

PRODUKSI GAS NITROGEN DENGAN METODE *PRESSURE SWING ADSORPTION* (PSA) MENGGUNAKAN *CARBON MOLECULAR SIEVE* (CMS) SEBAGAI PENYERAP OKSIGEN

NITROGEN GAS PRODUCTION BY PRESSURE SWING ADSORPTION (PSA) METHOD USING CARBON MOLECULAR SIEVE (CMS) AS OXYGEN ADSORPTION

Fatria^{1,a)}, Lety Trisnaliani¹, Aan Harianto¹

¹Program Studi Teknik Energi / Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya

Jl. Srijaya Negara Bukit Besar, Palembang, Sumatera Selatan, 0711353414 / 0711355918

e-mail : ^{a)} fatriaahmadan@yahoo.co.id

ABSTRACT

Air is one of the needs always used by living things directly or indirectly. The composition of the air consists of nitrogen, oxygen, argon, and carbon dioxide as well as the number of other constituents that are very small. One important component of air is nitrogen gas. With such a large amount, nitrogen gas can be utilized for several uses, among others in the fertilizer industry, and as an air filler press on vehicle tires. One method of air separation to obtain nitrogen gas is the Pressure Swing Adsorption (PSA) method. Adsorption is a process whereby fluid molecules touch and attach to the solid surface. The PSA process uses a compressor as an air supply. Air is fed to the PSA column by adjusting the feed pressure, then air will be separated between O₂ and N₂ by using Carbon Molecular Sieve (CMS) adsorbers as absorbents in the PSA column. Pressure and time variations were performed with the aim to see the effect of CMS saturation and regeneration on the resulting Nitrogen content.

Key words: Nitrogen, Pressure Swing Adsorption (PSA), Adsorption, and Carbon Molecular Sieve (CMS).

1. PENDAHULUAN

Nitrogen merupakan senyawa pokok dalam industri kimia. Nitrogen merupakan senyawa inert sehingga cocok digunakan untuk berbagai aplikasi yang mencakup berbagai aspek pembuatan, pengolahan, penanganan, dan pengiriman bahan kimia (Lewis, 2012). Permintaan nitrogen pada industri kimia didunia terus meningkat setiap tahunnya, khususnya pada industri pupuk. Diantara negara-negara asia permintaan nitrogen Indonesia yaitu sebesar 6% dari permintaan dunia. Selain digunakan dalam industri pupuk, nitrogen juga digunakan dalam berbagai industri lainnya seperti industri pangan, elektronik, manufaktur, medis, pertambangan dan transportasi.

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*. 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).

Produksi nitrogen dengan menggunakan metode ini

tidak memerlukan lahan yang luas. Selain itu jika N₂ yang dibutuhkan kurang dari 560 m³/jam maka teknologi PSA lebih ekonomis dibandingkan dengan menggunakan distilasi *cryogenic*. Serta produk nitrogen dengan menggunakan metode PSA akan bisa dibeli dan dikirim dengan cepat (Emrani dkk., 2011).

Teknologi PSA merupakan teknologi yang memisahkan udara dengan metode adsorpsi. Pada teknologi ini udara dipisahkan berdasarkan perbedaan kesetimbangan adsorpsi dan perbedaan tingkat difusi. 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 (Lewis, 2012). Pada proses penyerapan oleh CMS yang terjadi, kecepatan penyerapan dari CMS ini sangat berpengaruh oleh tekanan. Hal ini dikarenakan kemurnian dari Nitrogen yang dihasilkan dipengaruhi oleh penyerapan CMS terhadap Oksigen. Oleh karena itu dibutuhkan pengoperasian yang optimal ketika proses tersebut dijalankan. Disini akan dikaji penelitian-penelitian yang berhubungan dengan proses penyerapan yang terjadi. Dengan kajian ini akan diketahui berbagai

variabel yang mempengaruhi proses penyerapan pada CMS.

