

Kemampuan Daya Serap Zeolit Sintetis Dibandingkan dengan Serpentin Teraktifasi Terhadap Gas CO₂

M. LUTFI, HARRY TETRA ANTONO, AGUS WAHYUDI, RETNO DAMAYANTI

Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara
Jl. Jenderal Sudirman 623 Bandung
Telp. (022) 6030483, Fax. (022) 6003373
Email: lutfi@tekmira.esdm.go.id

ABSTRAK

Kebutuhan energi yang semakin meningkat merupakan salah satu penyebab peningkatan konsentrasi CO₂ di atmosfer. Penelitian tentang penangkapan CO₂ telah banyak dilakukan, beberapa material dapat dipakai sebagai adsorben CO₂. Kegiatan yang dilakukan meliputi pembuatan bahan penyerap yang berasal dari beberapa material/mineral, yaitu zeolit sintetis dan aktivasi serpentin; perancangan alat simulasi dan uji coba penyerapan CO₂. Kedua material tersebut kemudian diujikan sebagai material penyerap/adsorben gas CO₂ pada alat simulasi penyerapan CO₂. Hasil serapan tertinggi gas CO₂ menggunakan zeolit sintetis adalah 13.98% (3.92 g/g) dengan jumlah zeolit yang digunakan sebesar 5 g, sedangkan bila menggunakan serpentin teraktifasi adalah 14.3 % (5.13 g/g) dengan jumlah serpentin yang digunakan sebesar 5 g, keduanya dapat digunakan sebagai bahan penyerap CO₂.

Kata Kunci: Zeolit Sintetis (NaX), Serpentin, adsorben CO₂, kapasitas adsorpsi.

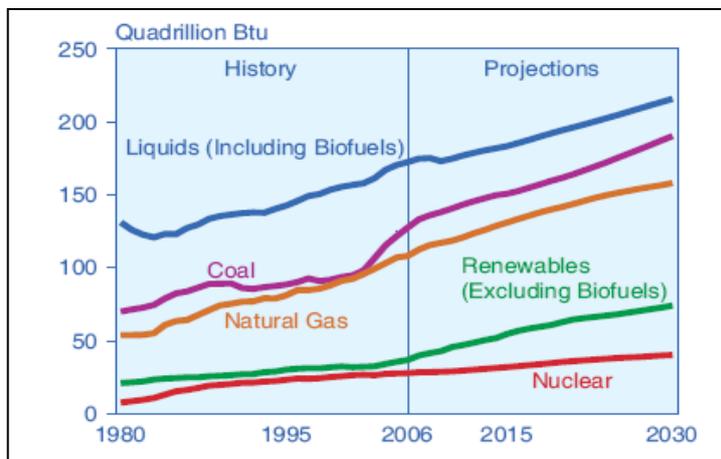
ABSTRACT

The increase of energy requirement is one of the causes of the increase in the concentration CO₂ in the atmosphere. The research on capturing CO₂ has been carried out, several materials could be used as adsorbent CO₂. The activities that were carried out covered the production of the adsorbent material by using several materials/minerals, those are synthetic zeolite and activated serpentine; simulation instrument design and the absorption test of CO₂. Both materials were then tested for adsorbing CO₂ gas using instrument. High Results of the absorption test show that synthetic zeolite and activated Serpentine of 5 g could adsorb CO₂ gas 13.98% (3.92 g/g) and 14.3 % (5.13 g/g) respectively, so both of them could be used as adsorbent material for CO₂ gas.

Keywords: Synthetic Zeolite (NaX), Serpentine, adsorbent CO₂, capacity of adsorption.

1. LATAR BELAKANG

Proses melepaskan karbondioksida ke udara yang selanjutnya terakumulasi di atmosfer akibat pembakaran bahan bakar fosil telah berlangsung sejak dulu. Hal ini terjadi di hampir seluruh belahan bumi, termasuk di Indonesia sebagaimana terlihat dari komposisi bauran energi nasional yang hingga tahun 2030 masih menggantungkan pada penggunaan batubara dan BBM (Gambar 1).



Gambar 1. Penggunaan Energi Dunia Berdasarkan Jenis Bahan Bakar

Berkaitan dengan hal di atas perlu dilakukan langkah-langkah rasional dalam rangka mitigasi terhadap perubahan iklim, yaitu tindakan yang diperlukan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan memperbesar potensi penyerapan karbon dalam pencegahan pemanasan global.

Pada umumnya, proyek percontohan penangkapan karbon dilakukan melalui *post-combustion*, karena teknologi ini merupakan teknologi yang telah mapan pada proses penangkapan karbon.

Karakter sorben yang dibutuhkan adalah yang memiliki kapasitas adsorpsi CO₂ yang tinggi, dan memiliki stabilitas kimia dan mekanik untuk periode operasi yang lama dalam siklus berulang. Untuk itu maka mulai tahun 2010, Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara melakukan kegiatan untuk penguasaan teknologi penangkapan CO₂ dengan cara mengembangkan material penyerap CO₂ yang merupakan langkah awal untuk menerapkan teknologi penangkapan CO₂ pada industri berbahan bakar batubara di Indonesia.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Penggunaan Zeolit Sintetis sebagai Penyerap Gas CO₂

Proses adsorpsi pada teknologi *post-combustion* penangkapan CO₂ menggunakan *molecular sieves* atau karbon aktif sebagai adsorben. Menurut Yokoyama (2003), adsorben yang dapat digunakan adalah zeolit X. Hasil uji pilot pemulihan CO₂ dari gas buang pembakaran batubara oleh proses adsorpsi menunjukkan bahwa kemurnian CO₂ yang dipulihkan adalah sekitar 99,0%-volum dengan menggunakan sistem PSA (*Pressure Swing Adsorption*) dan PTSA (*Pressure Temperature Swing Adsorption*) dua tahap (Ishibashi et al., 1999). Berdasarkan pemodelan matematika, dan data dari instalasi percobaan skala pilot, rancangan proses lengkap skala industri layak digunakan. Kelemahan metoda adsorpsi adalah diperlukannya pengolahan gas umpan sebelum pemisahan CO₂ di dalam adsorber. Operasi pada temperatur tinggi dengan sorben lainnya dapat menghindari kebutuhan ini (Sircar dan Golden, 2001). Dalam banyak kasus, gas perlu didinginkan dan dikeringkan yang membatasi daya tarik PSA, TSA ataupun ESA (*Electric Swing Adsorption*) bila dibandingkan dengan proses absorpsi kimia. Pengembangan bahan generasi baru yang dapat mengadsorpsi CO₂ secara efisien akan meningkatkan daya saing penggunaan metode adsorpsi dalam aplikasi gas buang.

