

## PENGARUH KANDUNGAN Ca PADA CaO-ZEOLIT TERHADAP KEMAMPUAN ADSORPSI NITROGEN

M. Nasikin, Tania Surya Utami dan Agustina TP Siahaan

Jurusan Teknik Gas dan Petrokimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia  
Kampus Baru UI-Depok 16424, Indonesia

E-mail: mnasikin@eng.ui.ac.id

---

### Abstrak

Dalam industri, zeolit Ca digunakan sebagai adsorber selektif nitrogen dengan metode PSA (*Pressure Swing Adsorption*)/VSA (*Vacuum Swing Adsorption*). Zeolit alam dimodifikasi menjadi CaO-zeolit dengan proses *ion exchange* dengan larutan kapur ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Terhadap CaO-Zeolit dengan konsentrasi Ca berbeda dilakukan uji adsorpsi untuk mengetahui selektivitas adsorpsinya terhadap oksigen dan nitrogen. Uji adsorpsi dilakukan pada CaO-zeolit dengan konsentrasi Ca sebesar 0,682%, 0,849% dan 1,244% terhadap oksigen dan nitrogen dengan konsentrasi sebanding secara terpisah. Dilakukan variasi tekanan sebanyak tiga kali selama selang waktu 5 menit waktu adsorpsi, untuk melihat hubungan antara waktu dengan jumlah mol  $\text{N}_2$  dan  $\text{O}_2$  yang teradsorpsi. Uji adsorpsi menunjukkan bahwa terdapat batasan kandungan Ca agar CaO-zeolit lebih selektif mengadsorb nitrogen. CaO-zeolit dengan kandungan Ca >1,125% menyerap nitrogen lebih selektif daripada oksigen. Karena udara bebas mempunyai kandungan nitrogen 4 kali dari oksigen maka pada proses adsorpsi udara oleh zeolit kecepatan adsorpsi nitrogen oleh zeolit akan mencapai 4 kali dari kecepatan adsorpsi oksigen. Perbedaan laju adsorpsi dengan ini memungkinkan untuk memanfaatkan CaO-Zeolit sebagai alat pengkaya oksigen.

### Abstract

In industry, Ca zeolite is used as nitrogen selective adsorbent with the use of PSA (*Pressure Swing Adsorption*)/VSA (*Vacuum Swing Adsorption*) methods. Natural zeolite modified to be CaO-zeolite by ion exchange process using  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Adsorption test was done on CaO-zeolite with different Ca concentration to understand how it's adsorption phenomena on oxygen and nitrogen. Adsorption test has been done for CaO-zeolite with Ca concentration = 0,682%, 0,849% and 1,244% to oxygen and nitrogen with equal concentration separately. Pressure variation has being done three times (5 minutes long each time) adsorption time to analyze the connection between adsorption time and how many moles of nitrogen and oxygen being adsorbed. Adsorption test showed that there is a limit of Ca concentration to make CaO-zeolite more selective to adsorb nitrogen. CaO-zeolite with Ca concentration . 1,125% adsorb nitrogen more selective than oxygen. Because the nitrogen content in air is four times the oxygen so we can conclude that the air adsorption rate by zeolite will be four times the adsorption rate by oxygen. This differences in adsorption rate will make the use for CaO-zeolite as a oxygen enrichment equipment possible.

*Keywords: CaO-zeolite, adsorption, limit, adsorption rate, nitrogen*

---

### Pendahuluan

Dibandingkan dengan LPG yang telah banyak digunakan di kota besar, efisiensi pembakaran minyak tanah dalam kompor minyak tanah sangat kecil yaitu sekitar 11% [1]. Hal ini secara langsung menyebabkan pemborosan pemakaian. Ada dua cara untuk meningkatkan efisiensi pembakaran minyak tanah, yaitu dengan menambahkan oksigen terlarut (oksigenat) seperti alkohol dan eter dalam minyak tanah atau meningkatkan konsentrasi oksigen

dalam udara pembakaran. Tetapi oksigenat umumnya berharga mahal dan kelarutannya dalam minyak tanah sangat rendah [2]. Maka metode lain yang dapat dipilih adalah menaikkan kandungan oksigen pada udara pembakaran dengan cara memasang alat yang mengadsorpsi nitrogen lebih selektif dari oksigen dari udara.

