

## Optimasi Tekanan terhadap Kemurnian Nitrogen yang Dihasilkan pada Alat Pressure Swing Adsorber (PSA)

Fatria <sup>1)</sup>, Arizal Aswan <sup>2)</sup>, Irawan Rusnadi <sup>3)</sup>, Zurohaina <sup>4)</sup>

<sup>1),2),3)</sup> Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya  
Jl. Srijaya Negara Bukit Besar Palembang  
Email : endangsupraptiah@yahoo.co.id

**Abstrak.** Penggunaan nitrogen semakin banyak digunakan diberbagai bidang kehidupan seperti rumah sakit, industri makanan, industri perminyakan, bengkel, ban kendaraan, dan berbagai pemanfaatan lainnya. Nitrogen banyak terdapat di dalam udara beserta oksigen dan unsur lainnya. Sehingga untuk memisahkan nitrogen dari unsur yang lainnya diperlukan teknologi untuk menghasilkan nitrogen dengan kemurnian tinggi, salah satunya adalah menggunakan pressure swing adsorber (PSA). PSA ini menggunakan 2 tabung carbon molecular sieve (CMS) untuk memisahkan oksigen dari udara sehingga diperoleh nitrogen dengan kemurnian tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh tekanan terhadap kemurnian nitrogen yang dihasilkan dan terhadap kejenuhan CMS pada alat pressue swing adsorber. Dari data dapat diketahui pengaruh tekanan terhadap kadar Nitrogen yang dihasilkan, dimana semakin rendah tekanan udara umpan di dalam kolom PSA, maka semakin tinggi kadar Nitrogen yang dihasilkan, terlihat dari data yaitu pada tekanan 4 bar dengan kadar Nitrogen 95% . Kemudian, pengaruh tekanan terhadap kejenuhan CMS adalah semakin tinggi tekanan maka semakin cepat laju penurunan (kejenuhan) yang dapat menurunkan kadar Nitrogen yang dihasilkan terlihat dari data pada tekanan 7 Bar CMS jenuh pada menit ke 6.

**Kata kunci:** pressure swing adsorber, carbon molecular sieve, nitrogen, tekanan

### 1. Pendahuluan

Nitrogen merupakan senyawa pokok dalam industri kimia. Nitrogen merupakan senyawa inert yang digunakan untuk berbagai aplikasi yang mencakup berbagai aspek pembuatan, pengolahan, penanganan, dan pengiriman bahan kimia (Ivanova,2012)[1]. Permintaan nitrogen pada industri kimia didunia terus meningkat setiap tahunnya, khususnya pada industri pupuk. Pada tahun 2016 permintaan nitrogen sebesar 116.514, pada tahun 2017 sebesar 117.953 dan tahun 2018 diperkirakan meningkat menjadi 119.418 ribu ton. Diantara negara-negara asia permintaan nitrogen Indonesia yaitu sebesar 6% (*World fertilizer trends and outlook to 2018*). Dalam kehidupan sehari-hari nitrogen sering kali digunakan untuk mengisi ban-ban kendaraan. Mengisi ban menggunakan nitrogen akan membuat ban lebih tahan lama dan pelek ban tidak cepat rusak (Huda, 2012)[2].

Nitrogen biasa diperoleh dari udara bebas, hal ini dikarenakan kandungan dalam udara sebagian besar terdiri dari nitrogen yaitu sebanyak 78%. Pada umumnya nitrogen dipisahkan dari udara dengan menggunakan metode *cryogenic*. Metode ini dilakukan dengan cara penurunan temperatur hingga mencapai temperatur yang sangat rendah. Namun metode ini memiliki kekurangan yaitu membuang banyak energi dengan mengkonversi gas menjadi *liquid*, serta banyak gas murni yang terbuang saat proses berlangsung. Seiring dengan berkembangnya teknologi, proses produksi nitrogen juga ikut berkembang. Hal ini dibuktikan dengan munculnya teknologi *non-cryogenic* berupa sistem membran dan sistem *Pressure Swing Adsorption* (Krabiell dan Schulte,1993)[3].

