

PEMURNIAN BIOGAS DENGAN SISTEM BERLAPIS MENGGUNAKAN Fe_2O_3 , ZEOLIT SINTETIK DAN ZEOLIT ALAM

Muhammad Dienullah, Hendry Sakke Tira*¹⁾ dan Yesung Allo Padang

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram

Jl. Majapahit No. 62 Mataram, Nusa Tenggara Barat

Telpon (0370) 636126, Fax. (0370) 636523

e-mail: *hendrytira@unram.ac.id

Abstract: *Biogas purification process aims to reduce biogas impurities such as carbon dioxide (CO_2) and hydrogen sulfide (H_2S) to obtain higher methane (CH_4) concentration. Adsorption is one method for purifying biogas using solids. The research used 3 adsorbent materials such as natural zeolite mordenite, synthetic zeolite 3A and Fe_2O_3 . To maximize the performance of natural zeolite as adsorbent, it is necessary to activate with NaOH solution which NaOH concentration used is 0%, 5%, and 15% NaOH and then they were activated by physical activation under heating treatment at $250^\circ C$ for 4 hours. The best biogas purification result with natural zeolite activation mode was obtained at activation of 5% NaOH and followed by 15% and 0% NaOH. This is because activation using NaOH with 1-2N concentration (molarity) led to a macro pore size of the zeolite, more uniform, and the pores on the micro pore can be cleaned. After obtaining the best quality of natural zeolite, a study on the adsorbent ratio of adsorbent tubes obtained from the best results in Fe_2O_3 , synthetic zeolite and natural zeolite (1: 1: 2) was observed because the ability of natural zeolite adsorption is better than of synthetic zeolite and Fe_2O_3 . Therefore, the more natural zeolite in the adsorbent tube the better the refining result.*

Keywords: *Purification, biogas, adsorption, zeolite, Fe_2O_3*

PENDAHULUAN

Biogas merupakan sumber energi terbarukan yang dihasilkan secara *anaerobic digestion* atau fermentasi *anaerob* dari bahan organik seperti sampah, sisa-sisa makanan, kotoran ternak dan limbah industri makanan. Pemanfaatan limbah organik sebagai bahan baku biogas tentu akan memberikan efek ganda dalam menyediakan energi yang dapat diperbaharui, ramah lingkungan dan dapat menciptakan lingkungan peternakan yang lebih bersih dan sehat. Kemurnian CH_4 yang dihasilkan dari biogas tersebut menjadi pertimbangan yang sangat penting, hal ini dikarenakan berpengaruh terhadap nilai kalor/panas yang dihasilkan, sehingga biogas yang dihasilkan perlu dilakukan pemurnian. Dalam hal ini gas yang mempengaruhi nilai kalor/panas adalah CO_2 dan H_2S . Sebagaimana diketahui keberadaan gas karbon dioksida (CO_2) dapat menurunkan nilai kalor pada pembakaran biogas, sedangkan keberadaan gas hidrogen sulfida (H_2S) dapat menjadi zat yang bersifat korosif jika terbakar [1].

Salah satu metode dalam meningkatkan performa biogas dapat dilakukan melalui proses adsorpsi. Adsorpsi adalah suatu proses yang terjadi ketika suatu fluida (cairan maupun gas) terikat kepada suatu padatan dan akhirnya membentuk suatu film (lapisan tipis) pada permukaan padatan tersebut. Material yang digunakan sebagai adsorben umumnya material yang berpori terutama pada letak tertentu dalam partikel. Adsorben padat yang berpotensi untuk memurnikan metana (CH_4) tersebut adalah zeolit sintetis, zeolit alam dan besi oksida (Fe_2O_3).