Nitrogen

Nitrogen merupakan suatu unsur kimia yang memiliki lambang N dan nomor atom 7. Nitrogen . Nitrogen adalah unsur umum dalam alam semesta unsur ini diperkirakan berada pada urutan ke-7 total kelimpahan di dunia ini. Nitrogen membentuk sekitar 78% volume dan 75,5% berat di atmosfer bumi, hal ini membuatnya sebagai unsur yang paling melimpah.

Tabel 1. Sifat Fisik Nitrogen

Rumus Kimia	N ₂
Berat Molekul	28,01
Densitas pada 70°F	0,072 lb/ft ³
Spesific gravity (70°F, 1 atm)	0,967
Spesific volume (70°F, 1 atm)	13,89 ft ³
Boiling point	-320,4°F
Melting point	-345,8°F
Temperatur kritis	-232,4°F
Tekanan kritis	493 psia
Critical density	19,60 lb/ft ³
Laten heat of vaporization at boiling point	85,6 Btu/lb
Laten heat of fusion at melting point	11,1 Btu/lb
Molekul	0,30Å

(Spellman, 2008)

Pemisahan Udara (*Air Separation*)

Pabrik pemisahan udara didesain untuk memproduksi oksigen, argon dan nitrogen dari udara melalui proses kompresi, pendinginan, likuifaksi dan distilasi udara. Udara dipisahkan untuk memproduksi oksigen, nitrogen dan argon dalam beberapa cara. Produk bisa berbentuk gas yang didistribusikan menggunakan pipa ataupun berupa *liquid* dari proses distilasi *cryogenic* yang didistribusikan menggunakan truk (Emrani dkk., 2011).

Udara dapat dipisahkan menjadi komponen-komponennya dengan cara distilasi dalam unit khusus. Disebut demikian karena pada pemisahan udara metode fraksionasi menggunakan proses termal yang dikenal sebagai rektifikasi kriogenik untuk memisahkan masing-masing komponen dari satu sama lain untuk menghasilkan produk nitrogen, oksigen dan argon dalam bentuk cair dan gas dengan kemurnian tinggi.

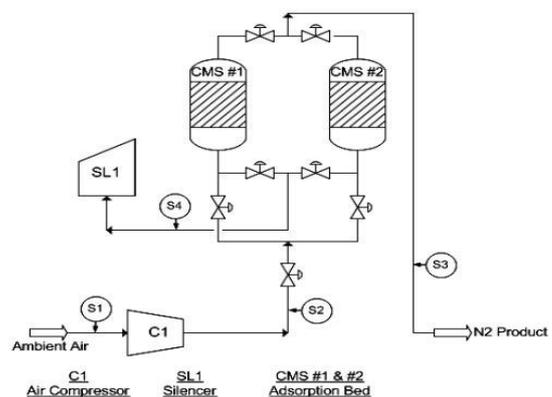
Berikut ini berbagai jenis teknologi pemisahan udara yang telah dikembangkan:

1. Proses *Cryogenic*
2. Sistem Membran
3. Pemisahan dengan metode adsorpsi (*Pressure Swings Adsorption*)

Pressure Swings Adsorption (PSA)

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 (Lewis, 2012). 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 mendesorp atau melepas senyawa yang terserap oleh bahan adsorben.

Pada proses ini udara secara bergantian dialirkan dalam dua kolom yang berisi material adsorben. Flow diagram sederhana proses ini dapat dilihat pada gambar 1. (1) aliran udara (S1) pada kondisi ambient ($T=25^{\circ}\text{C}$, $P = 1$ bar) diumpungkan menuju kompresor (C1). Kompresor meningkatkan tekanan udara hingga diatas 8 bar. Aliran keluar udara dari kompresor (S2) dikirim ke kolom adsorben (CMS#1) yang beroperasi pada tekanan tinggi. Adsorben lain juga digunakan seperti dengan zeolit dan alumina. Bagian atas kolom berfungsi menghilangkan kandungan air dan CO₂ yang ada pada udara. Ketika komposisi O₂ dalam aliran mendekati nilai yang ditentukan 1% (terjadi saat *bed* jenuh) setpoint telah tercapai. Pada titik ini, aliran masuk (S2) dialihkan pada kolom adsorben lain (CMS#2) dan pada saat yang sama tekanan pada kolom adsorben pertama (CMS#1) diturunkan untuk proses desorpsi.



