

ANALISIS PRESSURE SWING ADSORPTION PADA PROSES PENYERAPAN GAS PENGOTOR OLEH MOLECULAR SIEVE PADA SISTEM PEMURNIAN HELIUM RGTT200K

Sriyono, Itjeu Karliana, Sumijanto, Arifal, Rahayu Kusumastuti
Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir (PTRKN)-BATAN,
Gedung 80, Puspipitek, Serpong, Tangsel, BANTEN, 15310, Telp.: 021-7560912,
Fax.: 021-7560913, Email : sriyono@batan.go.id

ABSTRAK

ANALISIS PRESSURE SWING ADSORPTION PADA PROSES PENYERAPAN GAS PENGOTOR OLEH MOLECULAR SIEVE PADA SISTEM PEMURNIAN HELIUM RGTT200K. RGTT200K adalah reaktor yang didesain menggunakan gas helium sebagai pendingin. Sistem pendingin ini harus selalu dijaga kemurniannya dari berbagai gas pengotor dengan menggunakan Sistem Pemurnian Helium (SPH). Gas pengotor terjadi akibat adanya water atau air *ingress* yang masuk ke sistem pendingin dan bereaksi dengan grafit (C). Gas-gas pengotor yang terjadi adalah CH₄, CO, CO₂, H₂O, H₂, O₂, dan N₂. Adanya gas pengotor di dalam pendingin memicu terjadinya oksidasi ataupun karburisasi-dekarburisasi oleh karenanya konsentrasinya dalam pendingin harus dijaga serendah mungkin. Salah satu tahapan proses dalam SPH adalah penyerapan pengotor oleh *Molecular Sieve* terutama untuk gas CO₂ dan H₂O. Makalah ini membahas pengaruh tekanan terhadap kemampuan daya serap *Molecular Sieve* yang dikenal dengan *pressure swing adsorption* (PSA). Analisis bertujuan untuk mengetahui tekanan paling efektif yang akan dioperasikan pada kolom *Molecular Sieve*. *Molecular Sieve* dimodelkan dengan *software* ChemCAD dalam bentuk 2 unit operasi adsorpsi, satu unit untuk proses penyerapan (sorpsi), dan yang lainnya *standby* untuk proses regenerasi (desorpsi). Metode adsorpsi yang digunakan dalam analisis adalah metode Langmuir. Model yang telah dibuat disimulasikan dengan memberikan masukan: laju alir total 1,2 kg/sec, temperatur 30°C, porositas 0,7, tinggi bed diasumsikan 20 m, diameter pori-pori 5 Å, dan jumlah pengotor CO₂ dan H₂O masing-masing 1 g/s. Tekanan divariasikan dari 5 sampai dengan 50 bar, perubahan daya serap *Molecular Sieve* dianalisis. Hasil analisis menunjukkan bahwa dengan adanya variasi kenaikan tekanan dari 5 sampai 50 bar, menunjukkan adanya kenaikan daya serap *Molecular Sieve* terhadap CO₂ sebesar 15,89867% dan H₂O sebesar 15,79296%. Pada desain SPH, aliran input ke *Molecular Sieve* harus dikompresikan sampai dengan 50 bar untuk mendapatkan daya serap tinggi terhadap proses penyerapan pengotor CO₂ dan H₂O.

Kata kunci : *pressure swing adsorption*, *Molecular Sieve*, gas pengotor, RGTT200K

ABSTRACT

PRESSURE SWING ADSORPTION ANALYSIS OF IMPURITIES GAS CAPTURE PROCESS BY MOLECULAR SIEVE IN RGTT200K HELIUM PURIFICATION SYSTEM. The purity of RGTT200K helium coolant should be maintained from various impurities gas due to water/air ingress that reacts with the reflector graphite (C). These impurities are CH₄, CO, CO₂, H₂O, H₂, O₂, and N₂ which can initiate oxidation corrosion or carburization-decarburization so the concentration should be maintain to be a minimum. The helium coolant is purified by Helium Purification System (HPS). One of the stages in HPS is adsorption by Molecular Sieve mainly for CO₂ and H₂O molecules. This paper discusses the influence of pressure, known as pressure swing adsorption (PSA) on the adsorption ability of the Molecular Sieve aims to determine the most effective pressure that will be operated on Molecular Sieve column. Molecular Sieve is modeled with CHEMCAD computer code in two columns, one column for the adsorption process, and the other for the regeneration (desorption). Adsorption methods used in the analysis is the Langmuir method. Models that have been developed simulated by providing input: total flow rate of 1.2 kg/sec, 30 °C, porosity 0.7, bed height 20 m, pore diameter 5 Å, and the amount of O₂ and N₂ impurities respective each 1 g/s. The pressure varies between 5 to 50 bar, and the Molecular Sieve adsorption capability is analyzed. Simulation results show that with the increase in pressure of 5 to 50 bar, indicating an increase in Molecular Sieve absorption capacity to CO₂ is 15.89867% and to H₂O is 15.79296%. In the SPH design, the input stream to the Molecular Sieve must be compressed until 50 bar to obtain high absorption capability of the CO₂ and H₂O.