Zeolit alam telah banyak ditemukan dan dikelompokkan berdasarkan kesamaan strukturnya. Meskipun zeolit sintetis juga telah banyak diproduksi, namun zeolit alam tetap mempunyai peranan penting karena ketersediaannya yang melimpah di alam, khususnya di Indonesia [2]. Penggunaan zeolit membutuhkan suatu proses aktivasi untuk meningkatkan sifat khusus zeolit sebagai adsorben dan menghilangkan unsur pengotor [3]. Proses aktivasi juga dapat merubah jenis kation, perbandingan Si/Al serta karakteristik zeolit agar sesuai dengan bahan yang akan diserap. Pori-pori zeolit juga dapat melakukan adsorpsi terhadap senyawa H_2O , CO_2 , SO_2 , H_2S [4]. Adsorpsi biogas menggunakan zeolit bertujuan untuk meningkatkan kadar metana (CH_4) dalam biogas. Aplikasi secara langsung untuk pembakaran/kompas dapat mempercepat proses pemasakan karena panas yang dihasilkan lebih tinggi dan mengurangi bau khas/kurang sedap dari biogas serta korosi pada *burner* [5].

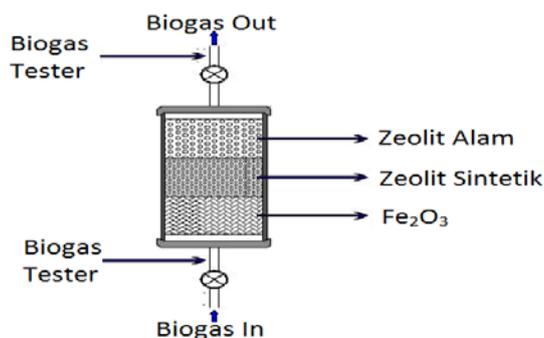
Besi oksida dikenal juga dengan nama biji besi adalah salah satu senyawa oksida dari besi dan mempunyai rumus kimia Fe_2O_3 dan mempunyai sifat paramagnetik. Dalam proses pemurnian biogas, Fe_2O_3 berfungsi sebagai pengikat gas H_2S . Oleh karena itu, penelitian ini memiliki tujuan untuk mempelajari pengaruh metode aktivasi pada zeolit dan perbandingan volume ke-3 adsorben pada tabung adsorben dalam mengurangi kadar CO_2 dan H_2S dalam biogas.

METODE PENELITIAN

Biogas yang digunakan pada penelitian ini yaitu biogas yang terbentuk dari proses digestifikasi anaerobik bahan organik dalam digester. Adapun tempat pembuatan biogas ini berada di Laboraturium Energi Baru Terbarukan Fakultas Teknik Universitas Mataram. Bahan organik yang digunakan pada penelitian ini yaitu kotoran sapi dengan campuran air dengan perbandingan 1:1. Sebelum dilakukan proses pemurnian terhadap biogas, terlebih dahulu dilakukan pengujian terhadap biogas yang belum dimurnikan, tujuannya untuk mengetahui data kandungan awal komponen biogas yang meliputi metana (CH_4), karbon dioksida (CO_2) dan hidrogen sulfida (H_2S).

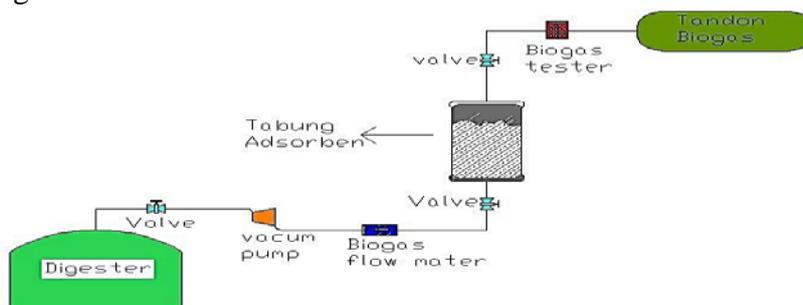
Adapun variabel bebas pada penelitian ini yaitu memvariasikan proses aktivasi zeolit alam dimana zeolit alam diaktivasi dengan cara kimia dan fisik. Aktivasi kimia menggunakan larutan NaOH dengan konsentrasi sebesar 0%, 5% dan 15%. Setelah zeolit alam cuci dengan larutan NaOH , kemudian zeolit alam diaktivasi secara fisik dengan cara dipanaskan pada suhu 250°C selama 4 jam. Hasil terbaik dari aktivasi zeolit alam digunakan untuk variasi berikutnya yaitu perbandingan antara zeolit alam, zeolit sintetik dan Fe_2O_3 .

