide", Morse Avenue, USA, 2012