Teknologi *Pressure Swing Adsorption* (PSA) merupakan teknologi yang memisahkan udara dengan metode adsorpsi. Pada teknologi ini udara dipisahkan berdasarkan perbedaan kesetimbangan adsorpsi dan perbedaan tingkat difusi (Schtoter,1993). Pada sistem PSA terdapat dua buah adsorber yang berisi adsorben berupa *Carbon Molecular Sieve* (CMS). Pada tekanan tinggi CMS akan menyerap oksigen dan memungkinkan nitrogen melewati tingkat kemurnian yang diinginkan (Ivanova,2012)[1].

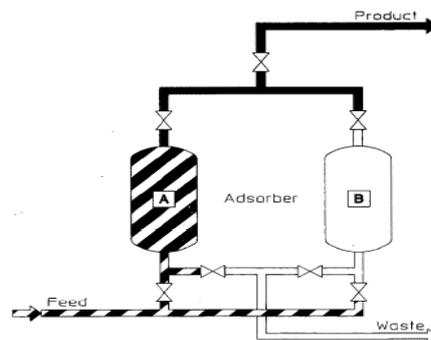
kecepatan penyerapan dari CMS ini sangat dipengaruhi oleh tekanan. Hal ini dikarenakan kemurnian dari Nitrogen yang dihasilkan dipengaruhi oleh penyerapan CMS terhadap Oksigen, untuk itu diperlukan kondisi pengoperasian yang optimal ketika proses dijalankan. Adapun rumusan masalah

pada penelitian ini adalah pengaruh tekanan terhadap kejenuhan Carbon Molecular Sieve dalam penyerapan Oksigen untuk mendapatkan Nitrogen dengan kemurnian yang tinggi.

Teknologi PSA pada awalnya berasal dari studi laboratorium dari Skarstom pada tahun 1960, dan Montgareuil dan Domine pada tahun 1964. Perubahan dari skala laboratorium ke skala industri cenderung melambat, namun semakin berkembang selama beberapa dekade terakhir. *Pressure swing adsorption* (PSA) merupakan salah satu teknologi yang digunakan untuk memisahkan beberapa jenis gas dari campuran gas sesuai dengan jenis karakteristik molekuler dan afinitasnya dari bahan adsorben. Bahan adsorpsi khusus seperti karbon, digunakan sebagai *sieve* molekular sehingga memudahkan penyerapan gas utama pada tekanan tinggi. Proses selanjutnya adalah proses *swing*, yaitu proses perubahan dari tekanan tinggi ke tekanan rendah untuk mendesorpsi atau melepas senyawa yang terserap oleh bahan adsorben.

Tahapan proses yang terjadi pada pembentukan nitrogen dengan menggunakan teknologi PSA adalah sebagai berikut:

1. Adsorpsi dan produksi gas murni dibawah tekanan tinggi.
2. Pemerataan tekanan (*pressure equalization*) pada vessel adsorber.
3. Penurunan tekanan (*depressurization*) secara *counter-current* termasuk pembersihan gas produk, dimana komponen gas buang dilepaskan.
4. *Pressurization* adsorber dengan *feed* gas dari bagian bawah, dan gas produk dari atas.