Keywords: *pressure swing adsorption*, *Molecular Sieve*, gas impurities, RGTT200K

PENDAHULUAN

RGTT200K (Reaktor Gas Temperatur Tinggi 200 MW_{th} Kogenerasi) adalah reaktor berpendingin gas temperatur tinggi yang dikembangkan dan didesain oleh PTRKN-BATAN dalam rangka memenuhi kebutuhan energi di Indonesia di masa yang akan datang. RGTT200K menggunakan gas helium sebagai pendingin karena mempunyai banyak keunggulan, seperti bersifat *inert* (tidak mudah bereaksi dengan gas lain), mempunyai kapasitas panas (*heat capacity*) yang tinggi, dan tampang lintang (*cross section*) neutron rendah[1].

Selama reaktor RGTT200K beroperasi, sistem pendingin helium dimungkinkan terkontaminasi dari berbagai pengotor. Pengotor yang terjadi dalam aliran pendingin dibedakan dalam 2 kategori yaitu pengotor berbentuk partikulat padat (pada umumnya berbentuk debu karbon lepasan dari bahan bakar bola, dan radionuklida produk fisi), dan pengotor berbentuk gas[2]. Pengotor berbentuk gas yang terbawa dalam aliran pendingin helium dapat terjadi dari berbagai sumber. Berdasarkan pengalaman pengoperasian HTGR (*High Temperature Gas Cooled Reactor*) di dunia antara lain : AVR Jerman; *Fort Saint Vrain* Amerika Serikat, dan HTR-10 China, gas-gas pengotor tersebut dapat berasal dari : proses *degassing* reflektor grafit (menghasilkan pengotor CO, CO₂, H₂O, H₂ dan N₂); proses *loading* dan *unloading* bahan bakar (menghasilkan pengotor CO, CO₂, H₂O, H₂ dan CH₄); proses *welding* dan penyambungan sistem pemipaan pada saat perawatan (menghasilkan gas pengotor O₂, N₂); proses *degassing* dari dalam struktur logam (menghasilkan pengotor O₂, H₂O, H₂ dan N₂); proses *degassing insulator thermal* (menghasilkan O₂, CO₂, H₂O, dan N₂). Gas-gas pengotor tersebut akan memicu terjadinya proses korosi oksidasi dan karburisasi-dekarburisasi[3] sehingga harus dibersihkan dalam aliran pendingin.

Untuk menjamin bahwa helium bersih dari pengotor, pada sistem pendingin RGTT200K, didesain sebuah Sistem Pemurnian Helium (SPH). Dalam SPH terdapat 4 tahap proses pembersihan pengotor yaitu pemisahan/penyaringan debu karbon dengan *Cyclone* dan filter HEPA, proses oksidasi dengan oksidator CuO, proses penyerapan pengotor dengan *Molecular Sieve*, dan proses penyerapan dengan kriogenik karbon aktif[4].

Cyclone Separator berfungsi memisahkan terlebih dahulu debu karbon berukuran besar. Filter HEPA berfungsi menyaring debu karbon berukuran kecil dan radionuklida produk fisi. Kolom oksidasi CuO untuk mengoksidasi gas CO dan H₂ menjadi CO₂ dan H₂O sehingga mampu diserap pada tahapan adsorpsi *Molecular Sieve*. Kolom *Molecular Sieve* berguna untuk menyerap gas NO_x, CO₂, H₂O, CH₄, sedangkan kriogenik karbon aktif digunakan untuk menyerap gas N₂ dan O₂ yang masih lolos dari *Molecular Sieve* karena ukurannya sangat kecil.

Makalah ini membahas pengaruh tekanan terhadap proses penyerapan *Molecular Sieve* yang dikenal dengan *pressure swing adsorption* (PSA). *Molecular Sieve* dimodelkan dengan paket program *ChemCAD* dalam 2 kolom/bed, kolom pertama sebagai proses sorpsi pada operasi normal dan kolom kedua sebagai kolom *standby*. Kedua kolom beroperasi secara bergantian, ketika satu kolom beroperasi maka satu kolom yang lain diregenerasi (desorpsi). Desorpsi dilakukan untuk meregenerasi *Molecular Sieve* apabila telah mengalami kejenuhan dengan cara menurunkan tekanan sistem menjadi tekanan atmosfer. Metode penyerapan (sorpsi) pada *Molecular Sieve* yang digunakan adalah metode Langmuir. Tujuan analisis dalam makalah ini adalah untuk mengetahui tekanan paling baik dalam desain kolom *Molecular Sieve* sehingga proses penyerapan pengotor terutama CO₂ dan H₂O menjadi lebih efektif.