Pada pengujian ini menggunakan laju aliran biogas sebesar 1l/min dan pengambilan data dalam rentang waktu 1-20 menit. Pada setiap menit dilakukan pengamatan biogas menggunakan *biogas detector* (GEO TECH) dengan mengukur konsentrasi CO_2 , CH_4 dan H_2S . Tabung adsorpsi dibuat menggunakan pipa PVC dengan diameter pipa 76,2 mm dan tinggi pipa 250 mm yang dirakit sedemikian rupa sehingga bisa menampung 3 jenis adsorben yang berbeda seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rancangan tabung adsorben.

Tabung adsorben dihubungkan dengan alat ukur dan alat pendukung lainnya membentuk rangkaian instalasi proses pemurnian biogas dan kondisi eksperimen ditunjukkan oleh Gambar 2 dan Gambar 3 sebagai berikut:



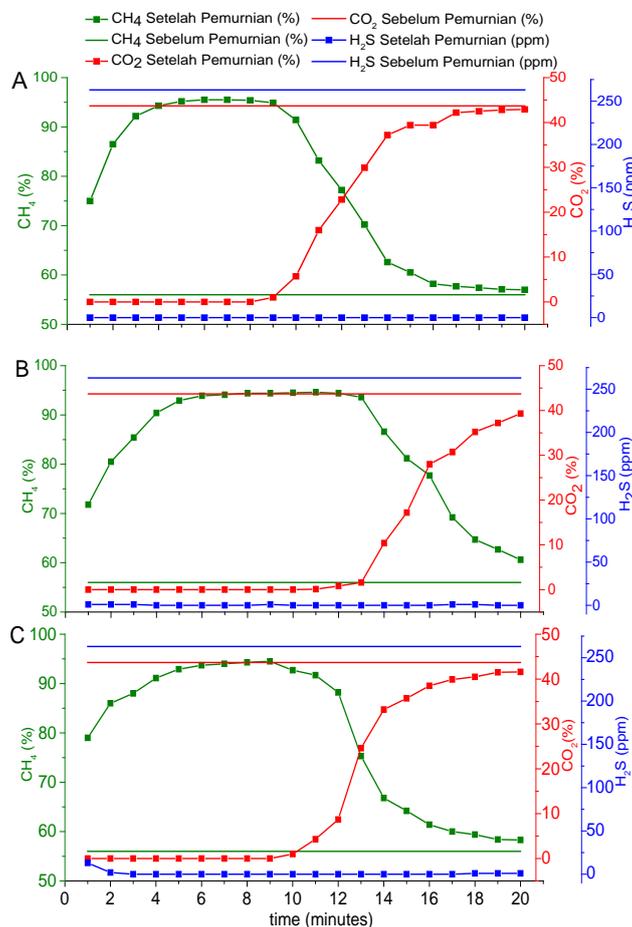
Gambar 2. Skematik peralatan uji



Gambar 3. Rangkaian peralatan uji

HASIL DAN PEMBAHASAN

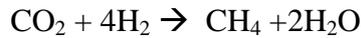
Pemurnian Biogas Dengan Mengaktivasi Zeolit Alam



Gambar 4. Grafik hasil pemurnian biogas dengan metode aktivasi masing-masing dengan pemanasan pada suhu 250°C selama 4 jam (A) NaOH 0% (B) NaOH 5% (C) NaOH 15%.