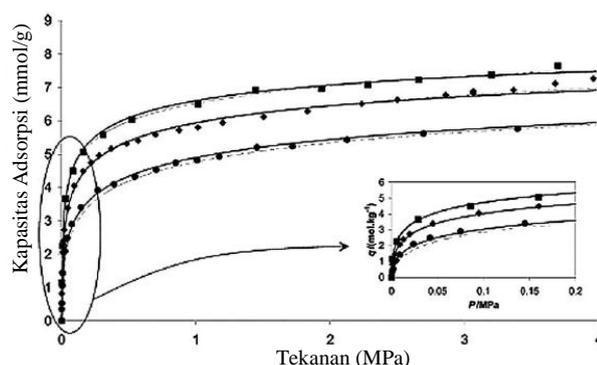
Bahan lainnya yang dapat digunakan dalam pemisahan CO₂ pada temperatur tinggi adalah membran ataupun oksida logam, seperti: CaO. Sorben padatan yang sedang diteliti untuk penangkapan CO₂ pada skala besar adalah oksida sodium ataupun potassium, dan karbonat (untuk memproduksi bikarbonat), biasanya disangga pada substrat padatan (Hoffman et al., 2002; Green et al., 2002). Selain itu, sorben berbasis Li ataupun berbasis CaO pada temperatur tinggi merupakan kandidat yang tepat. Penggunaan senyawa yang mengandung litium (oksida litium, litium-zirkonia, ataupun litium silika) dalam siklus karbonasi-kalsinasi, pertama kali diinvestigasi di Jepang (Nakagawa dan Ohashi, 1998). Kinerja sorben ini sangat

baik, dengan reaktivitas yang sangat tinggi dalam rentang temperatur yang lebar di bawah 700° C, regenerasi yang cepat pada temperatur yang lebih tinggi dan daya tahan dalam siklus berulang penangkapan-regenerasi.

Kelakuan adsorpsi CO₂ dari beberapa kelas adsorben CO₂ padatan yang berbeda, termasuk zeolit, karbon aktif, kalsium oksida, hidrotalsit, hibrida organik-anorganik, dan kerangka logam-organik (Sunho Choi et al., 2009).

Penelitian Tezel mengenai kemampuan beberapa zeolit sintetis yaitu 13X, NaY, HiSiv-1000 (zeolit komersial NaY dengan rasio SiO₂/Al₂O₃ > 20), HY-5, ZSM-5-30 (MFI) dan HiSiv-3000 (zeolit komersial berdasarkan pada struktur ZSM-5 dengan rasio SiO₂/ Al₂O₃ > 1000). Isotermal adsorpsi komponen CO₂ murni pada zeolit ini memperlihatkan range kapasitas adsorpsi yang lebar dari 1,2 mmol per gram adsorben (HY-5) hingga 4,5 mmol per gram (13X) pada 295 K dan tekanan 1 bar.

Siriwardane juga melakukan penelitian mengenai kemampuan adsorpsi CO₂ dari zeolit alam *chabazite* (CHA) dan *Clinoptilolite* (HEULANDITE) hingga tekanan setinggi 20 bar dan dari isotermal adsorpsi terlihat bahwa terjadi peningkatan kapasitas adsorpsi CO₂ dengan tekanan hingga 1 bar dan diikuti oleh kapasitas adsorpsi yang berangsur angsur linier hingga tekanan maksimum studi. Sifat adsorpsi CO₂ pada zeolit pada kondisi tekanan tinggi juga diinvestigasi oleh Rodrigues dimana kapasitas adsorpsi CO₂ zeolit 13X dievaluasi pada tekanan hingga 50 bar pada tiga suhu yang berbeda seperti tampak pada Gambar 2.



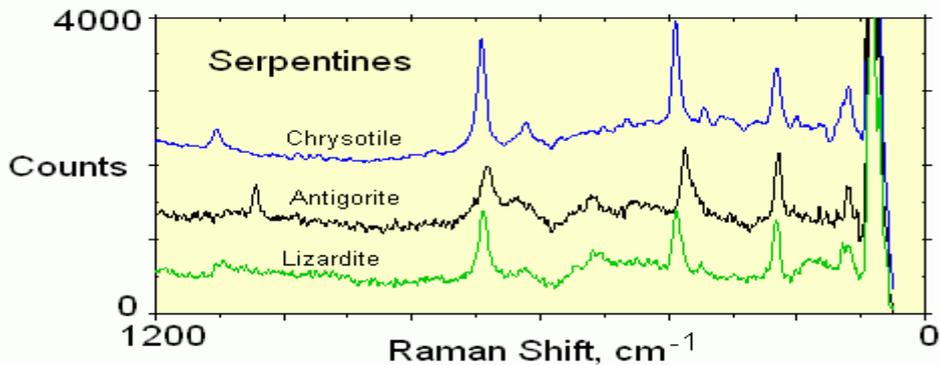
Gambar 2. Isotermal Adsorpsi CO₂ Zeolit 13X

■: T=298 K , ◆: T=308 K , ●: T=323K , garis padat adalah Model Toth , garis putus-putus adalah model *multisite Langmuir*

Isotermal zeolit 13X pada 293, 308 dan 323 K memperlihatkan adsorpsi CO₂ pada tekanan yang diberikan menurun secara signifikan akibat adanya sedikit kenaikan suhu. Kapasitas adsorpsi 13X terhadap CO₂ meningkat perlahan dengan naiknya tekanan (Rosa, dkk. 2011).

Penggunaan Serpentin sebagai Penyerap Gas CO₂

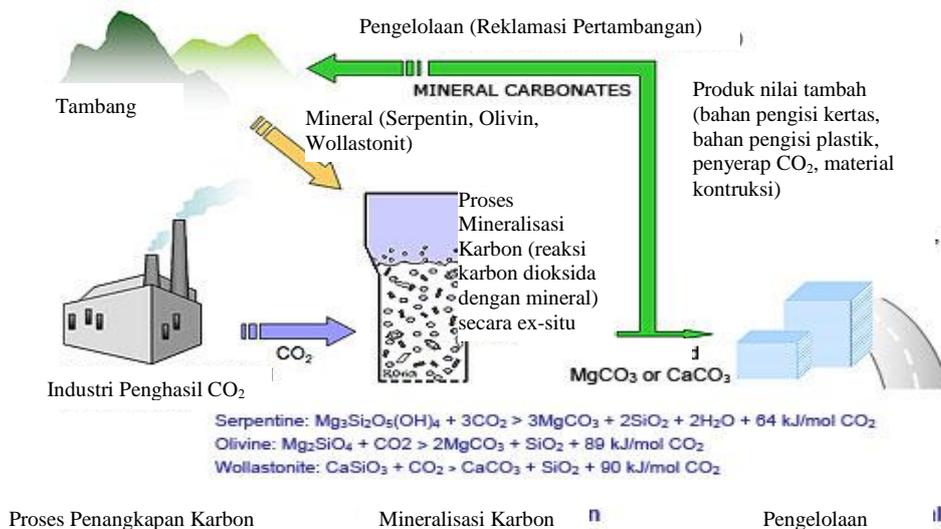
Batuan serpentin merupakan batuan metamorf yang terbentuk dari mineral serpentin akibat perubahan basalt dasar laut yang bertekanan tinggi pada temperatur rendah. Mineral serpentin tergolong dalam kelas mineral silikat yaitu *Phyllosilicates*. Batuan Serpentin sering digunakan untuk batu hias dan dipakai untuk industri mineral. Mineral Serpentin mengandung *chrysotile* yaitu mineral serpentin yang mengkristal membentuk serat tipis yang panjang. Mineral serpentin memiliki beberapa senyawa kimia antara lain *Antigorite*; [(Mg,Fe)₃Si₂O₅(OH)₄], *Clinochrysotile* [Mg₃Si₂O₅(OH)₄], *Lizardite* [Mg₃Si₂O₅(OH)₄], *Orthochrysotile* [Mg₃Si₂O₅(OH)₄], *Parachrysotile* [(Mg,Fe)₃Si₂O₅(OH)₄]. Perbandingan karakteristik berbagai mineral tersebut yang ditampilkan oleh FT-Raman spectroscopy tersaji dalam Gambar 3.