TEORI

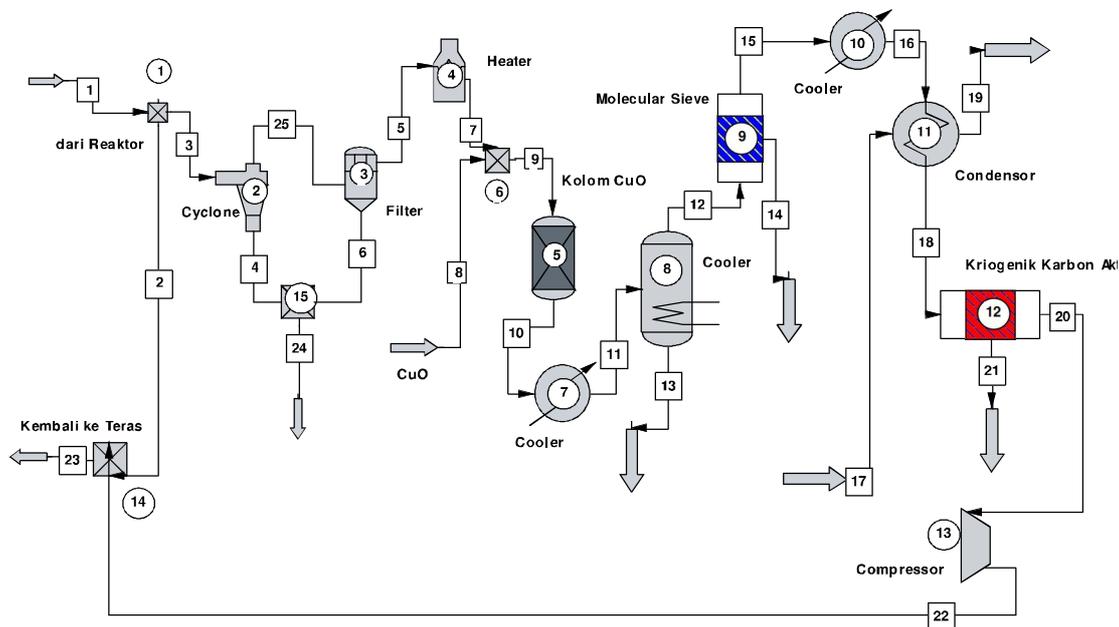
Sistem Pemurnian Helium Pendingin RGTT200K

RGTT200K menggunakan siklus langsung (*direct cycle*), 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°C dan tekanan 50 bar[5]. Aliran pendingin helium dimurnikan dengan Sistem Pemurnian Helium (SPH), mengambil sebagian (1%) aliran pendingin utama. Temperatur aliran adalah sekitar 114°C dan tekanan masuk ke SPH 50 bar. Konsep Sistem Pemurnian Helium ditunjukkan pada Gambar 1[6]. Desain konseptual SPH pada RGTT200K meliputi proses-proses sebagai berikut:

- **Proses Filtrasi Partikulat Padat.**

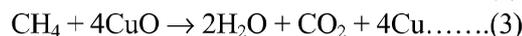
Filtrasi partikulat padat yang terkandung dalam helium pendingin primer dilakukan sebelum masuk ke reaktor CuO, menggunakan filter HEPA khusus (*High Efficiency Particulate Air/HEPA*) pada kondisi temperatur 140°C, dan tekanan 5 MPa[7]. Sebelum aliran masuk ke filter HEPA, maka untuk memisahkan debu berukuran besar dan kecil digunakan *Cyclone Separator*



Gambar 1. Desain Konseptual Sistem Pemurnian Helium RGTT200K[3]

- **Reaktor/kolom Oksidator CuO.**

Karena pengotor gas H₂ dan CO sulit untuk diserap baik oleh penyaring molekuler ataupun karbon aktif maka tahapan selanjutnya adalah mengkonversi gas H₂ dan CO menjadi H₂O dan CO₂ melalui kolom oksidator CuO (reaktor CuO) pada temperatur 350 °C. Dalam proses ini CH₄ juga akan mengalami oksidasi menghasilkan H₂O dan CO₂ berdasarkan 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.

- **Adsorpsi dengan *Molecular Sieve*.**

Setelah proses koversi gas gas H₂ dan CO menjadi H₂O dan CO₂ dilakukan maka selanjutnya gas helium pendingin primer dilewatkan melalui kolom penyaring molekuler (*Molecular Sieve*) yang beroperasi pada temperatur kamar (30°C) dan tekanan tertentu. Pada kolom ini akan terjadi adsorpsi gas CO₂, dan H₂O.

- **Adsorpsi dengan Karbon Aktif pada Kondisi Kriogenik.**

Proses selanjutnya adalah dilakukan adsorpsi pada kondisi kriogenik (temperatur sangat rendah – 180 °C) menggunakan karbon aktif untuk menyerap gas oksigen (O₂), Nitrogen (N₂), dan seluruh spesi gas sisa yang tidak terserap oleh penyaring molekuler. Kondisi temperatur yang sangat rendah bertujuan untuk meningkatkan kapasitas serapan. Namun dalam proses ini tidak diperbolehkan ada air karena air akan membeku dan menutup kolom sehingga sebelum masuk ke kolom kriogenik karbon aktif harus ditambahkan Komponen Kondensator/Separator Uap air. Regenerasi karbon aktif dilakukan dengan memanaskan karbon aktif jenuh pada temperatur dan tekanan tertentu sehingga pengotor yang terikat terdesorpsi kembali.

Dengan pertimbangan bahwa proses operasi purifikasi tersebut berada pada berbagai kondisi temperatur yang berbeda-beda, maka SPH didesain dengan tambahan berbagai komponen seperti : pemanas (*heater*), penukar panas, pendingin (*cooler*), kompresor dan ekonomiser yang diatur konfigurasi sedemikian sehingga dapat mengoptimalkan biaya operasi sistem.