Dari Gambar 4 diperoleh kesimpulan bahwa kandungan CH₄ akan semakin meningkat seiring menurunnya kadar CO₂ dan H₂S. Peningkatan kandungan gas CH₄ disebabkan oleh terserapnya gas CO₂ dan H₂S yang terkandung dalam biogas selanjutnya gas H₂S akan terurai menjadi dua atom H dan satu atom S. Timbulnya kandungan H₂ yang diperoleh dari proses penguraian H₂S akan menyebabkan terjadinya reaksi kimia dengan atom CO₂ sehingga

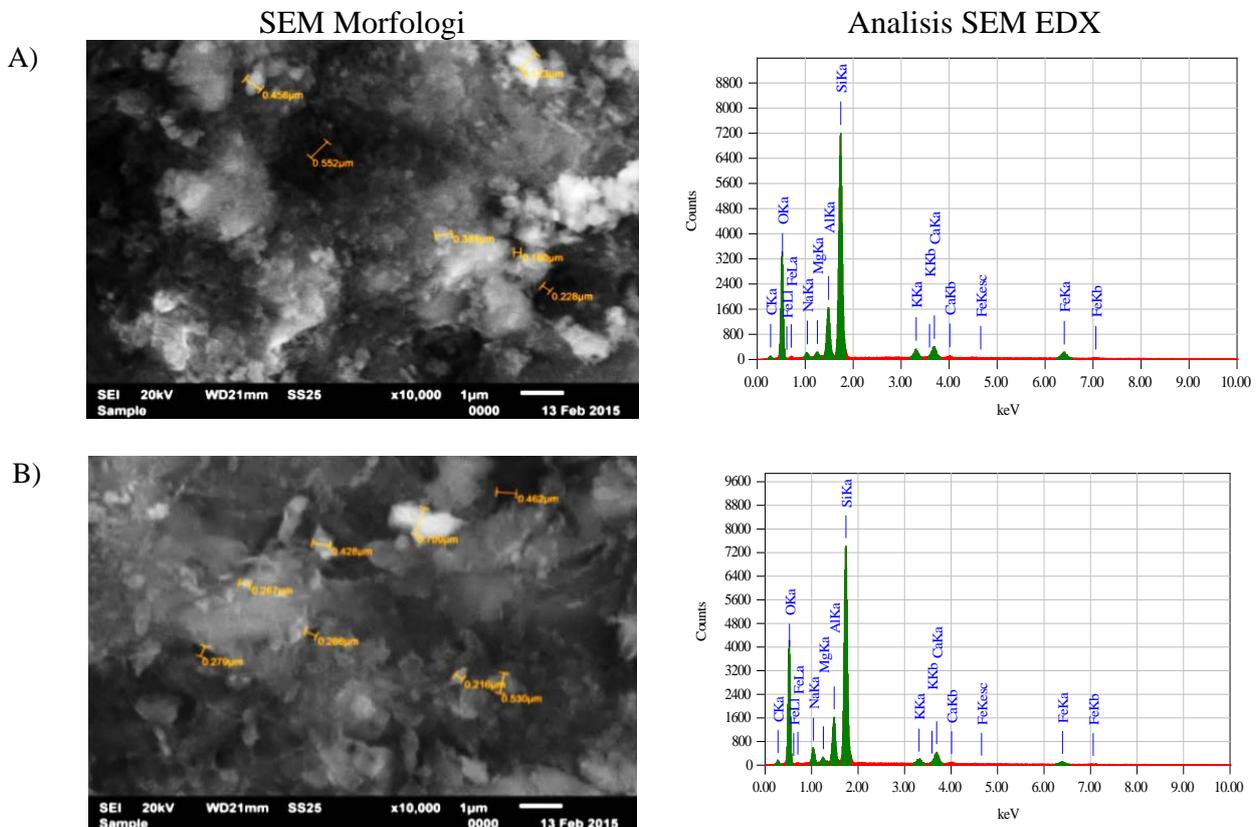
menghasilkan gas CH₄. Proses ini disebut dengan reaksi metanogen hidrogenotrofik yaitu proses untuk menghasilkan gas CH₄ melalui reaksi kimia antara gas CO₂ sebagai sumber karbon dengan gas H₂ sebagai reduktor [6]. Berikut reaksi metanogen yang terjadi.