Gambar 3. Karakteristik serpentin. (Rinaudo., et. al., 2003)

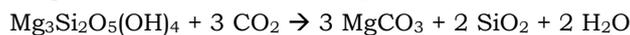
Karakteristik batu serpentin adalah berwarna hijau kehitaman, cokelat, merah dan hitam, kekerasan antara 2,5-5, bentuk kristal ortorombik, monoklin, dan heksagonal, ortorombik, monoklin, dan heksagonal, berat jenis 2,5-2,6.

Mineral serpentin dapat digunakan sebagai bahan alternatif penyerap gas CO₂. Metode penyerapan ini diharapkan dapat menurunkan emisi gas CO₂ sehingga dapat menurunkan terjadinya pemanasan global sebagai pemicu fenomena perubahan iklim. Skema penyerapan karbonnya tersaji dalam Gambar 4.



Gambar 4. Skema penyerapan karbon. (Park dan Fan, 2004)

Reaksi yang terjadi pada proses diatas adalah sebagai berikut:



Menurut Mc Kelvy., et., al 2001 dalam Huijgen dan Comans , 2003, energi kinetika reaksinya terdiri dari 2 tahap, yaitu:

Tahap 1 : $Mg(OH)_2 \rightarrow MgO + H_2O$ (dehidroksinasi)

Tahap 2 : $MgO + CO_2 \rightarrow MgCO_3$ (karbonasi)

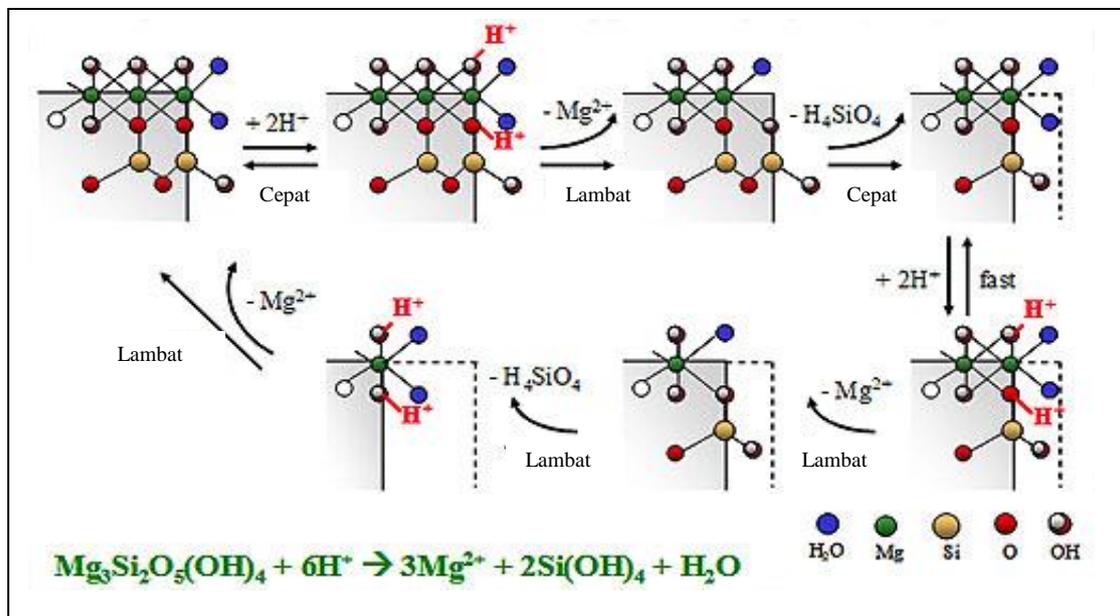
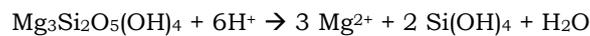
Reaksi tahap pertama merupakan suatu reaksi yang dapat bolak-balik, sehingga persamaannya menjadi:



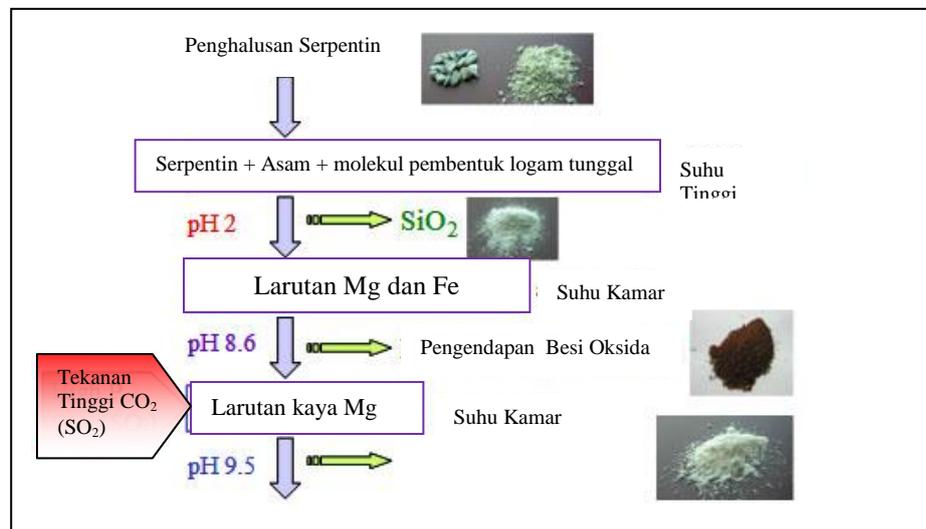
Serpentin harus diaktifasi terlebih dahulu, agar dapat digunakan sebagai bahan penyerap gas CO₂. Terdapat berbagai macam metode aktivasi yang dapat dilakukan. Pertama melalui proses fisika. Proses ini dilakukan dengan memanaskan serpentin di dalam tungku pada suhu 650°C selama 3 jam. Metode aktivasi serpentin yang kedua adalah secara kimia. Melalui metode ini serpentin direaksikan dengan beberapa zat kimia seperti asam klorida (HCl), asam sulfat (H₂SO₄), asam fosfat (H₃PO₄) dan asam asetat (CH₃COOH). Proses aktivasi dilakukan dengan mereaksikan asam klorida, asam sulfat dan asam fosfat dengan serpentin pada suhu 150°C selama 1 jam. Selanjutnya serpentin tersebut didinginkan dan direaksikan dengan asam asetat pada suhu kamar selama 24 jam. Kondisi terakhir serpentin adalah bersuasana basa (NaOH) (Maroto., et. al., 2004). Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa proses kimia tidak efektif menghilangkan kadar air (*moisture content*) serpentin dibandingkan dengan proses aktivasi secara fisika. Selisih efektifitasnya mencapai 11%. Namun aktivasi secara proses kimia dapat efektif meningkatkan kadar MgO lebih tinggi dibandingkan dengan proses fisika.

Sementara Yoo., et.al., 2009 mengemukakan bahwa serpentin dapat diaktifasi hanya dengan menggunakan asam sulfat (H₂SO₄). Diungkapkan bahwa serpentin dapat menjadi aktif dengan mereaksikan bahan tersebut dengan asam sulfat 0,5M pada suhu 90°C selama 30 menit. Energi aktifasinya mencapai 82 kJ/mol.