Proses Adsorpsi Langmuir pada Kondisi Isotermal

Proses adsorpsi adalah proses pemisahan di mana komponen tertentu dari suatu fase fluida (*adsorbat*) berpindah ke permukaan zat padat yang menyerap (*adsorben*). Daya adsorpsi merupakan ukuran kemampuan suatu adsorben menarik sejumlah adsorbat. Proses adsorpsi tergantung pada luas spesifik padatan atau luas permukaan adsorben, konsentrasi keseimbangan zat terlarut atau tekanan adsorpsi gas, temperatur pada saat proses berlangsung dan sifat adsorbat atau adsorben itu sendiri. Makin besar luas permukaannya, maka daya adsorpsinya akan makin kuat. Sifat adsorpsi pada permukaan zat padat sangat selektif artinya pada campuran zat hanya satu komponen yang diadsorpsi oleh zat padat tertentu[7]. Berdasarkan sifatnya, jenis adsorpsi terbagi dua yaitu adsorpsi fisik dan kimia. Perbedaan kedua jenis adsorpsi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbedaan adsorpsi fisik dan kimia[7].

Adsorpsi Fisik (<i>Physisorption</i>)	Adsorpsi Kimia (<i>Chemisorption</i>)
Molekul terikat pada adsorben oleh gaya <i>van der Waals</i>	Molekul terikat pada adsorben oleh ikatan kimia
Mempunyai nilai entalpi reaksi –4 sampai –40 kJ/mol	Mempunyai nilai entalpi reaksi –40 sampai –800 kJ/mol
Dapat membentuk lapisan <i>multilayer</i>	Membentuk lapisan <i>monolayer</i>
Adsorpsi hanya terjadi pada suhu di bawah titik didih adsorbat	Adsorpsi dapat terjadi pada suhu tinggi
Jumlah adsorpsi pada permukaan merupakan fungsi adsorbat	Jumlah adsorpsi pada permukaan merupakan karakteristik adsorben dan adsorbat
Tidak melibatkan energi aktivasi tertentu	Melibatkan energi aktivasi tertentu
Bersifat tidak spesifik	Bersifat sangat spesifik

Metode yang digunakan pada proses adsorpsi ada beberapa antara lain : metode *Henry*, metode *Freundlich* dan metode *Langmuir*. Metode adsorpsi *Langmuir* pada kondisi isotermal didasarkan atas beberapa asumsi, yaitu (a) adsorpsi hanya terjadi pada lapisan tunggal (*monolayer*), (b) panas adsorpsi tidak tergantung pada penutupan permukaan, dan (c) seluruh permukaan adsorben bersifat homogen. Persamaan isoterm adsorpsi Langmuir dapat diturunkan secara teoritis dengan menganggap terjadinya kesetimbangan antara molekul-molekul zat yang diadsorpsi pada permukaan adsorben dengan molekul-molekul zat yang tidak teradsorpsi. Persamaan isoterm adsorpsi Langmuir dapat dituliskan sebagai berikut.

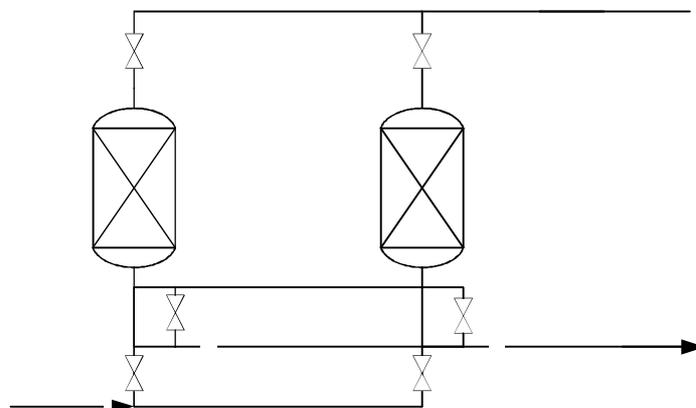
$$y_A^* = \frac{ax_A}{1 + bx_A} \dots\dots\dots (4)$$

dengan a dan b adalah konstanta kesetimbangan Langmuir, y_A^* adalah fraksi mol adsorbat di permukaan adsorben, x_A = fraksi mol adsorbat per massa adsorben.

Pressure Swing Adsorption (PSA)

Pressure swing adsorption adalah proses adsorpsi berdasarkan pada kecenderungan gas untuk tertangkap pada tekanan tinggi dan terdesorpsi pada tekanan yang lebih rendah^[8]. Proses *pressure swing adsorption* (PSA) berguna untuk memurnikan produk yang diinginkan hingga tingkat yang sangat kecil bergantung dengan adsorben (bahan penyerap) yang digunakan. Adsorben yang digunakan untuk *pressure swing adsorption* sangat tergantung dengan jenis dan konsentrasi pengotor yang ingin dibersihkan. Konfigurasi kolom PSA yang digunakan, dapat 2 kolom, 4 kolom, dan bahkan lebih. Akan tetapi, konfigurasi 2 kolom yang bekerja secara bergantian adalah konfigurasi yang sangat umum dan paling sederhana untuk digunakan. Diagram alir sederhana kolom PSA ditunjukkan pada Gambar 2. Tahapan proses pada PSA 2 kolom secara bergantian adalah :

1. Adsorpsi : proses penyerapan pada tekanan tinggi.
2. *Purging* : proses penurunan tekanan dari tekanan adsorpsi sampai P tertentu.
3. Desorpsi : adsorbat pada adsorben didesorpsi pada tekanan rendah menggunakan gas produk.
4. Represurisasi : proses kenaikan tekanan dari tekanan rendah ke tekanan operasi adsorpsi, dengan mengalirkan sebagian flow produk.



