

ANALISIS PENGARUH TEKANAN DAN LAJU ALIR UDARA TERHADAP KEMURNIAN PRODUK GAS NITROGEN YANG DIHASILKAN DENGAN METODE *PRESSURE SWING ADSORPTION* (PSA) DI PT. PERTA ARUN GAS

Jalaluddin^{1*}, M. Yunus¹, Elfiana¹

¹Chemical Engineering, Lhokseumawe State Polytechnic, Jl. Banda Aceh-Medan Km. 280.3, Buketrata, Mosque Punteut, Blang Mangat, Lhokseumawe City, Aceh 24301, Indonesia

*Email: Jalaluddin.pag@gmail.com

ABSTRACT

Nitrogen merupakan senyawa pokok dalam industri kimia. Nitrogen merupakan senyawa inert gas sehingga cocok digunakan untuk berbagai aplikasi yang mencakup berbagai aspek pembuatan, pengolahan, penanganan dan pengiriman bahan kimia. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh impurities, tekanan dan laju alir udara terhadap kemurnian produk gas nitrogen yang dihasilkan dengan metode Pressure Swing Adsorption (PSA), kemudian melakukan komparasi atau perbandingan simulasi data actual lapangan dengan Aspen Adsorption V.10. Metode penelitian yang digunakan adalah deskriptif kualitatif, data dalam penelitian ini adalah data operasional lapangan dan teknik pengambilan data dilakukan secara berkala melalui data logsheet. Dari hasil penelitian didapatkan Purity (kemurnian) pada bulan Oktober s/d November 2023 pada tanggal 05 dan 27 oktober yaitu 99,98 %, dengan flow 52,2 Nm³/h, sedangkan untuk bulan November terdapat 98,01 % (purity) dengan flow 105,0 Nm³/h. Dan setelah dilakukan simulasi menggunakan Aspen Adsorption V.10 dan bervariasi data input didapat Purity sebesar 99,98 %, 99,97 %, 99,91 % dengan flow 100 Nm³/h, 150 Nm³/h, 200 Nm³/h atau 0,4461 kmol/s, 0,6692 kmol/s, 0,8992 kmol/s dalam aplikasi Aspen Adsorption V.10.

Kata Kunci : Nitrogen, Pressure Swing Adsorption (PSA), Aspen Adsorption, Carbon Molecular Sieve (CMS)

1. INTRODUCTION

Salah satu unsur kimia yang paling melimpah di atmosfer bumi adalah gas nitrogen (N₂) yang memiliki berbagai sifat dan karakteristik yang penting. Sebagai gas non-reaktif atau inert gas, yang berarti gas ini cenderung tidak bereaksi dengan zat kimia. Ini membuatnya berguna dalam berbagai aplikasi industri. Nitrogen memiliki titik cair pada suhu -195,8 derajat Celsius (oC) pada tekanan 1 atm.

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).

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).

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 molekuler sehingga memudahkan penyerapan gas utama pada tekanan tinggi. Proses selanjutnya adalah proses swing, yaitu proses

perubahan dari tekanan tinggi ke tekanan rendah untuk mendesorpt atau melepas senyawa yang terserap oleh bahan adsorben.

Produksi nitrogen yang sebelumnya dengan metode cryogenic menjadi metode Pressure Swing Adsorption (PSA) menjadi kendala yang harus dihadapi dikarenakan ketidakcukupan kemurnian dan laju alir gas nitrogen untuk kebutuhan operasional di PT Perta Arun Gas. ada beberapa peralatan yang digunakan dalam memproduksi gas nitrogen dengan metode PSA yaitu kompresor, air dryer, filter dan kolom adsorpsi. Kemurnian (purity) dan laju alir massa gas nitrogen sangat tergantung pada kehandalan peralatan tersebut diatas. Ada beberapa kendala yang menyebabkan supply gas nitrogen tidak tercukupi yaitu akibat pengaruh tekanan dan laju alir udara yang masuk ke kolom adsorpsi.