(Emrani dkk., 2011)

Gambar 1. *Flowsheet* Proses PSA

Setelah *bed* kedua jenuh, aliran masuk dikirim ke *bed* pertama (CMS#1) lagi. Pada seksi ini O₂ (S4) dipisahkan dari *bed* adsorben (CMS#1) dan (CMS#2) dan dialirkan ke silencer (SL1). Kemurnian N₂ pada aliran produk (S3) pada masing masing *bed* dengan temperatur 25°C dan 7,9 bar. Sistem PSA digunakan

untuk menghasilkan gas dengan kemurnian yang lebih tinggi yaitu 95-99,999%, dan dapat digunakan untuk menghasilkan nitrogen dengan laju alir 3000 Nm³/h (K.Krabiell dkk., 1993).

Kelebihan Proses PSA, yaitu :

1. Jika nitrogen yang dibutuhkan kurang dari 560 m³/hr (20.000 SCFH) maka proses ini lebih ekonomis jika dibandingkan dengan proses *cryogenic*.
2. Selama proses shutdown, kehilangan pendapatnya lebih kecil dibandingkan dengan *cryogenic*.
3. Produk PSA bisa dikirim dan digunakan dengan cepat.

Kekurangan proses PSA, yaitu :

1. Jika laju alir meningkat menjadi 1120 m³/hr (40.000 SCFH), maka lebih murah jika diproduksi dengan proses *cryogenic*.
2. Sangat berisik jika digabung dengan proses lainnya.

Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses akumulasi adsorbat pada permukaan adsorben yang disebabkan oleh gaya tarik antar molekul atau suatu akibat dari medan gaya pada permukaan padatan (adsorben) yang menarik molekul-molekul gas, uap, atau cairan (Oscik, 1982). Substansi yang terkonsentrasi pada permukaan didefinisikan sebagai adsorbat dan material dimana adsorbat terakumulasi didefinisikan sebagai adsorben (Hines dkk, 1985). Faktor-faktor yang mempengaruhi daya adsorpsi yaitu tekanan adsorbat, temperatur, dan waktu kontak (Lewis, 2012).

Desorpsi dan Regenerasi Adsorben

Partikel adsorben memiliki kapasitas terbatas untuk molekul fase cair maupun fasa gas. Dalam beberapa aplikasi tertentu mungkin lebih ekonomis untuk membuang adsorben setelah digunakan. Pembuangan adsorben ini dilakukan apabila adsorben yang digunakan memiliki biaya yang rendah, sangat sulit untuk di regenerasi dan produk yang diinginkan bernilai sangat tinggi. Pembuangan adsorben ini tidak bernilai ekonomis, oleh karena itu regenerasi dilakukan baik secara insitu atau eksternal ke bejana adsorpsi sampai tingkat dimana adsorben dapat digunakan kembali.

Metode praktis dalam proses desorpsi dan regenerasi termasuk salah satu, atau lebih biasanya kombinasi dari yang berikut :

1. Peningkatan suhu
2. Pengurangan tekanan parsial
3. Penurunan konsentrasi

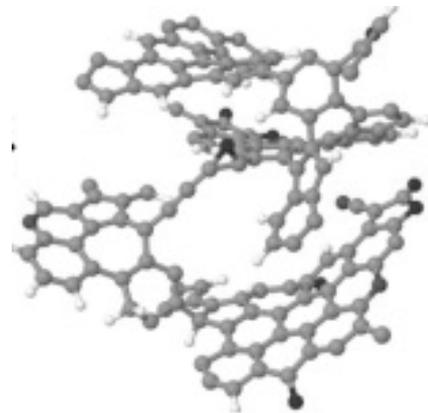
4. Mengubah dengan adsorben yang memiliki penyerapan lebih kuat
5. Perubahan kondisi kimia, misalnya pH

Kesetimbangan Penyerapan

Kesetimbangan adsorpsi adalah suatu keadaan dimana tidak terjadi lagi perubahan konsentrasi adsorbat baik dalam fasa cair maupun di adsorben atau kecepatan adsorpsi dengan desorpsinya telah sama (Lewis, 2012).