Gambar 2. Diagram alir susunan Kolom *Pressure Swing Adsorption* (PSA) dengan menggunakan 2 kolom

Proses Adsorpsi dengan *Molecular Sieve*

Salah satu material yang dapat digunakan sebagai *Molecular Sieve* adalah Zeolit. Zeolit adalah senyawa zat kimia alumino-silikat berhidrat dengan kation natrium, kalium dan barium^[9,10]. Secara umum, *Molecular Sieve* memiliki struktur yang unik, di mana atom Silikon dikelilingi oleh 4 atom oksigen sehingga membentuk semacam jaringan dengan pola yang teratur. Di beberapa tempat di jaringan ini, atom Silikon digantikan dengan atom Aluminium, yang hanya terkoordinasi dengan 3 atom Oksigen. Atom Aluminium ini hanya memiliki muatan 3+, sedangkan Silikon sendiri memiliki muatan 4+. Keberadaan atom Aluminium ini secara keseluruhan akan menyebabkan *Molecular Sieve* memiliki

muatan negatif. Muatan negatif inilah yang menyebabkan *Molecular Sieve* mampu mengikat kation, dalam hal ini pengotor gas helium.

Tahapan ketiga dari proses pemurnian helium adalah penangkapan gas pengotor dengan menggunakan *Molecular Sieve*. *Molecular Sieve* yang umum digunakan adalah *Zeolit Tipe 5A*. Gas pengotor yang dapat ditangkap dengan Zeolit adalah NO_x , CO_2 , H_2O , CH_4 . Spesifikasi Zeolit yang digunakan seperti ditunjukkan pada Tabel 2.[10]

Tabel 2. Spesifikasi Zeolit Tipe 5A yang digunakan pada SPH

Parameter	Nilai
Volume pori per gram	0,3 cm ³
Diameter pori	5 Å
Ukuran partikel	1,6 mm
Luas permukaan per gram	700 s/d 800 m ²
Porositas internal	0,7

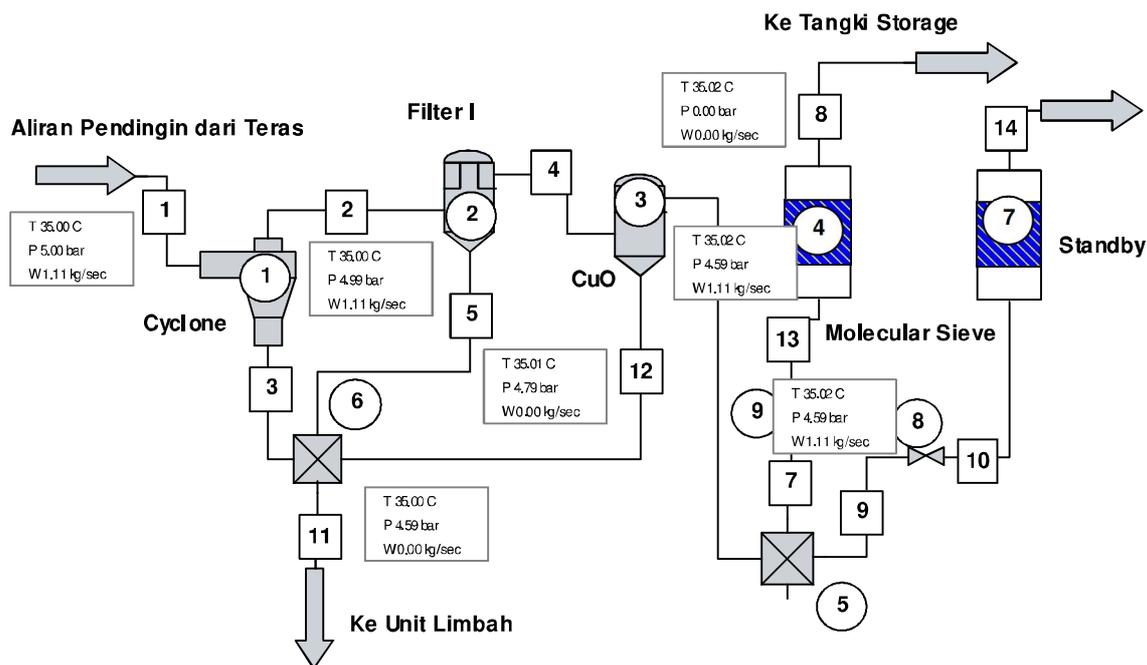
Pada desain kolom *Molecular Sieve* ini, biasanya kolom dibuat menjadi 2 macam, kolom pertama untuk kolom adsorpsi (penjeraban), yaitu penyaringan molekul, sedangkan kolom ke dua digunakan untuk regenerasi. Proses ini dilakukan secara bergantian. Proses regenerasi sangat dibutuhkan untuk membersihkan kembali Zeolit dari gas pengotor yang ditangkap sehingga dapat digunakan kembali.