Gambar 1. Skema Teknologi PSA untuk Pemisahan Gas  
(Sumber: Schroter H.J. Carbon Molecular Sieves For Gas Separation. 1993)

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kondisi optimum tekanan udara umpan pada alat produksi nitrogen dengan sistem PSA dan menentukan pengaruh tekanan terhadap kejenuhan Carbon Molecular Sieve dalam penyerapan oksigen untuk kemurnian nitrogen yang tinggi

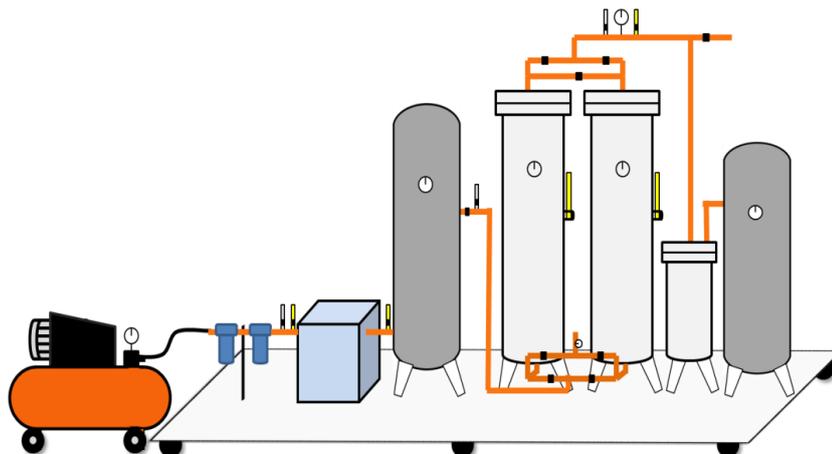
## 1.1. Metodologi Penelitian

Penelitian ini di Laboratorium Program Studi Teknik Energi Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang

### 1.1.1. Bahan yang digunakan

- a. Udara
- b. *Carbon Molecular Sieve* (CMS)
- c. Asam Askorbat

### 1.1.2. Pembuatan Alat Produksi Nitrogen



Gambar 2. Desain Alat Produksi Nitrogen dengan Sistem PSA

Secara umum rancangan ini terdiri dari 6 bagian yaitu, kompresor, filter, tangki udara, kolom PSA, tangki buffer, dan tangki nitrogen. Kompresor dengan kapasitas 10 bar dipasang pada bagian awal proses untuk meningkatkan tekanan udara atmosfer. Udara bertekanan ini kemudian disaring dengan menggunakan dust filter, serta dilakukan proses pengurangan kadar air oleh silica gel. Tangki udara yang digunakan terbuat dari berkapasitas 17.662,50 cm<sup>3</sup>. Kolom PSA terdiri dari 2 buah kolom yang memiliki kapasitas m<sup>3</sup>. Kolom PSA dibuat dengan bahan stainless steel, pemilihan bahan ini dikarenakan tekanan pada kolom PSA akan mencapai tekanan maksimum 8 bar. Pada masing-masing kolom PSA terdapat bed dengan kapasitas 12.661,27 cm<sup>3</sup>. Didalam kolom PSA terdapat bed adsorben dengan kapasitas 8.229,92 cm<sup>3</sup> yang berisi adsorben berupa *Carbon Molecular Sieve* (CMS) sebanyak 11 kg.

### 1.1.3. Prosedur Penelitian

- Mempersiapkan alat produksi nitrogen dengan sistem PSA.
- Menyalakan kompresor .
- Mengatur tekanan udara.
- Membuka valve tangki udara.
- Mengukur kecepatan udara yang memasuki kolom PSA.
- Membuka valve pada kolom PSA.
- Mencatat tekanan dan temperatur pada kolom PSA.
- Menentukan kemurnian nitrogen menggunakan nitrogen analyzer
- Membuka valve untuk regenerasi.
- Mengukur kecepatan, tekanan, dan temperatur oksigen.
- Menentukan kemurnian oksigen menggunakan oksigen analyzer

## 2. Pembahasan

Alat produksi nitrogen terdiri dari kompresor, *cooler*, tangki udara, kolom adsorber, tangki nitrogen dan alat analisa nitrogen. Kompresor yang digunakan merupakan kompresor torak dengan kapasitas tekanan maksimum 7 bar. *Cooler* yang digunakan dengan aliran *co-current* dengan *blower* sebagai penyedia fluida pendingin. Adsorber yang digunakan merupakan *molecular sieve* 3Å jenis *Carbon Molecular Sieve* (CMS) yang mana adsorber ini memakai bahan yang biasa digunakan dalam proses *air separation* untuk menghasilkan nitrogen. Kolom adsorber dioperasikan pada suhu 25-40 °C dan tekanan 6-7 bar. Nitrogen yang dihasilkan pada proses ini dianalisa menggunakan alat analisa nitrogen berupa *Handle Nitrogen Percetage Indicator*.