Hasil penelitian Park dan Fan, 2004, lebih memperjelas lagi tentang proses aktivasi serpentin. Proses aktivasi sebenarnya adalah menghilangkan SiO₂ yang melekat di permukaan serpentin. SiO₂ merupakan penghalang terjadinya reaksi antara MgO dengan gas CO₂. Untuk menghilangkan SiO₂ pada serpentin, digunakanlah asam klorida (HCl). Serpentin direndam dalam larutan asam klorida berkonsentrasi 1 M selama 5 jam pada suhu 70°C dan bertekanan ruangan (1 atm). Dengan proses pelindian ini sekitar 40% MgO dapat dihasilkan. Konsentrasi slurrynya berkisar 2,5 g/80 ml yang sangat cocok digunakan sebagai bahan penyerap gas CO₂. Untuk menambah daya serap serpentin, ditambahkan ammonia hidroksida (NH₄OH) hingga pH nya mencapai 10. Prosesnya tampak pada Gambar 5. Reaksi yang terjadi pada proses ini adalah sebagai berikut :



Gambar 5. Mekanisme pelarutan serpentin (Park dan Fan, 2004)



Gambar 6. Proses penyesuaian pH (Park dan Fan, 2004)

Kajian secara mendalam mengenai penggunaan serpentin sebagai bahan penyerap gas CO₂ di Finlandia (Zevenhoven dan Kohlmann, 2001) telah dilakukan. Salah satu kajiannya adalah di pembangkit listrik Salmisaari. Hasil kajiannya menunjukkan bahwa untuk menangkap gas CO₂ dibutuhkan serpentin sebanyak 2,1 Metrik ton (1000 kg) setiap tahunnya. Agar efisiensi penyerapan mencapai 100%, maka dibutuhkan mineral serpentin sekitar 2,18 Metrik ton (1000 kg). Sementara untuk mereduksi 5% gas CO₂, dibutuhkan sekitar 6,11 Metrik ton (1000 kg) serpentin. Setiap ton CO₂ akan menghasilkan 0,66 ton silika, 1,92 ton magnesium karbonat, dan setiap 1 ton serpentin dapat menghasilkan 1,2 ton produk padatan.

3. METODOLOGI

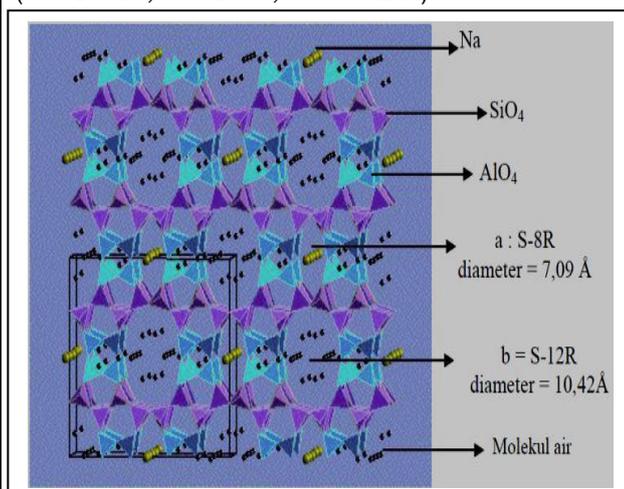
Kegiatan penelitian yang dilakukan terdiri dari pembuatan zeolit sintesis dan aktivasi serpentin, uji coba adsorpsi CO₂, modifikasi alat pengurang CO₂ dengan penambahan oven pada keluaran gas CO₂ sintesis dan karakterisasi adsorben yang dijelaskan dalam tabel berikut.

Tabel 1. Karakterisasi Mineral Serpentin

Rumus Kimia	Mg ₆ (Si ₄ O ₁₀)(OH) ₈
Berat Jenis (g/cm ³)	2.7 – 2.8
Sistem Kristal	Orthorombik, Monoklin dan Heksagonal
Warna	Hijau kehitaman, Coklat, Merah dan Hitam
Goresan	Putih
Kekerasan (mohs)	3.5-4

Tabel 2. Karakteristik Zeolit NaX

Rumus Kimia	Alumunium Silikat Terhidrasi (Al ₂ O ₃ :SiO ₂ :H ₂ O)
Berat Jenis (g/cm ³)	2.0 – 2.3
Sistem Kristal	ortorombik dengan simetri grup ruang Cmc (a = 18.13; b = 20.5; c = 7.52 Å)
Warna	Putih, kebiruan, kemerahan dan Coklat

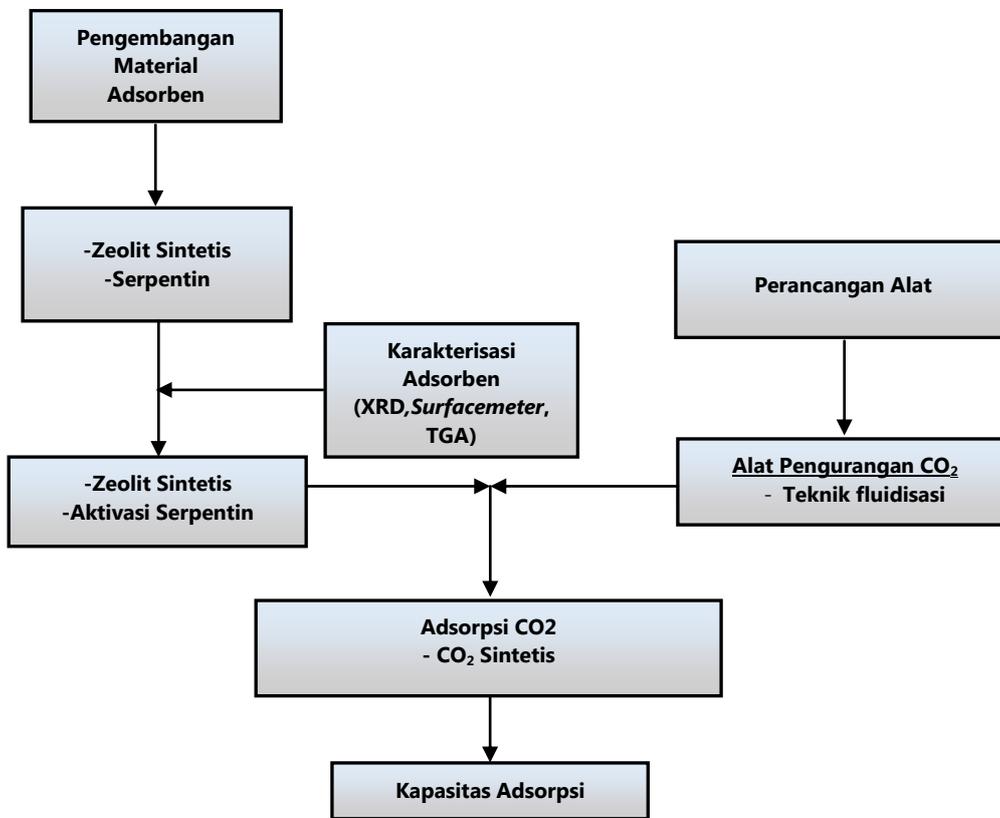


Sedangkan zeolit sintetis memiliki sifat yang lebih baik dibanding dengan zeolit alam, Perbedaan terbesar antara zeolit sintetis dengan zeolit alam adalah :

1. Zeolit sintetis dibuat dari bahan kimia dan bahan-bahan alam
2. Zeolit sintetis memiliki perbandingan silika dan alumina yaitu 1:1 sedangkan pada zeolit alam hingga 5:1
3. Zeolit alam tidak terpisah dalam lingkungan asam seperti halnya zeolit sintetis.