Pada proses adsorpsi ini tidak semua gas pengotor dapat diserap, melainkan masih ada kemungkinan gas N_2 dan O_2 yang terlepas, karena ukuran molekulnya lebih kecil dari 5A. Kedua gas ini akan ditangkap menggunakan Bed Karbon Aktif.[11]

METODOLOGI

Proses adsorpsi dengan *Molecular Sieve* dimodelkan dengan software *ChemCAD*[12]. Metode yang digunakan adalah metode Langmuir secara isoteremis dengan asumsi bahwa adsorpsi hanya terjadi pada lapisan tunggal (*monolayer*) dengan gas pengotor terserap pada permukaan adsorben. Selain itu proses adsorpsi yang terjadi merupakan proses adsorpsi fisika karena terjadi pada temperatur tetap (30°C) sehingga persamaan Langmuir lebih cocok digunakan. Konstanta Langmuir a dan b untuk adsorbat gas CO_2 dan H_2O berturut-turut adalah 0,0238; 0,0230 dan 0,013; 0,014 berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan oleh Ganga P. Dangi dkk.[10]

Tipe *Molecular Sieve* yang dimodelkan adalah *Molecular Sieve 5A*. *Molecular Sieve* tipe 5A dipilih, karena pengotor gas helium terutama CO_2 dan H_2O , yang akan diserap berukuran lebih besar dari 5A. Parameter *Molecular Sieve 5A* yang diinputkan pada model seperti tercantum pada Tabel 2 antara lain : laju alir total 1,2 kg/sec, temperatur 30°C, porositas 0,7, tinggi bed diasumsikan 20 m, diameter pori-pori 5 Å, dan jumlah pengotor O_2 dan N_2 masing-masing 1 g/s atau setara dengan 1000 ppm. Tekanan divareasikan dari 5 sampai dengan 50 bar, perubahan daya serap *Molecular Sieve* dianalisis.



Gambar 3. Pemodelan Unit Operasi *Molecular Sieve* dengan ChemCAD

Hasil pemodelan *Molecular Sieve* dengan ChemCAD ditunjukkan pada Gambar 3. Pada Gambar 3, dimodelkan tahapan pemurnian helium mulai dari *Cyclone Separator*, filter HEPA, kolom oksidasi CuO dan adsorpsi *Molecular Sieve*. *Cyclone* digunakan untuk memisahkan debu berukuran besar (>10 mikron), sedangkan filter HEPA digunakan untuk menyaring debu karbon berukuran kecil yang masih lolos dari *Cyclone* sehingga gas helium keluar dari filter HEPA telah bersih dari pengotor debu. Pada kolom CuO, dimodelkan dengan sebuah reaktor kinetik, dengan persamaan yang digunakan adalah persamaan (1), (2) dan (3). Gas pengotor terutama H₂, CO dan CH₄ dioksidasi dengan katalis CuO sehingga dihasilkan H₂O dan CO₂. Kedua molekul ini mempunyai ukuran yang lebih besar sehingga diharapkan mudah ditangkap oleh *Molecular Sieve*.

Pada pemodelan *Molecular Sieve*, unit operasi yang digunakan adalah GA (*Gas Adsorption*) dibuat dengan 2 unit operasi GA. Masing-masing unit mewakili sebuah Kolom/Bed yang terisi oleh *Molecular Sieve*. Satu kolom sebagai proses adsorpsi (*in operation*) dan satu yang lain sebagai cadangan (*standby*). Kedua kolom beroperasi secara bergantian ketika melakukan proses adsorpsi dan desorpsi (regenerasi). Setelah dioperasikan pada rentang waktu tertentu, maka *Molecular Sieve* akan mengalami kejenuhan sehingga harus diregenerasi. Analisis neraca massa pada *Molecular Sieve* dilakukan dengan asumsi: konsentrasi gas pengotor masuk dalam *Molecular Sieve* adalah keluaran dari kolom oksidator CuO.

HASIL DAN PEMBAHASAN

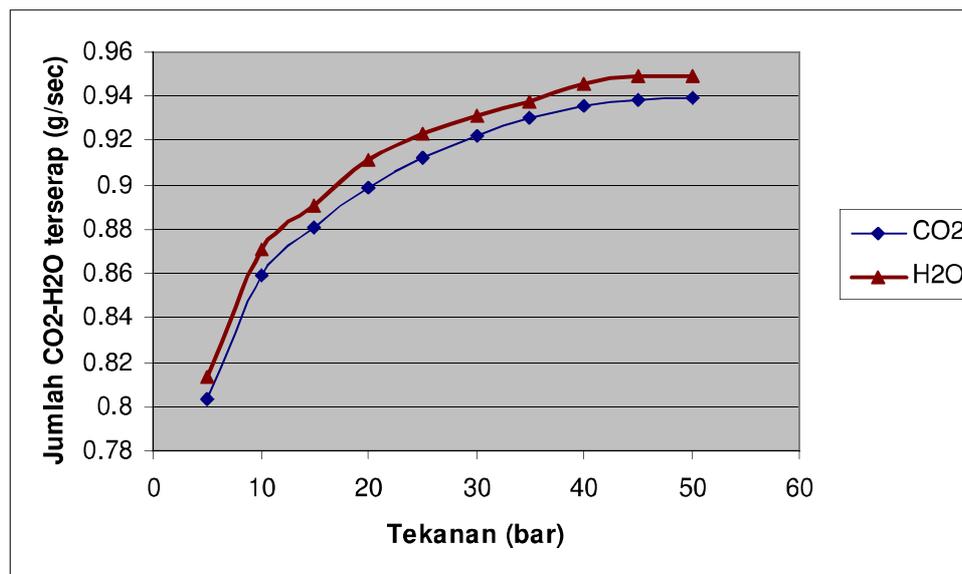
Proses pengambilan gas pengotor pada tahap ketiga di Sistem Pemurnian Helium RGTT200K adalah proses adsorpsi dengan *Molecular Sieve*. Pada kolom *Molecular Sieve*, gas pengotor utama yang akan diserap adalah CO₂ dan H₂O. Kedua gas ini adalah hasil keluaran pada proses tahap sebelumnya yaitu Kolom Oksidator CuO yang mengkonversi CO dan H₂ menjadi CO₂ dan H₂O dengan katalis CuO. Proses pengkonversian dilakukan agar ukuran molekul menjadi lebih besar sehingga mudah ditangkap dengan adsorpsi *Molecular Sieve*.