Pengkayaan oksigen dengan metoda PSA (*Pressure Swing Adsorption*) atau VSA (*Vacuum Swing Adsorption*),

telah diaplikasikan untuk menghasilkan oksigen dengan komposisi sampai 99%. Pada metode PSA/VSA udara yang dilewatkan akan teradsorb nitrogennya dan akan menghasilkan udara dengan kandungan oksigen yang lebih besar. Pada penelitian ini akan dilihat bagaimana pengaruh dari kandungan Ca pada CaO-zeolit terhadap fenomena adsorpsi nitrogen dibandingkan dengan oksigen [3,4,5].

Pengujian dilakukan dengan memvariasikan tekanan selama waktu tertentu untuk melihat hubungan antara waktu dan jumlah mol nitrogen dan oksigen yang teradsorpsi. Akan diambil 3 sampel CaO-Zeolit dengan konsentrasi Ca yang bervariasi untuk diuji adsorpsi sehingga dapat diketahui hubungan antara banyaknya kandungan Ca pada CaO-Zeolit dengan jumlah gas nitrogen dan oksigen yang teradsorpsi. Zeolit dengan kandungan Ca terbesar dan memiliki kemampuan adsorpsi selektif terhadap N<sub>2</sub> terbaik akan dipakai sebagai bahan pembuat alat pengkaya oksigen pada penelitian lanjutan.

**Metode Penelitian**

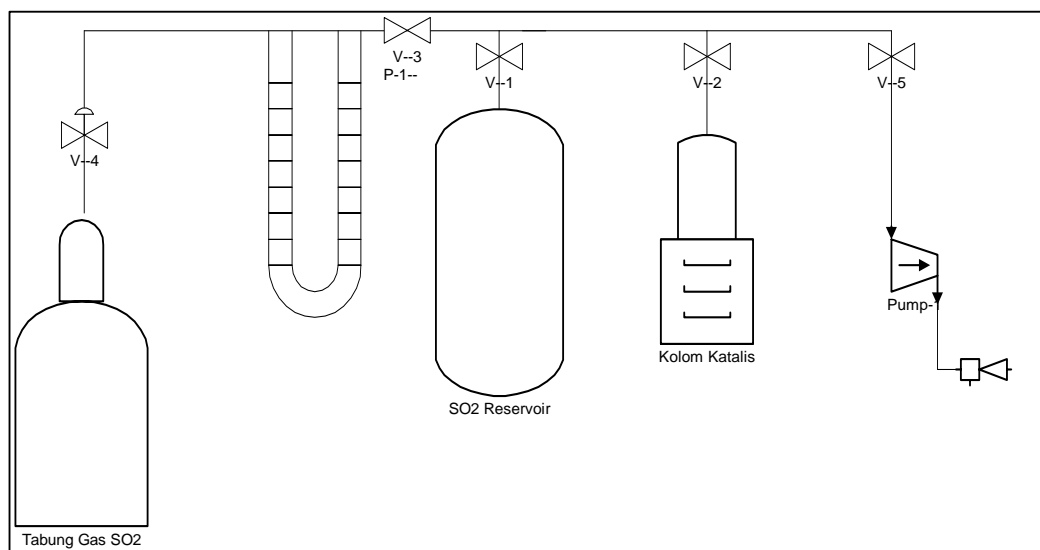
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui selektivitas adsorpsi CaO-Zeolit terhadap nitrogen dan oksigen. Pengujian dilakukan terhadap tiga sampel dengan kandungan Ca berbeda untuk mengetahui hubungan antara kandungan Ca pada CaO-Zeolit dengan kemampuan adsorpsinya. Dilakukan variasi tekanan sebanyak tiga kali selama selang waktu 5 menit waktu adsorpsi, untuk melihat hubungan antara waktu dengan jumlah mol N<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> yang teradsorpsi.

Prosedur yang dilakukan untuk N<sub>2</sub> (Skema peralatan dapat dilihat pada gambar 1) :

- Menghitung volume kolom katalis (V<sub>2</sub>).
- Mengisi tabung reservoir dengan N<sub>2</sub> masing-masing.
- Mengisi tabung katalis dengan katalis yang ingin diuji sebanyak 1 gram.
- Pretreatment:
  - Membuat sistem menjadi vakum (*valve reservoir* dan manometer tertutup)
  - Memanaskan kolom katalis (100°C selama 1 jam)
- Menutup *valve* kolom katalis dan *valve* ke pompa.
- Membuka *valve* reservoir, N<sub>2</sub> akan mengalir, baca tekanan (P<sub>1</sub>)
- Membuka *valve* dari pompa selama 5 menit. Katalis akan mengadsorp N<sub>2</sub>, baca tekanan (P<sub>3</sub>).
- Selanjutnya dilakukan variasi tekanan (dengan prosedur yang sama).