Carbon Molecular Sieve (CMS) sebagai Penyerap Oksigen

CMS diproduksi melalui prosedur pembuatan khusus sehingga memiliki ukuran pori yang selektif dan sangat sempit. Bahan baku bisa berupa bahan kimia seperti polyvinylidene dichloride dan phenolic resin, atau menggunkan bahan dari alam berupa batubara antrasit dan batok kelapa. Permukaan CMS pada dasarnya non-polar dan sering digunakan dalam proses produksi nitrogen dengan kemurniaan tinggi dengan metode PSA (Thomas dkk., 1998)



(Thomas dkk, 1998)

Gambar 2. Struktur Molekul CMS

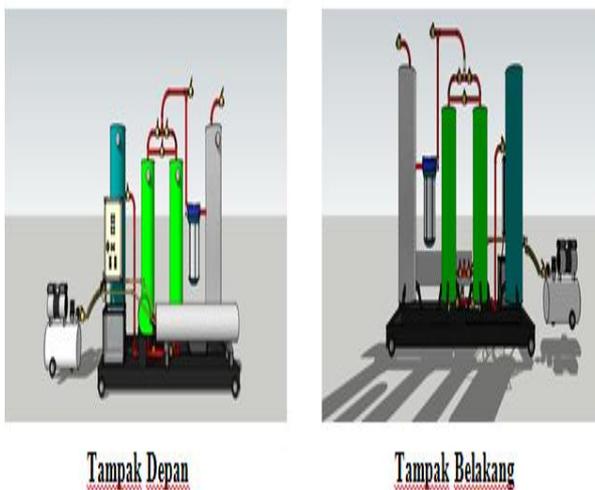
CMS secara khusus digunakan untuk memisahkan oksigen dari nitrogen, bagian penting dalam pengolahan gas alam. Proses ini dilakukan dengan perangkat PSA dalam dua tahap.

- a. Tahap pertama gas memasuki generator PSA dan oksigen teradsorpsi sementara nitrogen melewati karena molekul nitrogen terlalu besar dan digunakan sebagai produk terpisah.
- b. Tahap kedua oksigen perlahan dilepaskan dari CMS pada tekanan rendah dan terjadi proses regenerasi sehingga proses pemisahan dapat diulang.

2. METODOLOGI PENELITIAN

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 proses pengurangan kadar air oleh silica gel. Tangki udara yang digunakan terbuat dari berkapasitas 17.662,50 cm³. Kolom PSA terdiri dari 2 buah kolom yang memiliki kapasitas m³. Kolom PSA dibuat dengan bahan satinless 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 cm³. Didalam kolom PSA terdapat bed adsorben dengan kapasitas 8.229,92 cm³ yang berisi adsorben berupa *Carbon Molecular Sieve* (CMS) sebanyak 11 kg.