(Rodhie Saputra, Pemanfaatan zeolit sintetis)

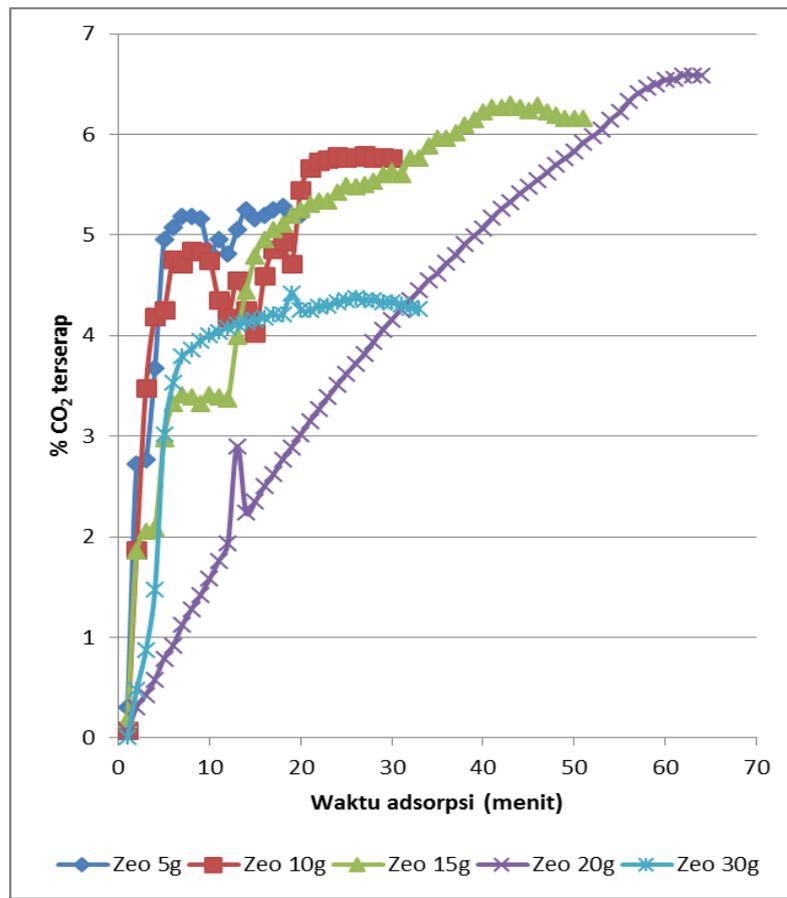
Pengembangan adsorben menggunakan zeolit sintetis dan serpentin. Karakterisasi adsorben meliputi analisis luas permukaan, XRD, dan TGA. Alat pengurang CO₂ dirakit berdasarkan teknik fluidisasi. Adapun pengukuran CO₂ dari gas buang memakai alat *flue gas analyzer*.



Gambar 7. Alur Proses Percobaan Adsorpsi CO₂

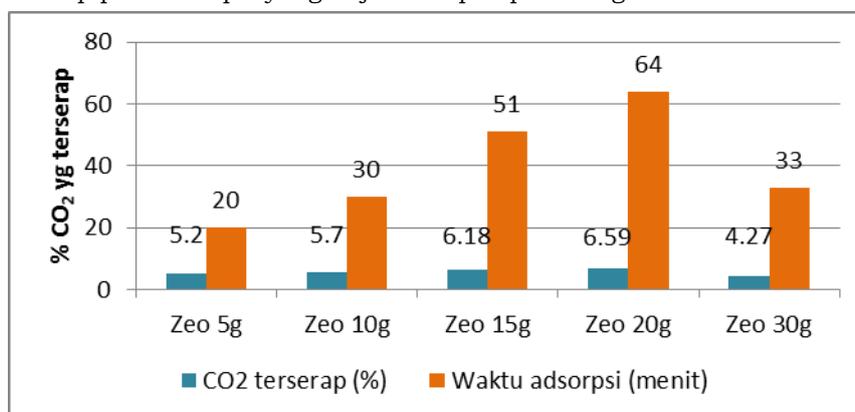
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji coba adsorpsi dilakukan dengan gas CO₂ sintesis dengan kisaran konsentrasi CO₂ 8-15 % (sisanya N₂) dan gas buang hasil pembakaran batubara. Variabel berubah pada penelitian ini adalah berat adsorben dan interval waktu adsorpsi. Pembacaan pengukuran dihentikan ketika nilai adsorpsi telah konstan yang menandakan kapasitas adsorpsi telah maksimal. Beberapa kondisi hasil adsorpsi tampak pada Gambar 8 berikut:



Gambar 8. Hasil adsorpsi gas CO₂ menggunakan adsorben zeolit X pada beberapa variasi berat adsorben (interval adsorpsi tiap 1 menit)

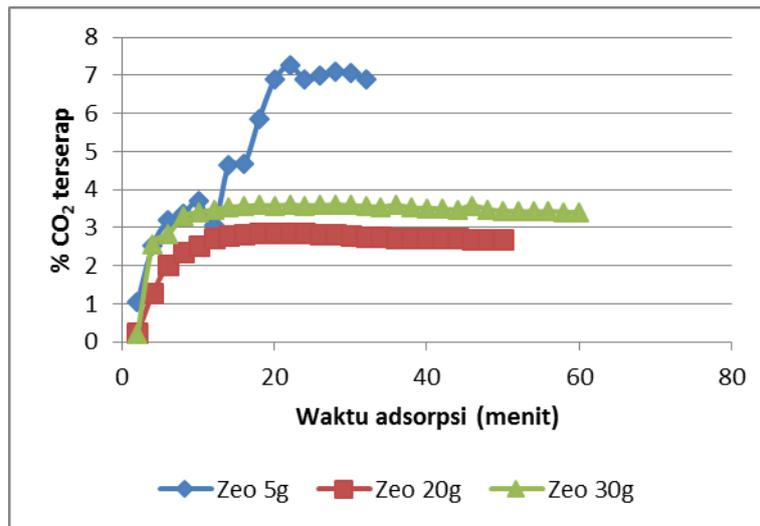
Pada adsorben zeolit 5 g tampak waktu untuk mencapai konstan sekitar 20 menit dengan kapasitas adsorpsi sebesar 5,2%. Sedangkan untuk zeolit 10 g dibutuhkan waktu sekitar 30 menit dengan kapasitas adsorpsi sebesar 5,7%. Pola yang sama terjadi pada Zeolit 15 g dan Zeolit 20 g yaitu kapasitas dan waktu adsorpsi meningkat seiring dengan peningkatan jumlah adsorben yang digunakan, namun terjadi penurunan pada Zeolit 30 g. Pengaruh penambahan adsorben terhadap pola adsorpsi yang terjadi tampak pada diagram Gambar 9 di bawah ini.