Kemurnian dan laju alir gas nitrogen yang di adsorpsi pada kolom Pressure Swing Adsorption (PSA) akan tidak maksimal jika udara yang terkompresi masih banyak impurities, sehingga flowrate harus diatur untuk memaksimalkan penyerapan pada kolom adsorpsi agar memperoleh persentase kemurnian gas nitrogen yang dihasilkan menjadi tinggi. supply nitrogen akan menjadi kendala besar jika ada proses loading/Unloading kapal LNG , kapal LPG dan Unloading Condensate PT Medco EP yang dilakukan secara bersamaan.

Melalui penelitian ini diharapkan kebutuhan nitrogen pada fasilitas tanki LNG, Berth/ Loading/ Unloading LNG, LPG Plant, dry gas seal compressor, Fasilitas Condesate Medco, dan lain-lain yang berada di PT Perta Arun Gas untuk dapat dikelola dengan lebih efisien, efektif dan berkelanjutan. Penelitian ini akan mendukung upaya untuk meningkatkan keberlanjutan dan keamanan operasional dalam penyimpanan dan transportasi LNG yang merupakan komponen kunci dalam industri energi global. oleh karena itu studi/ analisa pengaruh tekanan dan laju alir udara terhadap kemurnian produk gas nitrogen yang dihasilkan dengan metode Pressure Swing Adsorption (PSA) di PT Perta Arun Gas memiliki relevansi yang signifikan dalam konteks industri energi dan lingkungan.

2. RESEARCH METHODS

2.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian dan pengambilan data dilaksanakan pada bulan Oktober – November 2023 di unit nitrogen plant (PSA System) PT Perta Arun Gas.

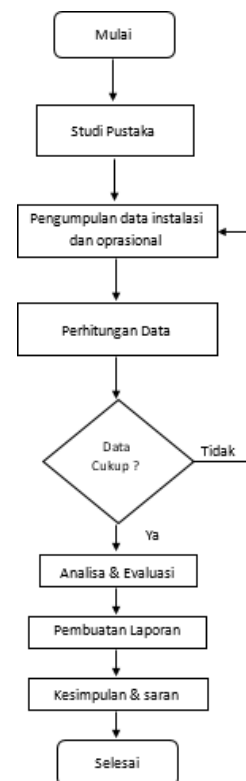
2.2 Nama Unit Peralatan Proses

Unit Peralatan Proses yang akan dilakukan Evaluasi adalah kolom Pressure Swing Adsorption (PSA) NGP300+

2.3 Indikator Kinerja

- Menghitung purity / kemurnian produk gas nitrogen
- Menghitung laju alir produk gas nitrogen
- Menghitung waktu desorption adsorben CMS
- Melakukan Perbandingan data manual dengan data yang diperoleh dengan simulasi Hysys.

2.4 Rencana rancangan evaluasi kinerja peralatan NGP300+



Gambar 1. Perencanaan Evaluasi Kinerja Peralatan PSA

2.4.1 Perhitungan *purity* / kemurnian produk gas nitrogen

Kemurnian gas nitrogen dalam proses *pressure swing adsorption* (PSA) dapat dihitung dengan menggunakan data komposisi gas pada keluaran dari unit PSA. Untuk menghitung kemurnian nitrogen, perlu mengetahui konsentrasi nitrogen (N_2) dalam

gas keluaran dan diukur dalam persentase mol (mol%).

Berikut adalah langkah-langkah umum untuk menghitung kemurnian gas nitrogen dalam proses PSA:

- Pemantauan konsentrasi nitrogen (N_2): dilakukan pemantauan konsentrasi nitrogen dalam aliran gas keluaran dari unit PSA. pemantauan ini dapat dilakukan dengan menggunakan perekaman dilapangan atau *logsheet*.
- Konversi konsentrasi ke persentase mol: jika konsentrasi nitrogen diukur dalam persentase berat atau dalam satuan lainnya, maka perlu mengonversinya ke dalam persentase mol. Ini dapat dilakukan dengan menghitung rasio antara jumlah mol nitrogen (N_2) dengan jumlah total mol gas dalam aliran. dengan menggunakan rumus : Persentase Mol $N_2 = (\text{Jumlah Mol } N_2 / \text{Jumlah total mol gas}) \times 100\%$
- Penentuan kemurnian nitrogen: kemurnian nitrogen dalam aliran gas keluaran PSA dapat dihitung dengan mengurangi persentase mol zat-zat lain (biasanya oksigen, argon, atau gas-gas lain yang mungkin terdapat dalam aliran) dari 100%. dengan kata lain, jika hanya memiliki data konsentrasi nitrogen (N_2) dan konsentrasi zat lain (misalnya, oksigen atau argon), maka dapat menghitung kemurnian nitrogen sebagai berikut: dengan menggunakan rumus :