Prosedur diatas diulangi untuk gas O<sub>2</sub> secara terpisah dengan kandungan yang sebanding dengan nitrogen.

Setelah melakukan prosedur diatas, kita akan mendapatkan hasil berupa perbedaan tekanan yang akan dikonversi menjadi jumlah mol teradsorpsi untuk masing-masing gas, oksigen dan nitrogen. Maka akan dapat dilihat hubungan waktu dengan jumlah mol teradsorpsi untuk oksigen dan nitrogen oleh CaO-zeolit dengan kandungan Ca yang berbeda.



Gambar 1. Skema Peralatan Uji Adsorpsi

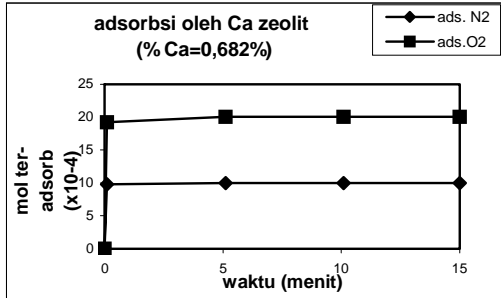
**Hasil dan Pembahasan**

Gambar.2 menunjukkan kemampuan CaO-Zeolit dengan kandungan Ca=0,682% mengadsorpsi oksigen dan nitrogen selama 15 menit waktu pengujian. Dapat dilihat dari gambar tersebut, bahwa adsorpsi terjadi sangat cepat dan langsung jenuh (kurang dari 5 detik). Gambar 3 menyimpulkan fenomena adsorpsi pada 30 detik pertama, dimana N<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> hanya teradsorpsi dengan cepat pada 30 detik dan setelah itu mengalami kejenuhan. Terlihat perbedaan laju adsorpsi (*slope*) yang besar antara adsorpsi oksigen dan nitrogen dimana oksigen lebih selektif teradsorpsi. Hal ini menunjukkan pada konsentrasi Ca sebesar ini oksigen diadsorpsi lebih cepat dibandingkan nitrogen.

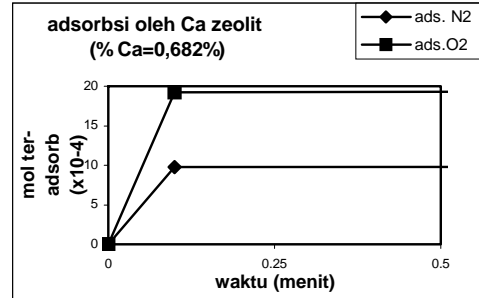
Gambar 4 menunjukkan kemampuan CaO-Zeolit dengan kandungan Ca = 0,849 % terhadap adsorpsi oksigen dan nitrogen selama 15 menit waktu pengujian. Dapat dilihat dari gambar tersebut, bahwa adsorpsi terjadi sangat cepat dan langsung jenuh (tidak mengalami perubahan yang signifikan setelahnya) seperti terjadi pada CaO-Zeolit sebelumnya. Apabila dilihat lebih jelas ketika 30 detik pertama seperti ditunjukkan Gambar 5, seperti kasus sebelumnya

(kandungan Ca=0,682%) adsorpsi terhadap oksigen juga lebih baik dibandingkan dengan adsorpsi terhadap nitrogen oleh CaO-Zeolit. Tetapi laju adsorpsi (*slope*) yang tercipta lebih kecil dibandingkan dengan yang kandungan Ca=0,682%. Hal ini menunjukkan hubungan terbalik antara kandungan Ca dengan selektifitas adsorpsi nitrogen dan oksigen. Semakin banyak kandungan Ca pada CaO-Zeolit, maka kemampuan untuk mengadsorpsi oksigen akan semakin buruk dan sebaliknya kemampuan untuk mengadsorpsi nitrogen akan lebih baik