Gambar 9. Pengaruh penambahan berat adsorben zeolit X terhadap kapasitas adsorpsi gas CO₂ dan waktu adsorpsi yang dibutuhkan

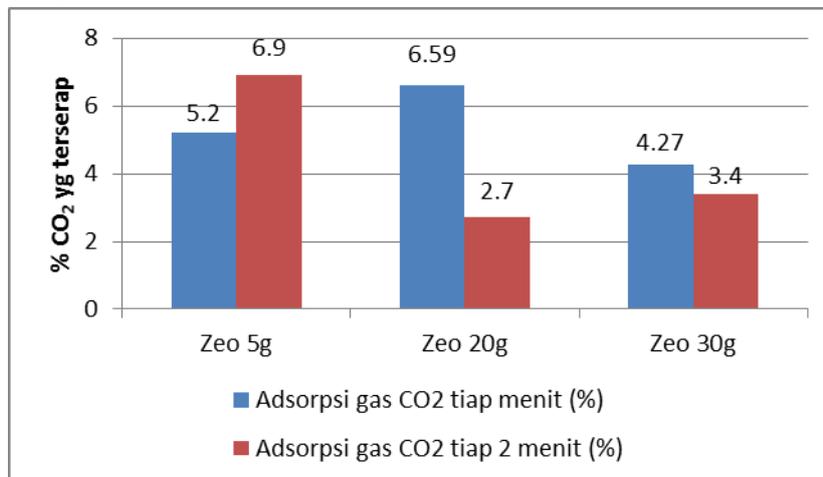
Pada diagram di atas tampak bahwa secara umum semakin banyak jumlah zeolit yang digunakan sebagai adsorben maka kapasitas adsorpsi penyerapan gas CO₂ semakin meningkat namun dibutuhkan waktu yang lebih lama untuk menuntaskan proses adsorpsi tersebut (tampak pada diagram blok Zeo 5g, Zeo 10g, Zeo 15g dan Zeo 20g). Hal ini disebabkan bila semakin banyak jumlah adsorben yang digunakan maka peluang gas CO₂ yang terperangkap di pori adsorben semakin besar dan sebagai konsekuensinya membutuhkan waktu yang lebih lama agar gas tersebut dapat terserap dengan baik.

Kondisi lain yang diamati adalah interval waktu adsorpsi selama proses. Pada perlakuan pertama dilakukan pada setiap menit (Gambar 8) sedangkan pada perlakuan kedua dilakukan tiap 2 menit (Gambar 10). Kondisi hasil adsorpsi pada interval waktu tiap 2 menit tampak pada gambar berikut:



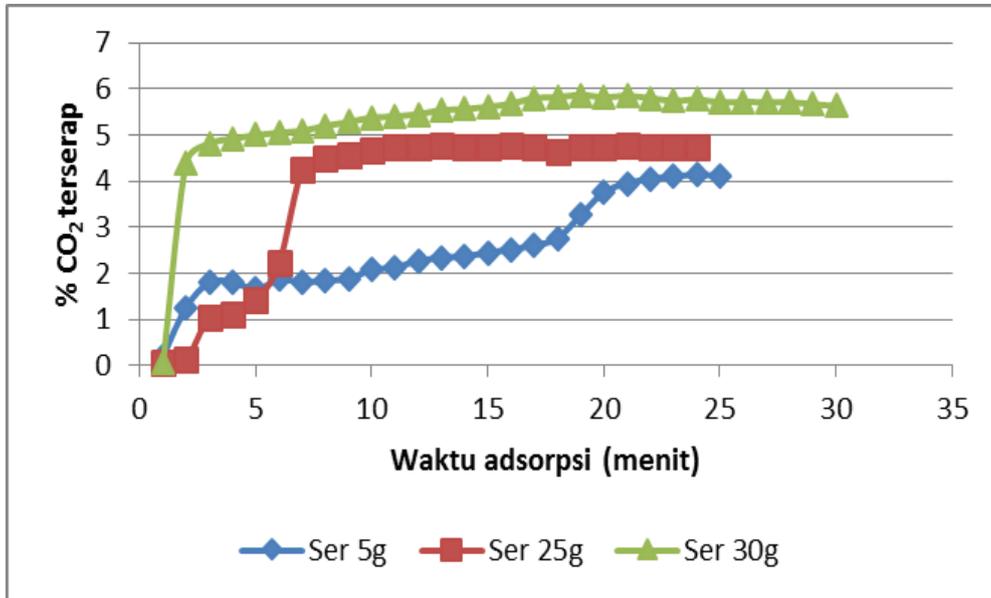
Gambar 10. Hasil adsorpsi gas CO₂ menggunakan adsorben zeolit X pada beberapa variasi berat adsorben (interval adsorpsi tiap 2 menit)

Berdasarkan hasil di atas tampak bahwa dengan adanya perubahan mekanisme interval adsorpsi menjadi tiap dua menit sekali mengakibatkan perubahan pola adsorpsi yang cukup signifikan, khususnya pada Zeo 20g dan Zeo 30g. Pada kurva di atas tampak pada waktu adsorpsi mencapai 10 menit kapasitas adsorpsi telah mencapai nilai maksimal dan konstan yang menandakan bahwa adsorben tidak dapat lagi menyerap gas CO₂. Pengaruh perbedaan waktu interval adsorpsi terhadap % CO₂ yang terserap pada adsorben Zeo 5g, 20g dan 30g tampak pada diagram Gambar 11 di bawah ini.



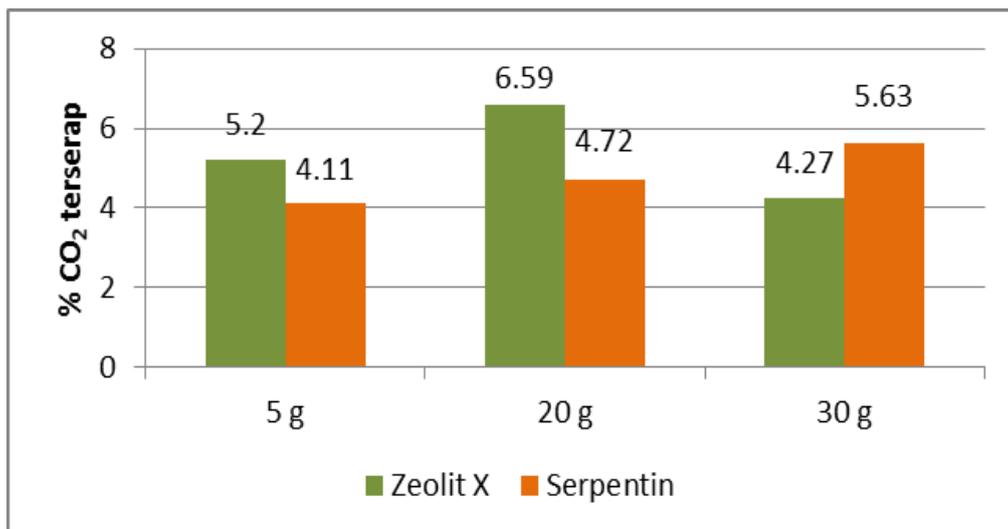
Gambar 11. Pengaruh perbedaan waktu interval adsorpsi terhadap % CO₂ yang terserap pada adsorben zeolit X

Pada penelitian berikutnya adalah pengujian adsorpsi gas CO₂ menggunakan adsorben mineral serpentin alam yang telah diaktivasi, dengan variasi jumlah/berat serpentin yang digunakan. Hasil adsorpsi tampak pada Gambar 12 di bawah ini.