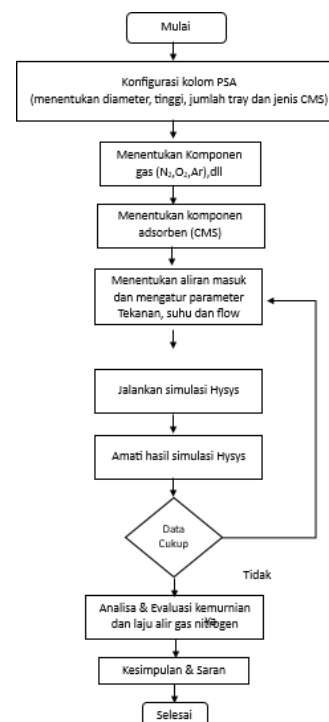
$$\text{Kemurnian Nitrogen} = 100\% - \text{Konsentrasi Zat Lain.}$$

2.4.2 Menghitung laju alir produk gas nitrogen

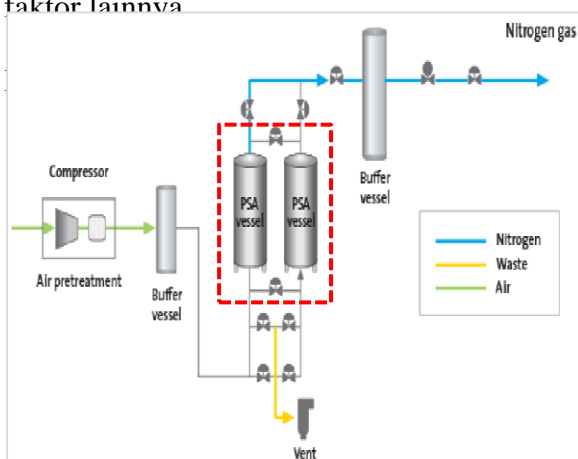
Untuk menghitung laju alir produk gas nitrogen pada proses *Pressure Swing Adsorption* (PSA), dapat dihitung berdasarkan komposisi aliran gas keluaran, laju alir total aliran masuk, dan beberapa faktor lainnya

- Pemantauan laju alir total (Q_{Total}): yaitu dengan memantau/ mengambil data laju alir total aliran gas (udara) yang masuk ke dalam unit PSA. Laju alir total ini dapat diukur dalam satuan yang sesuai, seperti m^3/jam atau kg/jam .
- Perhitung laju alir produk gas nitrogen (Q_{N_2}): Laju alir produk gas nitrogen dapat dihitung dengan mengalikan komposisi nitrogen dalam aliran keluaran (X_{N_2}) dengan laju alir total aliran masuk (Q_{Total}), dengan menggunakan rumus : Laju alir produk gas nitrogen ($Q_{N_2} = X_{N_2} * Q_{\text{Total}}$)
 Jadi, Q_{N_2} adalah laju alir produk gas nitrogen yang keluar dari kolom *pressure swing adsorption* (PSA)

2.4.3 Metode perhitungan menggunakan Hysys Simulation



Gambar 2. Simulasi Hysys Peralatan

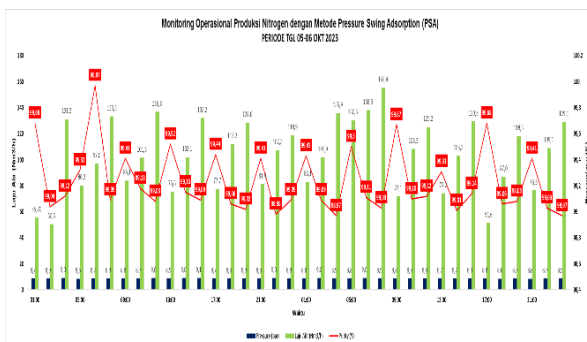


Gambar 3 Flowsheet atau diagram Proses
 (Sumber: Atlas Copco, 2023)