Pada proses adsorpsi, faktor tekanan sangat menentukan daya serap yang akan terjadi pada *Molecular Sieve* seperti diungkapkan oleh Perry[9]. Pada sisi *input* SPH tekanan sistem adalah 50 bar

dan temperatur 116°C, tetapi untuk mendapatkan efisiensi proses pada setiap tahapan pada SPH, tekanan dan temperatur ini disesuaikan. Penyesuaian setiap proses dilakukan dalam desain SPH dengan menambahkan komponen tertentu, seperti menggunakan pendinging (*Cooler*) untuk menurunkan temperatur, pemanas (*heater*) untuk menaikkan temperatur, Kompresor untuk menaikkan tekanan, dan ataupun *Expander* untuk menurunkan tekanan.

Aliran keluaran Kolom Oksidator CuO mempunyai temperatur 30°C, dan tekanan 5 bar. Dengan metode adsorpsi Langmuir isoteremis, maka temperatur tidak perlu mengalami perubahan dan diharapkan selalu tetap. Pada adsorpsi *Molecular Sieve*, temperatur yang terbaik adalah temperatur kamar sehingga temperatur 30°C yang berasal dari keluran kolom CuO tidak perlu dilakukan perubahan. Pada proses adsorpsi gas, semakin tinggi temperatur akan menurunkan daya serap *Molecular Sieve*[13]. Hal ini dikarenakan pada temperatur tinggi, kinetika gerak molekul gas menjadi lebih dinamis sehingga mempersulit penangkapan gas ke dalam porositas *Molecular Sieve*. Pada temperatur yang tinggi pula, setelah gas pengotor tertangkap dalam porositas permukaan *Molecular Sieve* maka gas tersebut akan mudah terlepas kembali.

Pengaruh tekanan terhadap daya serap adsorpsi harus diteliti untuk mendapatkan hasil penyerapan pengotor CO₂ dan H₂O yang optimal. Hasil simulasi dengan *software ChemCAD* menunjukkan adanya perubahan daya serap terhadap perubahan tekanan yang diberikan ke Kolom *Molecular Sieve*. Hubungan tekanan dengan jumlah CO₂ dan H₂O yang diserap ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hubungan Tekanan dengan Jumlah CO₂-H₂O terserap dalam *Molecular Sieve*

Semakin tinggi tekanan yang diberikan ke sistem maka semakin besar pula jumlah CO₂ dan H₂O yang terserap. Jumlah H₂O yang terserap lebih banyak dibandingkan dengan jumlah CO₂ yang terserap oleh *Molecular Sieve*. Hal ini diakibatkan bahwa H₂O adalah molekul polar sedangkan CO₂ adalah molekul non polar. Molekul polar lebih mudah tertangkap dalam porositas *Molecular Sieve* dibandingkan molekul non polar. Polaritas molekul adalah salah satu parameter yang mempengaruhi jumlah konsentrasi yang tertangkap dalam *Molecular Sieve* selain PSA (*pressure swing adsorption*). Kecenderungan hasil simulasi sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh MYERS dkk.[13]

Pengaruh tekanan terhadap pengambilan pengotor CO₂ dan H₂O sangat besar. Pada tekanan yang lebih tinggi maka gas-gas pengotor ini akan dipaksa untuk masuk ke dalam pori-pori *Molecular Sieve* melalui fenomena PSA (*Pressure Swing Adsorption*)^[14]. Ketika tekanan yang diberikan ke Kolom *Molecular Sieve* semakin bertambah maka jumlah gas pengotor yang tertangkap juga semakin

besar. Kenaikan jumlah gas CO₂ dan H₂O yang tertangkap pada berbagai variasi tekanan ditunjukkan pada Tabel 3.

Berdasarkan hasil simulasi ini, maka dalam desain SPH terutama pada tahapan proses penyaringan dengan *Molecular Sieve*, harus dikondisikan bahwa tekanan masuk ke Kolom *Molecular Sieve* sebesar 50 bar.