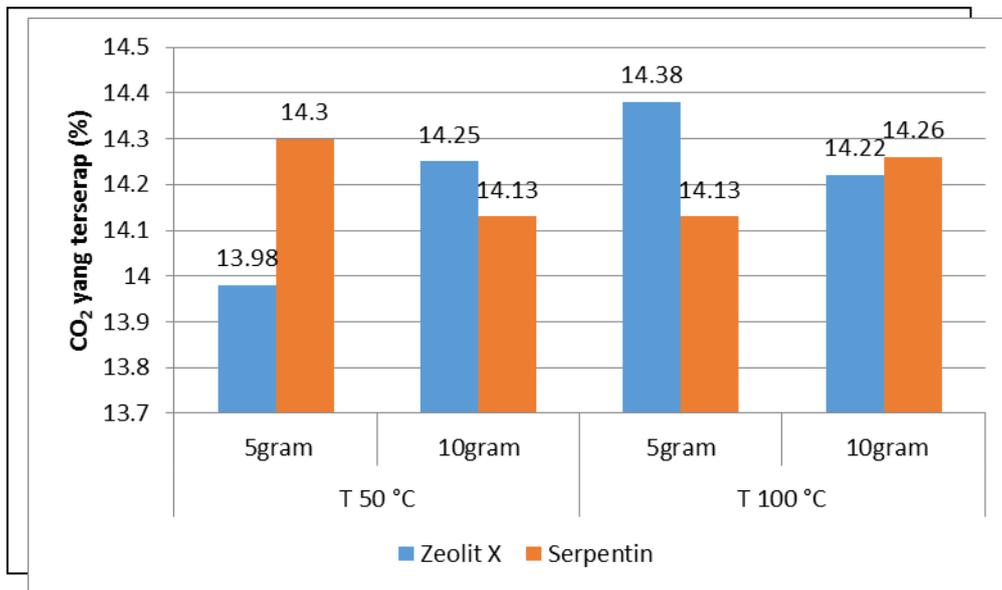
Gambar 12. Hasil adsorpsi gas CO₂ menggunakan adsorben serpentin pada beberapa variasi berat adsorben (interval adsorpsi tiap 1 menit)

Pada kurva di atas tampak bahwa pola adsorpsi gas CO₂ menggunakan adsorben serpentin secara umum sama dengan menggunakan adsorben zeolit, yaitu semakin banyak adsorben yang digunakan maka semakin banyak pula gas CO₂ yang dapat diserap. Perbedaan yang terjadi adalah kemampuan kedua adsorben tersebut dalam mengadsorpsi gas CO₂ pada jumlah tertentu. Perbandingan kapasitas adsorpsi pada kedua adsorben tersebut tampak pada diagram Gambar 13 di bawah ini.



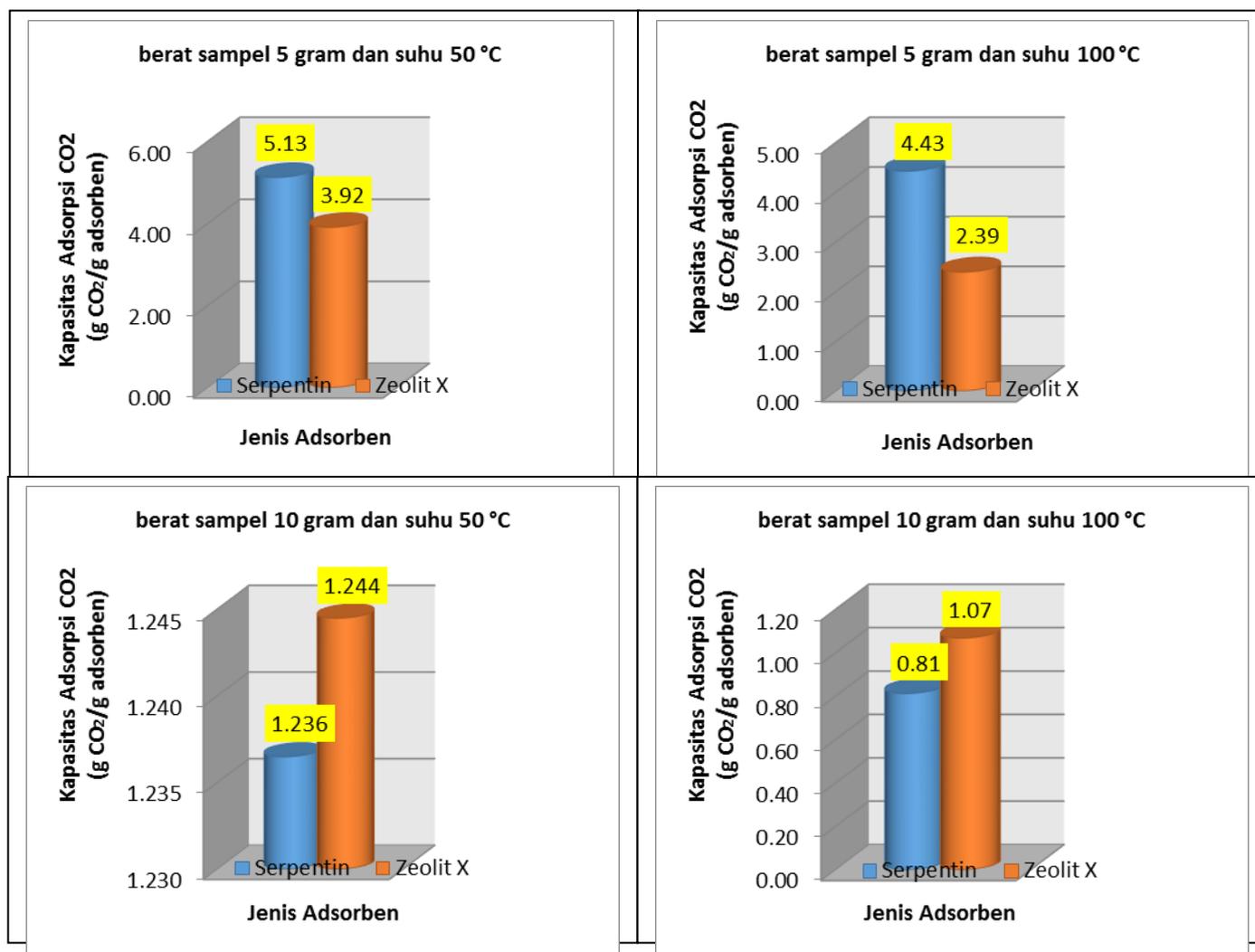
Gambar 13. Perbandingan kapasitas adsorpsi gas CO₂ pada zeolit dan serpentin pada beberapa variasi berat adsorben yang digunakan

Pada diagram di atas tampak bahwa secara umum kapasitas adsorpsi zeolit lebih tinggi sekitar 25-40% dibandingkan serpentin. Namun demikian, kapasitas adsorpsi zeolit mengalami puncaknya pada penggunaan 20 g dan kemudian menurun pada 30 g. Sedangkan serpentin, kapasitas adsorpsinya tampak meningkat hingga penggunaan 30 g (Gambar 14) dan mungkin akan terus meningkat hingga titik tertentu (belum dilakukan uji coba pada jumlah/berat yang lebih banyak).



Gambar 14. Perbandingan kapasitas adsorpsi gas CO₂ (%) pada zeolit dan serpentin dengan variasi suhu gas

Diagram diatas menggunakan variasi suhu dengan memakai oven pada keluaran gas CO₂ sintetis, hal ini dilakukan agar suhu gas mendekati keadaan sebenarnya di cerobong industri. Secara umum terlihat bahwa CO₂ yang terserap pada zeolit (50 °C) mengalami peningkatan dari 13.98% menjadi 14.25% seiring dengan bertambahnya jumlah zeolit, walaupun kemudian terjadi penurunan yang tidak begitu signifikan pada suhu 100 °C. Sama halnya dengan serpentin, CO₂ yang terserap pada suhu 50 °C hanya sedikit mengalami penurunan dari 14.3 % menjadi 14.13% dan tampak meningkat pada suhu 100 °C dari 14.13 % menjadi 14.26%. Pada suhu yang semakin tinggi seharusnya ruang pori pada adsorben semakin besar sehingga CO₂ yang terserap lebih banyak. Namun yang terjadi di sini terjadi penurunan yang tidak begitu signifikan pada zeolit, hal ini mungkin karena pada berat sampel 10 g ruang porinya sedikit berkurang dari berat sampel 5 g sehingga CO₂ yang terserap lebih sedikit. Sedangkan Serpentin pada suhu 50 °C mengalami penurunan karena adanya pengaruh unsur besi oksida (Fe) yang belum sempurna terlepas seluruhnya dari mineral serpentin, sehingga sedikitnya dapat mengganggu aplikasi mineral serpentin dalam mengikat CO₂.