Berdasarkan hasil uji kinerja pada alat Produksi Gas Nitrogen dengan Metode Pressure Swing Adsorption (PSA), maka pengaruh waktu dan tekanan terhadap kemurnian nitrogen yang dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil produksi Gas Nitrogen dengan Metode PSA

Waktu (Menit)	Tekanan (Bar)	Temperatur Kolom PSA (°C)	Kadar N <sub>2</sub> (%)
0	4	34.4	94.4
3		33.5	95
6		34.1	93.2
9		34.5	91.6
12		34.5	90.3
15		34.6	87.2
0	5	35.4	93.6
3		35	94.2
6		35	92.4
9		35.3	90.8
12		35.4	87.8
15		35.4	87.8
0	6	34.2	91.8
3		34.1	92.3
6		34.2	90.6
9		34.5	88.2
12		34.5	86
15		34.5	86
0	7	34.2	92.5
3		33.4	93.7
6		33.5	88.7
9		33.5	87.4
12		33.7	84.1
15		33.7	84.1

### 2.1. Mekanisme Penyerapan dan Pelepasan Oksigen Oleh *Carbon Molecular Sieve* (CMS).

Dalam proses adsorpsi proses pemisahan terjadi akibat adanya perbedaan ukuran molekul, atau kepolaran dikarenakan beberapa molekul berikatan lebih kuat pada permukaan adsorber dibandingkan dengan molekul lainnya atau dikarenakan pori-pori yang terlalu kecil untuk menerima molekul yang lebih besar (Mc.Cabe, 1993)[5]. Dalam hal ini ukuran molekul oksigen lebih kecil jika dibandingkan dengan nitrogen, yaitu 0,29A dan 0,30A. Sedangkan ukuran pori CMS adalah 0,3A. Syarat terjadinya adsorpsi yaitu ukuran molekul adsorber harus lebih besar daripada ukuran molekul yang akan diserap, oleh karena itu hanya oksigen saja yang dapat masuk kedalam pori-pori CMS.

Proses pemisahan ini juga terjadi karena oksigen mampu berdifusi lebih cepat kedalam pori mikro dibandingkan dengan nitrogen karena dimensi kinetik oksigen yaitu 0,46 nm lebih kecil dibandingkan nitrogen yang memiliki dimensi kinetik 0,64 nm. Difusi merupakan peristiwa berpindahnya suatu zat dalam pelarut dari bagian berkonsentrasi tinggi ke bagian yang berkonsentrasi rendah. Dalam hal ini, oksigen yang ada dalam udara yang memiliki tekanan lebih tinggi (6-7 bar) berpindah ke bagian pori-pori CMS yang memiliki tekanan lebih rendah (1 bar).