Gambar 3. Desain Peralatan Produksi Nitrogen dengan Metode PSA

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

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 dkk., 1993). Dalam hal ini ukuran molekul oksigen lebih kecil jika dibandingkan dengan nitrogen, yaitu 0,29Å dan 0,30Å. Sedangkan ukuran pori CMS adalah 0,3Å. Syarat terjadinya adsorpsi yaitu ukuran molekul adsorber harus lebih besar daripada ukuran molekul yang akan diserap (Shopa, 2012), 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

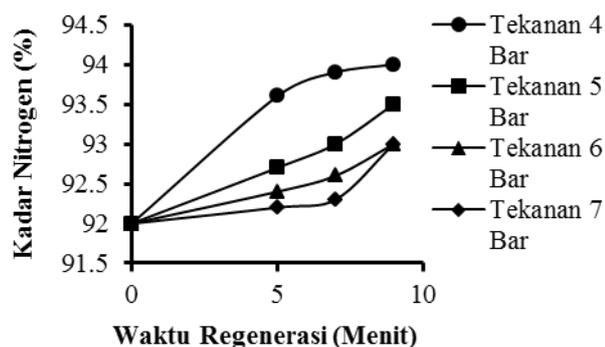
dibandingkan dengan nitrogen karena dimensi kinetik oksigen yaitu 0,46nm lebih kecil dibandingkan nitrogen yang memiliki dimensi kinetik 0,64 nm. Difusi merupakan peristiwa berpindahnya suatu zat dalam pelarut dari bagian berkonsentrasi tinggi ke bagian yang berkonsentrasi rendah. Dalam hal ini, oksigen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

Selain akibat faktor-faktor diatas, proses penyerapan gas oksigen oleh CMS ini juga terjadi akibat adanya SiO₂ 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, maka CMS yang telah jenuh akan dilakukan regenerasi. Proses regenerasi dilakukan melalui proses *depressurization*, yaitu proses penurunan tekanan (Schroter, 1993). 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.

Pengaruh Tekanan dan Waktu Regenerasi terhadap Produksi Gas Nitrogen

Peranan tekanan dan waktu regenerasi terhadap produksi gas nitrogen yang dihasilkan sangat penting, semakin lama waktu regenerasi maka semakin murni kadar nitrogen yang dihasilkan, hal ini disebabkan pada saat proses regenerasi oksigen yang terikat di permukaan *Carbon Molecular Sieve* secara perlahan akan terlepas setelah mengalami penurunan tekanan. 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. Tekanan tersebut mempengaruhi daya adsorpsi CMS yang terjadi pada kolom PSA dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Pengaruh Tekanan dan Waktu Regenerasi Terhadap Kadar Nitrogen yang dihasilkan

Pada tekanan 4 bar dengan waktu regenerasi 9 menit kadar nitrogen yang didapatkan yaitu 94 % sedangkan waktu regenerasi 0 menit kadar nitrogen yang didapat adalah 92 %, hal ini dikarenakan semakin lama proses regenerasi maka semakin banyak juga kadar oksigen yang terlepas dari permukaan adsorber (CMS), keadaan tersebut serupa terjadi pada tekanan 5 bar, 6 bar, dan 7 bar. Dari grafik tekanan yang optimal pada tekanan 4 bar sedangkan waktu regenerasi yang optimal yaitu 9 menit dilihat dari hasil produksi konsentrasi nitrogen yang didapat.

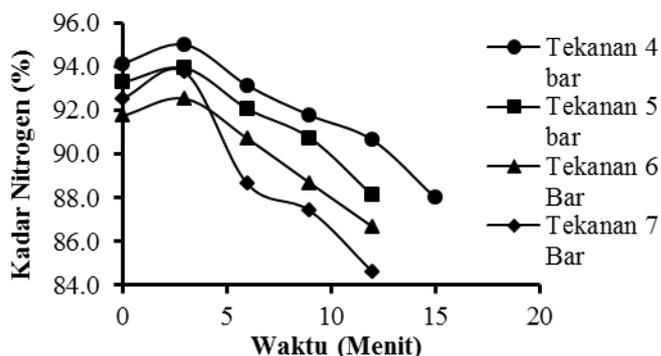
Pengaruh Tekanan terhadap Produksi Gas Nitrogen