Gambar 15. Grafik Hubungan Antara Jenis Adsorben (Serpentin dan Zeolit X) Terhadap Kapasitas Adsorpsi

Pada gambar 15 terlihat bahwa kapasitas adsorpsi tertinggi terdapat pada kondisi berat serpentin dan zeolit 5 gram di suhu 50 °C masing-masing sebesar 5.13 g CO₂/g serpentin dan 3.92 g CO₂/g zeolit. Hal ini mungkin terjadi karena pada berat adsorben 5 gram terdapat banyak pori atau ruang yang memungkinkan gas CO₂ terserap dengan baik. Namun demikian masih perlu dilakukan uji coba pada jumlah/berat adsorben yang lebih banyak untuk mengetahui kapasitas adsorpsi optimum adsorben, baik zeolit maupun serpentin.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari uji adsorpsi ini, zeolit dan serpentin sama-sama memiliki kemampuan daya serap terhadap gas CO₂ yang baik, namun serpentin memiliki kemampuan daya serap yang lebih tinggi dibandingkan dengan zeolit. Daya serap serpentin terhadap gas CO₂ mencapai nilai tertinggi sebesar 14.3 % (5.13 g/g), sedangkan zeolit NaX hanya mencapai 13.98 % (3.92 g/g) yang masing-masing adsorben beratnya 5 gram dan suhu keluaran gas CO₂ 50 °C dengan berat dan keluaran suhu yang sama. Berdasarkan hasil evaluasi terhadap kegiatan yang telah dilakukan, dapat disarankan hal berikut ini:

- Masih perlu dilakukan uji coba pada jumlah/berat adsorben yang lebih banyak untuk mengetahui kapasitas adsorpsi optimum adsorben, baik zeolit maupun serpentin.

- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai struktur pori serpentin dan zeolit yang digunakan sehingga dapat diperoleh gambaran yang komprehensif mengenai hubungan antara struktur pori adsorben dengan kapasitas adsorpsinya.
- Penting untuk mencari alternatif bahan material adsorben lainnya dengan memperhatikan pengaruh-pengaruh yang akan memperbesar nilai kapasitas adsorpsi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ah Hyung Alissa Park and Liang Shih Fan, 2004. CO₂ Mineral Sequestration : Physically Activated Dissolution of Serpentin and pH Swing Process. *Chemical Engineering Science* 59 (2004) 5241-5247
- Chong, S., Drese, J. H. And Jones, C. W. 2009. Adsorbent Materials for Carbon Dioxide Capture from Large Anthropogenic Point Sources. *ChemSusChem* 2: 796-854
- Daniel J Fauth and Yee Soong, 2001. Mineral Sequestration Utilizing Industrial By-Products, Residues, and Minerals. NETL (National Energy Technology Laboratory) Pittsburgh PA, 15236-0940
- Green, D.A., B.S. Turk, R.P. Gupta, J.W. Portzer, W.J. McMichael, and D.P. Harrison, 2002. Capture of Carbon Dioxide from flue gas using regenerable sorbents. 19th Annual International Pittsburgh Coal Conference. September 23-27, Pittsburgh, Pennsylvania, USA
- Hoffman, J.S., D.J. Fauth., and H.W. Pennline, 2002. Development of novel dry regenerable sorbents for CO₂ capture. 19th Annual International Pittsburgh Coal Conference. September 23-27, 2002 Pittsburgh, Pennsylvania, USA.
- IPCC, 2006., Capture of CO₂, IPCC Special Report Carbon Dioxide Capture and Storage, diakses 31 Desember 2008. <http://www.luminatellc.com/Newsletter%20PDFs/CO2%20Part%203.pdf>
- Ishibasi et al, 1999, Study On CO₂ Removal Technology from Flue Gas of Thermal Power Plant by Combined Systems with Pressure Swing Adsorption and Super Cold Separator, Shizuoka University
- M. Mercedes Maroto Valer¹, Matthew E. Kuchta¹, Yinzi Zhang¹, Jhon M Andresen¹, Daniel J. Faut², 2005. Comparison of Physical and Chemical Activation of Serpentine for Enhanced CO₂ Sequestration. ¹The Energy Institute and Department of Energy and Geo-Environmental Engineering, The Pennsylvania State University, University Park, PA 16802 and ²U.S. Department of Energy, National Energy Technology Laboratory, Pittsburgh 15236
- Nakagawa, K., T. Ohashi 1998: A novel method of CO₂ capture from high temperature gases, *Journal Electrochem. Soc.*, 145(4): 1344-1346
- PEUI, 2006. Indonesia Energy Outlooks and Statistics, 2006
- Roza Adriany, dkk, 2011. Pembuatan Aditif Combustion Booster dan Pack Kolom untuk mengurangi Emisi CO dan CO₂ pada Kendaraan Bermotor. Puslitbang Lemigas, Jakarta
- Rodhie Saputra, 23 Januari 2006. Pemanfaatan Zeolit Sintetis Sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Industri. warmada.staff.ugm.ac.id/Articles/rodhie-zeolit.pdf
- Ron Zevenhoven, Jens Kohlmann, 2001. Direct Dry Mineral Carbonation for CO₂ Emissions Reduction in Finland. Helsinki University of Technology, Laboratory for Energy Engineering and Environmental Protection
- Sander, M.T. and C.L. Mariz, 1992, The Fluor Daniel Econamine FG Process: Past Experience and Present Day Focus, "Energy Conversion and Management"
- Sircar, S., C.M.A. Golden, 2001: PSA process for removal of bulk carbon dioxide from a wet high-temperature gas. US Patent No. 6322612.
- Subho Choi, Jeffrey H. Drese, and Christopher W. Jones., 2009. Adsorbent Materials for Carbon Dioxide Capture from Large Anthropogenic Point Sources. *ChemSusChem* 2, 796-854. Wiley-VCH Verlag GmbH&Co. KGaA, Weinheim.
- <http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/fulltext/122589165/PDFSTART>
- Thomas M. Kerr, 2005. Legal Aspects of Storing CO₂ : Update and Recommendations, International Energy Agency (IEA), 2007, p.15-16
- Toni Samiaji, 2009. Upaya Mengurangi CO₂ di Atmosfer, *Berita Dirgantara*, Vol. 10, No. 3, Lapan, September 2009, Jakarta
- Toni Samiaji, 2010. Sebaran Emisi Gas CO₂ di Indonesia, *Prosiding Seminar Penerbangan dan Antariksa 2010*, Lapan
- W.J.J. Huijgen & R.N.J. Comans, 2003. Carbon Dioxide Sequestration By Mineral Carbonation. ECN-C-03-016

- Yokoyama, T., 2003. Japanese R & D on CO₂ Capture. Greenhouse Gas Control Technologies, Proc of the 6th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-6), 1-4 Oct 2002, Kyoto, Japan, J. Gale and Y. Kaya (eds), Elsevier Science Ltd, Oxford, UK. 18-18
- Yoo, Kyoungkeun et Al, 2009. Dissolution of Magnesium from Serpentine Mineral in Sulfuric Acid Solution. Minerals & Materials Processing Division, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources (KIGAM), Daejeon 305-350, Korea