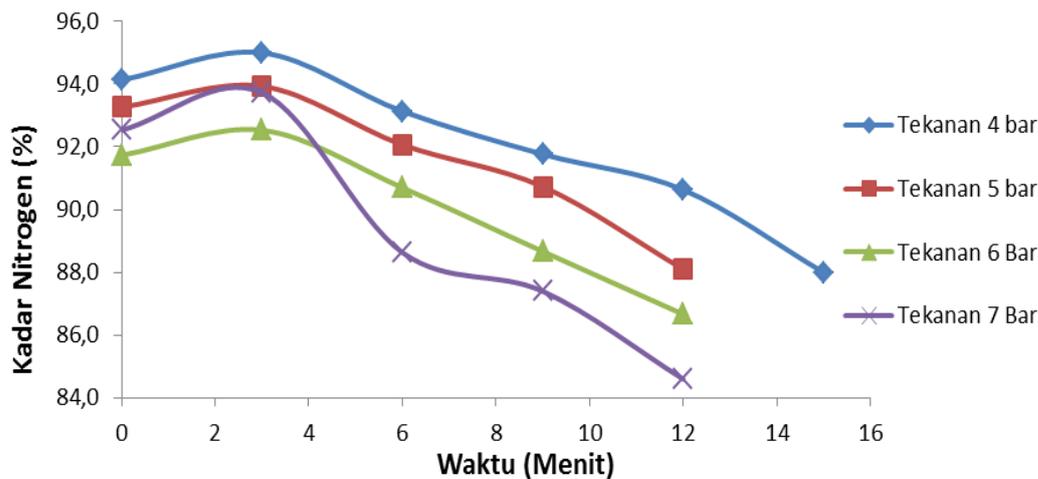
Selain faktor-faktor diatas, proses penyerapan gas oksigen oleh CMS ini juga terjadi akibat adanya SiO<sub>2</sub> pada komposisi CMS. Silikon dioksida terbentuk melalui ikatan kovalen yang kuat, serta memiliki struktur lokal yang jelas empat atom oksigen terikat pada posisi sudut tetrahedral di sekitar atom pusat yaitu atom silikon. Kandungan oksigen yang ada pada CMS ini lah yang akan menarik molekul oksigen yang ada pada udara, sehingga oksigen yang ada pada udara akan menempel pada permukaan CMS dan nitrogen akan lewat. Dikarenakan bentuk kolom yang vertikal semakin keatas kolom semakin banyak oksigen yang terserap dan hasilnya kemurnian nitrogen yang keluar dari kolom adsorber akan meningkat.

Setelah dilakukan penyerapan, CMS yang telah jenuh akan dilakukan regenerasi. Proses regenerasi dilakukan melalui proses *depressurization*, yaitu proses penurunan tekanan (Schroter,1993)[4]. Proses

ini dilakukan dengan cara membuka *valve blowdown* pada bagian bawah kolom adsorber. Pada proses adsorpsi bahan yang akan dipisahkan hanya akan menempel pada adsorber, tidak berikatan dengan adsorber. Akibatnya pada saat penurunan tekanan oksigen yang menempel pada CMS ikut terlepas ke udara bebas, dan CMS bisa digunakan kembali untuk proses selanjutnya.

## 2.2. Pengaruh Tekanan Terhadap Produksi Gas Nitrogen dan Kejenuhan CMS.

Pengaruh variasi tekanan terhadap produksi gas nitrogen yang dihasilkan mengalami penurunan yang semakin cepat. Besarnya penurunan kadar Gas Nitrogen yang dihasilkan dipengaruhi oleh tekanan yang semakin tinggi. Tekanan yang semakin tinggi ini berbanding terbalik dengan kadar nitrogen yang dihasilkan. Semakin besar tekanan maka kadar nitrogen yang dihasilkan akan mengalami penurunan yang semakin cepat. Tekanan tersebut mempengaruhi daya adsorpsi CMS yang terjadi pada kolom PSA.