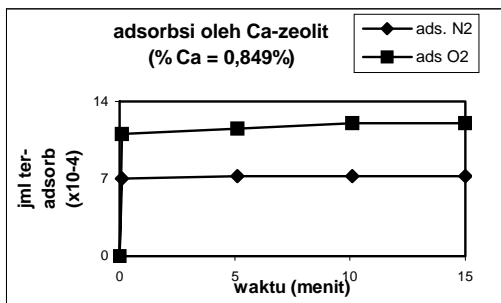
Sama pada kasus adsorpsi sebelumnya, adsorpsi pada CaO-zeolit dengan kandungan Ca=1,244% terjadi sangat cepat (kurang dari 5 detik) dan langsung jenuh. Secara lengkap dapat dilihat di Gambar 6. Dapat dilihat dari Gambar 7, bahwa fenomena yang terjadi berbeda dengan zeolit dengan kandungan Ca yang lebih kecil. Pada konsentrasi Ca=1,244%, CaO-Zeolit lebih cepat mengadsorpsi nitrogen dibandingkan oksigen. Ini menunjukkan bahwa terdapat batasan tertentu dari banyaknya kandungan Ca pada CaO-Zeolit terhadap kemampuannya untuk secara selektif mengadsorpsi nitrogen.



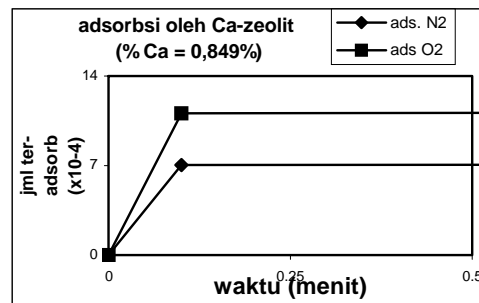
Gambar 2. Pengaruh waktu adsorpsi terhadap N<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> (% Ca = 0,682%)



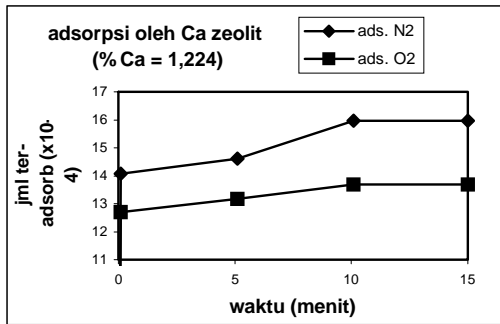
Gambar 3. Pengaruh waktu adsorpsi terhadap N<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> selama 30 detik pertama (% Ca = 0,682%)



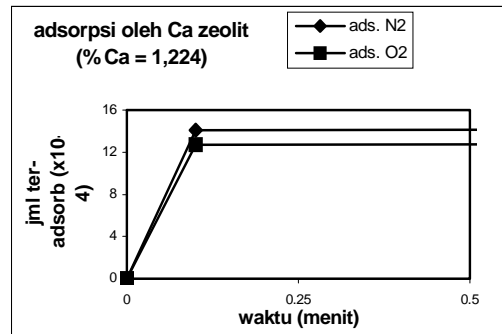
Gambar 4. Pengaruh waktu adsorpsi terhadap N<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> (% Ca= 0,849%)



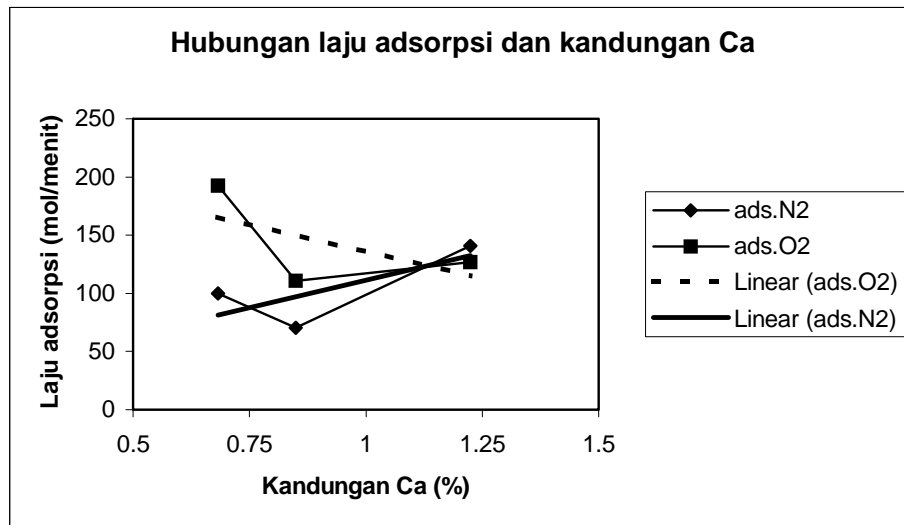
Gambar 5. Pengaruh waktu adsorpsi terhadap N<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> selama 30 detik pertama (% Ca = 0,849%)