Tabel 3. Prosentasi kenaikan jumlah H₂O dan CO₂ yang terserap pada berbagai perubahan tekanan

Perubahan tekanan (bar)	Kenaikan jumlah H ₂ O terserap (%)	Kenaikan jumlah CO ₂ terserap (%)
5-10	7,12002	6,91973
10-15	3,08805	2,53754
15-20	1,46993	2,07742
20-25	1,30597	1,46798
25-30	0,89914	1,03025
30-35	0,82671	0,91126
35-40	0,64956	0,59127
40-45	0,38087	0,32062
45-50	0,05269	0,04261
Total	15,79296	15,89867

Mekanisme penyerapan pengotor dengan 2 kolom adsorpsi dilakukan secara bergantian. Satu kolom selalu beroperasi, dan satu kolom yang lain pada kondisi *standby* (siap siaga). Pada saat sebuah kolom/bed beroperasi (*in operation*) maka aliran bertekanan dikompresikan ke kolom tersebut untuk dibersihkan. Gas yang keluar dari kolom *Molecular Sieve* kemurniannya selalu dipantau menggunakan *Gas Chromatography* secara terus menerus (*online*), dengan demikian apabila kolom *Molecular Sieve* telah mengalami kejenuhan maka keadaan tersebut segera diketahui.

Apabila *Molecular Sieve* telah mengalami kejenuhan, maka kolom tersebut harus di regenerasi. Proses regenerasi dilakukan dengan menutup aliran ke kolom yang sudah jenuh dan mengalihkan aliran tersebut ke kolom yang *standby*. Untuk selanjutnya kolom yang sudah jenuh, dibuka katupnya agar tekanannya turun menuju ke tekanan atmosfer, sehingga gas-gas pengotor yang tertangkap terlepas kembali.

KESIMPULAN

Pemodelan adsorpsi dengan *Molecular Sieve* telah dilakukan dengan paket program ChemCAD. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan adanya kenaikan tekanan dari 5 sampai 50 bar, mengindikasikan adanya kenaikan daya serap *Molecular Sieve* terhadap pengotor CO₂ sebesar 15,89867%, sedangkan terhadap pengotor H₂O sebesar 15,79296%. Berdasarkan hasil ini, pada desain Sistem Pemurnian Helium RGTT200K akan ditentukan tekanan masuk ke kolom *Molecular Sieve* adalah 50 bar. Tekanan ini didapatkan dengan mengompresikan aliran masuk ke kolom dengan Kompresor untuk mendapatkan daya adsorpsi tinggi terhadap proses penyerapan pengotor CO₂ dan H₂O.

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. NATESAN K., A., PUROHIT, S.W. TAN, “*Material Behavior in HTGR Environments*”, Argonne National Laboratory, NUREG/CR-6824 ANL-0237, 2003
3. SUMIJANTO, “*Kajian Dampak Gas Pengotor Pendingin Primer Terhadap Integritas Material Struktur RGTT200K*”, Majalah Ilmiah Teknologi Keselamatan Nuklir Sigma Epsilon, Volume 14 Nomor 2, Mei 2010.
4. SRIYONO, dkk “*Desain Konseptual Sistem Pemurnian Helium Pada RGTT200K Untuk Menjamin Keselamatan Pengoperasiannya*”, Seminar Keselamatan Nuklir, Bapeten, 28 Juni 2011.
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. GASTALDI, O., et al., “*Helium Purification*”, Proceedings HTR 2006, 3rd International Topical Meeting on High Temperature Reactor Technology, Johannesburg, South Africa, 2006.
7. TANIA SURYA UTAMI, dkk., “*Model Adsorpsi Langmuir Gas Nitrogen Monoksida Dalam Sistem Biofilter Dengan Medium Pupuk Kompos*”, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, 2003
8. BENNET J.E., et.al, “*Pressure Swing Adsorption (PSA) Regenerative Chemical Filtration and Environmental Control System For The Colpro of Armoured Fighting Vehicles*”, Air Control Technologies Ltd., Hawthorne Road, Staines, Middlesex, TW18-3AY, ENGLAND, 2008
9. PERRY H., et.al., “*Perry’s Chemical Engineers’ Handbook*” 8th Edition, Mc. Graw Hill, 2008
10. DANGI P. GANGA et.al., “*Adsorption Selectivity of CO₂ Over N₂ by Cation Exchange Zeolite L : Experimental and Simulation Studies*”, CSIR, Bhavnagar, India, 2012
11. ENDANG WIDJAJANTI LAKSONO, “*Analisis Daya Adsorpsi Suatu Adsorben*”, Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta, 2010
12. PT. INGENIOUS, “*CHEMCAD Process Simulation*”, Software Training, BATAN, Serpong, 2012
13. MYERS A.L., “*Adsorption in Porous Materials at High Pressure : Theory and Experiment*”, Dept. of Chemical and Bio molecular Engineering, University of Pennsylvania, Amerika Serikat, 2007
14. CROFT T DAVID, et.al., “*Adsorbents for Pressure Swing Adsorption Regeneration*”, US Army Soldier and Biological Command, USA, 1999

DISKUSI / TANYA JAWAB :

PERTANYAAN: (Sudarmono – PTRKN BATAN)

- Mengapa kenaikan adsorpsi terhadap H₂O lebih tinggi terhadap CO₂?

JAWABAN: (Sriyono – PTRKN BATAN)

- Molekul H₂O bersifat lebih polar dibandingkan dengan CO₂, sehingga lebih mudah tertangkap oleh porositas Molecular Sieve (Zeolite) tipe 5A.