Gambar 3. Grafik Pengaruh Tekanan dan Kadar Nitrogen yang dihasilkan terhadap Waktu

Pada gambar 3, dapat terlihat bahwa penurunan kadar nitrogen pada tekanan 4 bar berlangsung selama 15 menit dengan kadar nitrogen paling tinggi sebesar 95 %. Pada tekanan 5 bar, kadar nitrogen mengalami penurunan yang berlangsung selama 12 menit dengan kadar nitrogen yang paling tinggi sebesar 94.2 %. Pada tekanan 6 bar, kadar nitrogen mengalami penurunan selama 12 menit dengan kadar nitrogen yang paling tinggi sebesar 92.3 %. Kemudian pada tekanan 7 bar, penurunan kadar nitrogen berlangsung selama 12 menit dengan kadar nitrogen tertinggi sebesar 93.7 %. Dari Gambar 3, terlihat semakin tinggi tekanan maka kadar nitrogen akan mengalami penurunan yang semakin cepat, hal ini dikarenakan tingginya tekanan akan menyebabkan gaya tarik antar molekul atau suatu akibat dari medan gaya pada permukaan CMS (adsorben) yang menarik molekul-molekul gas akan semakin kuat.

Secara teori pada saat proses adsorpsi gas akan masuk ke dalam rongga adsorber (CMS), sehingga makin lama waktu kontak akan terjadi deposit senyawa kedalam pori-pori adsorber tersebut sampai terjadi kejenuhan. CMS tidak dapat melakukan penyerapan oksigen dan akan melepas oksigen akibat pori CMS yang telah terisi penuh. Pada saat kondisi itu terjadi maka oksigen yang tidak terserap ikut tercampur kembali dengan Nitrogen. Pada tekanan yang tinggi CMS akan menyerap lebih cepat sehingga kejenuhan CMS pada tekanan tinggi lebih cepat dibandingkan dengan operasi pada tekanan yang rendah. Oleh karena itu waktu adsorpsi pada tekanan yang tinggi, kadar Nitrogen yang dihasilkan akan menurun seiring dengan lama waktu kontakannya. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa kenaikan tekanan adsorbat dapat menaikkan jumlah yang teradsorpsi.

## 3. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada produksi nitrogen dengan metode *Pressure Swing Adsorption* (PSA), maka dapat disimpulkan :

1. kondisi maksimum kemurniaan kadar Nitrogen maksimum yang didapat ialah pada kondisi operasi tekanan 4 bar dengan kadar Nitrogen tertinggi yaitu sebesar 95%, dengan laju penurunan kadar Nitrogen selama 15 menit.
2. Pengaruh tekanan terhadap kadar Nitrogen yang dihasilkan adalah semakin rendah tekanan udara umpan di dalam kolom PSA, maka semakin tinggi kadar Nitrogen yang dihasilkan terlihat dari data yaitu pada tekanan 4 bar dengan kadar Nitrogen 95% .
3. Pengaruh tekanan terhadap kejenuhan CMS adalah semakin tinggi tekanan maka semakin cepat laju penurunan (kejenuhan) yang dapat menurunkan kadar Nitrogen yang dihasilkan terlihat dari data pada tekanan 7 Bar CMS jenuh pada menit ke 6.

### **Ucapan Terima Kasih**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Sriwijaya yang telah memberikan dana DIPA tahun anggaran 2018. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada rekan – rekan yang membantu dalam penelitian ini.

### **Daftar Pustaka**

- [1]. Ivanova Svetlana, & Robert Lewis. (2012). Producing Nitrogen via Pressure Swing Adsorption. *America Institute of Chemical Engineering (AIChE)*, (Reactions and Separation), 38–42.
- [2]. Huda, N. (2010). Metode Pemisahan Dan Pemurnian Nitrogen (N<sub>2</sub>) Dari Udara Bebas. Surabaya
- [3]. K.Krabiell, & A. Schulte Schulze Berndt. (1993). Nitrogen Separation by Pressure Swing Adsorption on Carbon Molecular Sieve, *7 No 4(Gas Separation & Purification)*, 253–257.
- [4]. H.J. Schroter. (1993). Carbon Molecular Sieve for Gas Separation, *7 No 4(Gas Separation & Purification)*, 247–251.
- [5]. McCabe L Warren, Smith Julian C, Harriot Peter, 1993, Unit Operation of Chemical Engineering, 5th Edition, McGrawHill