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 dkk, 1993). Dalam hal ini ukuran molekul oksigen lebih kecil jika dibandingkan dengan nitrogen, yaitu 0,29Å dan 0,30Å. Sedangkan ukuran pori CMS adalah 0,3Å. Syarat terjadinya adsorpsi yaitu ukuran molekul adsorber harus lebih besar daripada ukuran molekul yang akan diserap (Shopa, 2012), 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 akibat faktor-faktor diatas, proses penyerapan gas oksigen oleh CMS ini juga terjadi akibat adanya SiO₂ 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 dapat terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Pengaruh Tekanan dan Kadar Nitrogen yang dihasilkan terhadap Waktu

Dari Gambar 5, 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 (Lewis, 2012). 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 (Bahl dkk., 1997).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak/Ibu Dosen Pembimbing yang selalu membimbing, memberikan saran dan masukan demi kesempurnaan penulisan artikel ilmiah ini.

4. SIMPULAN

Kondisi maksimum kemurniaan kadar Nitrogen yang ditinjau dari pengaruh waktu regenerasi terhadap kadar Nitrogen yang dihasilkan yang didapat ialah pada kondisi operasi tekanan 4 bar dengan kadar Nitrogen tertinggi yaitu sebesar 94%, dengan waktu regenerasi 9 menit dan kadar nitrogen terendah yaitu 92 % tanpa melakukan Regenerasi. Dari data dapat diketahui pengaruh waktu regenerasi terhadap kadar Nitrogen yang dihasilkan adalah semakin lama waktu regenerasi maka semakin murni kadar nitrogen yang dihasilkan. Berdasarkan data yang didapat waktu regenerasi dan tekanan optimal dari proses produksi nitrogen yaitu waktu 9 menit dan tekanan 4 bar.

Untuk kondisi maksimum kemurniaan kadar Nitrogen yang ditinjau dari pengaruh tekanan terhadap kadar Nitrogen yang dihasilkan 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. Dari data dapat diketahui 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%. 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.

DAFTAR PUSTAKA

- Aris. 2012. *Nitrogen Lebih Baik untuk Ban Sepeda Motor*. <https://otomotif.kompas.com/read/2012/07/30/3386/nitrogen.lebih.baik.untuk.ban.sepeda>. Motor diunduh 18 April 2018.
- Bahl, B. S., Tuli, G. D., dan Bahl, A. 1997. *Essential of Physical Chemistry*. New Delhi S Chan dan

Company, Ltd. New Delhi.

- Emrani, A. S., Saber, M., dan Farhadi, F. 2011. *A Decision Tree for Technology Selection of Nitrogen*. 45(1). 1–11.
- Hines, A.L, dan Robert N. Maddox. 1985. *Mass Transfer Fundamental and Applications*. Prentice Hall Inc. New Jersey.
- K.Krabiell dan A. Schulte Schulze Berndt. 1993. *Nitrogen Separation by Pressure Swing Adsorption on Carbon Molecular Sieve*. 7 No 4(Gas Separation & Purification). 253–257.
- Lewis, R. 2012. *Producing Nitrogen via Pressure Swing Adsorption*. 38–42.
- McCabe, W., Smith, J.C., dan Harriot, P. 1993. *Unit Operation of Chemical Engineering*. McGraw Hill Book, Co. United States of America.
- M Douglas Levan, dan Giorgio Carta. (n.d.). *Perry's Chemical engineering's Handbook* (8 ed.). McGraw Hill.
- Oscik, J. 1982. *Adsorption*. New York: John Willey dan Sons, Inc..
- Schroter, H.J. 1993. *Carbon Molecular Sieve for Gas Separation*. 7 No 4(Gas Separation & Purification). 247–251.
- Shopa. 2012. *Pembuatan Karbon Aktif Berbahan Baku Ampas Tebu Dengan Aktivasi Kalium Hidroksida*. Universitas Indonesia: Depok.
- Spellman, R Frank. 2008. *The Science of Air: Concepts and Application* (2 ed.). New York: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Thomas w. John, dan Barry Crittenden. 1998. *Adsorption Technology and Design*. Oxford: Butterworth Heinemann.