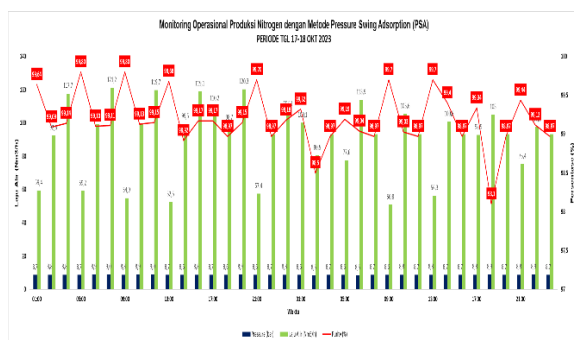
4. RESULTS AND DISCUSSION

4.1 Data Hasil Pengamatan

Penelitian dilakukan selama Bulan Oktober sampai dengan Bulan November Tahun 2023 di Nitrogen Plant PT Pert Arun Gas.



Gambar 4. Grafik pengamatan Purity (%) produk nitrogen periode tanggal 05-06 Oktober 2024



Gambar 5. pengamatan Purity (%) produk nitrogen periode tanggal 17 - 18 Oktober 2023

Dari hasil penelitian pada bulan oktober sampai november 2023 terdapat *purity* (kemurnian) produk nitrogen tertinggi pada periode tanggal 05 oktober & 27 november yaitu 99,97% dengan flow 97,0 Nm³/h dan 99,98 % dengan flow 52,2 Nm³/h. Sedangkan *purity* (kemurnian) produk nitrogen terendah terdapat pada periode tanggal 17 oktober & 15 november 2023 yaitu 98,01% dengan *flow* 105,0 Nm³/h dan 91,20 dengan *flow* 98,9%. Proses ini terjadi pada tekanan 8,7 bar sampai 8,9 bar. Dalam proses *adsorption* pemisahan terjadi akibat adanya

perbedaan ukuran molekul gas nitrogen dan oksigen. CMS yang di *desain* dengan ukuran pori – pori 3,0 Å yang diperkaya dengan SiO₂ (silicon dioksida) akan menyerap molekul oksigen dengan ukuran 2,9 Å sedangkan molekul nitrogen tidak terserap karena molekul nitrogen lebih besar dibandingkan dengan molekul oksigen yaitu 3,1 Å. *Column adsorption* yang sudah mengalami kejenuhan akan dilakukan regenerasi dengan sebagian *flow* produk nitrogen akan dialirkan ke *column* yang akan di regenerasi. Proses regenerasi dilakukan dengan proses *depressurization* yaitu proses penurunan tekanan dengan membuka *valve blowdown* di bagian *column adsorption*, akibatnya pada saat penurunan tekanan oksigen yang menempel pada pori – pori CMS ikut terlepas ke udara melalui *silencer* dan CMS bisa digunakan kembali untuk penyerapan oksigen.

Pengaruh 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 CMS secara perlahan akan terlepas dengan maksimal. Seperti yang terlihat pada grafik pengamatan dilapangan *purity* (kemurnian) gas nitrogen, semakin tinggi laju alir produksi gas nitrogen maka semakin rendah *purity* (kemurnian) yang didapatkan, sebaliknya jika laju alir produk gas nitrogen rendah/ kecil maka *purity* yang didapatkan semakin tinggi.

Pengaruh waktu *swing column adsorption* (proses *desorption*) dengan laju alir produk gas nitrogen, terlihat pada grafik semakin tinggi laju alir produk gas nitrogen maka semakin cepat waktu terjadinya pergantian / *swing column adsorption* dalam menyerap oksigen, ini disebabkan pori – pori adsorben CMS sudah dipenuhi dengan molekul gas oksigen. Kapasitas CMS dalam *column* adsorben adalah 872 liter sesuai dengan data desain untuk type *column adsorption* NGP300+.