Gambar 6. Pengaruh waktu adsorpsi terhadap N<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> (% Ca = 1,244%)



Gambar 7. Pengaruh waktu adsorpsi terhadap N<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> selama 30 detik pertama (% Ca = 1,244%)



Gambar 8. Hubungan laju adsorpsi dengan kandungan Ca

Dari hasil yang didapatkan sebelumnya, yaitu bahwa kandungan Ca berpengaruh terhadap selektifitas adsorpsi nitrogen dan oksigen, dibuatlah grafik seperti pada Gambar.8 yang merupakan gabungan dari Gambar.2 sampai Gambar 7. Dapat dilihat, apabila dibuat linearisasi dari hubungan kandungan Ca dan laju adsorpsi nitrogen dan oksigen akan didapat sebuah titik balik yang merubah selektifitas adsorpsi CaO-Zeolit. Yaitu pada kandungan Ca=1,125% CaO-Zeolit akan lebih cepat mengadsorpsi nitrogen dibandingkan oksigen. Hal ini disebabkan karena sebelum batas kandungan Ca tertentu (1,125%), gaya dispersi lebih berperan dibandingkan kuat momen *quadrupole* antara gas dan padatan zeolit.

Ada dua fakta yang dapat disimpulkan dari data-data pada penelitian ini, yaitu:

1. Molekul dengan diameter kinetik lebih kecil dari ukuran pori akan lebih mudah teradsorpsi. Diameter

kinetik oksigen adalah 3,4 Å, diameter kinetik nitrogen adalah 3,6 Å sedangkan diameter pori rata-rata zeolit adalah sekitar 8,35 Å. Hal ini menyebabkan zeolit dengan konsentrasi Ca di bawah 1,125 % lebih selektif terhadap oksigen karena gaya dispersi di permukaan masih lebih dominan.

2. Pada zeolit, gaya interaksi adsorbat-adsorben terutama gaya dispersi sangat berperan sampai konsentrasi Ca tertentu. Pada konsentrasi Ca >1,125% adsorpsi lebih banyak terjadi di dalam rongga zeolit yang sangat dipengaruhi efek *quadrupole*. Seperti sudah dibahas sebelumnya, nitrogen mempunyai momen *quadrupole* lebih besar daripada oksigen (nitrogen = 0,31 ANG dan oksigen = 0,1 ANG) maka pada tahap ini (Ca>1,125%) nitrogen akan diadsorpsi dengan lebih selektif oleh CaO-Zeolit.

Selain itu penelitian ini melakukan uji adsorpsi pada konsentrasi oksigen dan nitrogen yang sebanding. Sementara udara bebas mempunyai kandungan nitrogen hampir empat kali kandungan oksigen. Pada proses adsorpsi udara oleh zeolit kecepatan adsorpsi nitrogen oleh zeolit akan mencapai 4 kali dari kecepatan adsorpsi oksigen. Perbedaan kecepatan adsorpsi yang besar tersebut memungkinkan untuk memanfaatkan CaO-Zeolit sebagai alat pengkaya oksigen.

### **Kesimpulan**

1. Kation dalam Zeolit alam dapat dipertukarkan dengan kation lain untuk merubah sifat adsorbsinya.
2. Urutan selektivitas pertukaran ion sangat tergantung dari kondisi operasi yaitu konsentrasi dan suhu pertukaran ion.
3. Terdapat batasan kandungan Ca pada CaO-zeolit agar nitrogen lebih selektif diadsorpsi daripada oksigen yaitu pada konsentrasi Ca  $\geq 1,125\%$

### **Daftar Pustaka**

- [1] L.Saharui, M. Nasikin, Jur.Tek. 2 (2000) 209.
- [2] R.H.Perry, D.W. Green, Chemical Engineers Handbook, 7th ed. McGraw Hill, New York, 1999.
- [3] A. Chen, Chem. Eng. Paper 23 (2001) 489.
- [4] F.L. Slejko (Ed.), Adsorption Technology, Marcel Dekker, New York, 1985.
- [5] M. Suzuki, Adsorption Engineering, Elsevier, Amsterdam, 1990.
- [6] R.T.Yang, Gas Separation by Adsorption Process, Imperial College Press, London, 1997.