Dari hasil pengamatan yang dilakukan menggunakan simulasi hysy (*Aspen Adsorption V.10*) dengan variasi laju alir udara masuk yang berbeda ke dalam *column adsorption* menggunakan simulasi

Aspen Adsorption dengan laju alir 100 Nm³/h, *purity* yang di dapat adalah 99,98%. Untuk laju alir 150 Nm³/h *purity* adalah 99,97% dan laju alir 200 Nm³/h *purity* adalah 99,91 %. Terdapat perbedaan antara hasil pengamatan dilapangan dengan simulasi Hysys *Aspen Adsorption* v.10 dikarenakan kondisi NGP300+ yang sudah terikut *impurities* sehingga *performance* turun dalam memproduksi gas nitrogen.

CONCLUSION

Berdasarkan data penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa;

1. Pada system *pressure swing adsorption* (PSA) di dapat konsentrasi atau *purity* tertinggi yaitu 99,97 % dengan tekanan 8,7 bar dan laju alir 97,0 Nm³/h pada periode tanggal pengamatan 05 oktober 2023 pada pukul 05.00 wib pada *Train/NGP-B*.
2. Pengaruh *impurities* terhadap kemurnian gas produk nitrogen yang dihasilkan disebabkan oleh uapan lube oil yang berasal dari *compressor*. Uapan lube oil tersebut juga akan mempengaruhi waktu *swing column adsorption* (proses *desorption*), dari data penelitian waktu terlama yaitu 5,25 menit dengan laju alir produk nitrogen 10,0 Nm³/h pada periode tanggal 23 november 2023.
3. Perbandingan perhitungan menggunakan simulasi hysys (*Aspen Adsorption* V.10) terdapat selisih yang di sebabkan ada *impurities* yang terikut ke dalam *column adsorption* dan selisih yang terjadi tidak terlalu signifikan.

SARAN

Untuk memperoleh hasil *purity* produk nitrogen yang maksimal penulis menyarankan ;

1. Untuk melakukan pergantian spare part seperti *filter* secara berkala sesuai dengan ketentuan yang di persyaratkan.
2. Preventive maintenance dilakukan secara berkala dan terjadwal untuk menjaga kehandalan *equipment*.
3. Running hours *equipment* agar menjadi prioritas dalam pemantauan sehingga dapat meminimalisir rendahnya *purity* produk nitrogen yang dihasilkan.

4. Untuk mendapatkan kembali *purity* produk nitrogen sesuai dengan desain awal disarankan agar adsorben / media penyerap CMS di uji lab untuk melihat *impurities* yang terikut.
5. Agar mempertimbangkan dan mengkaji kembali kesesuaiannya produksi nitrogen dengan menggunakan metode PSA untuk kebutuhan sesuai dengan bisnis yang dijalankan oleh PT Perta Arun Gas.

REFERENCES

- Emrani, A. S., Saber, M., dan Farhadi, F. 2011. *A Decision Tree for Technology Selection of Nitrogen*. 45(1). 1–11.
- Fatria, Lety Trisnaliani, Aan Harianto, 2018. *Produksi Gas Nitrogen dengan Metode Pressure Swing Adsorption (PSA) menggunakan Carbon Molecular Sieve (CMS) sebagai Penyerap Oksigen*, Politeknik Negeri Sriwijaya.
- H.J. Schroter. (1993). *Carbon Molecular Sieve for Gas Separation*, 7 No 4(Gas Separation & Purification), 247–251
- Hines, A.L, dan Robert N. Maddox. 1985. *Mass Transfer Fundamental and Applications*. Prentice Hall Inc. New Jersey.
- ISO 8573-1 Third edition 2010-04-15 *Compressor Air Part 1 : Contaminants and Purity Classes. Reference Number ISO 8573-1:2010(E)*.
- Ivanova Svetlana, & Robert Lewis. (2012). *Producing Nitrogen via Pressure Swing Adsorption. America Institute of Chemical Engineering (AIChE), (Reactions and Separation)*, 38–42.
- 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.
- Oscik, J. 1982. *Adsorption*. New York: John
Wiley dan Sons, Inc..
- PT Atlas Copco. 2022. *Nitrogen Generation
Package of Receiving & Regasification*
Terminal Arun, Lhokseumawe, Aceh –
Indonesia
- 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.