Dari data yang telah diperoleh aktivasi zeolit alam terbaik adalah aktivasi dengan kadar NaOH 5% dibandingkan dengan kadar NaOH 0% dan 15%. Aktivasi dengan kadar 5% NaOH mampu menurunkan kadar CO₂ hingga 0% akan tetapi pada menit ke-11 kadar CO₂ mulai mengalami kenaikan hingga mendekati kadar CO₂ awal biogas. Sedangkan untuk kadar 0% NaOH dan 15% NaOH masing-masing hanya mampu mempertahankan kadar 0% CO₂ sampai menit ke-8 dan ke-9. Namun untuk kadar H₂S mengalami penurunan hingga 0 ppm selama penelitian untuk ke 3 variasi. Ini terjadi karena aktivasi dengan NaOH umumnya dilakukan dengan konsentrasi 1-2 molar (N) atau 4% NaOH sampai 8% NaOH, dimana konsentrasi untuk NaOH 5% sebesar 1,25N dan untuk NaOH 15% mempunyai konsentrasi sebesar 3,78N. Sementara pada konsentrasi di atas 2N membuat viskositas larutan NaOH menjadi sangat tinggi dan lebih kental, sehingga difusifitas larutan ke dalam pori-pori pun akan berkurang. Berkurangnya difusifitas larutan NaOH ke dalam pori-pori menyebabkan masih banyaknya pengotor di dalam pori-pori tersebut sehingga luas permukaan kristal pun akan berkurang dan menyebabkan daya adsorpsi zeolit berkurang [7]. Aktivasi secara basah dalam hal ini dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi terhadap kandungan CO₂ dan H₂S. Pada aktivasi dengan NaOH, terbukti dapat menurunkan kadar silika pada unsur zeolit [8].

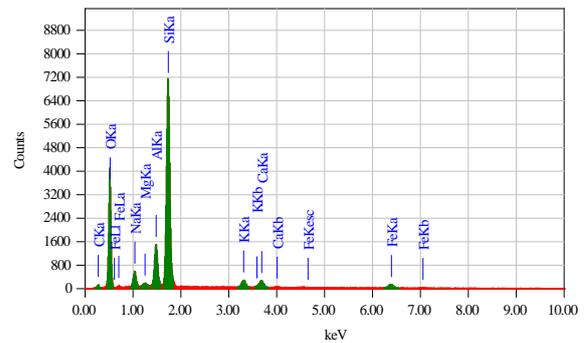
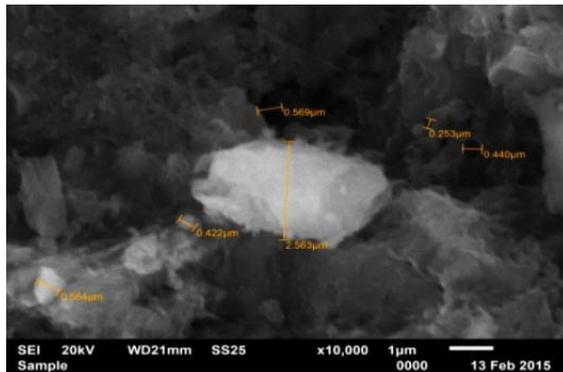
Analisis SEM dan EDX Pada Zeolit Alam

Bentuk permukaan dan kadar silika pada zeolit ditunjukkan oleh Gambar 5.



Gambar 5. Hasil SEM morfologi dan analisis EDX zeolit alam sebelum dialirkan biogas dengan metode aktivasi (A) NaOH 0%, (B) NaOH 5% dan (C) NaOH 15%.

C)



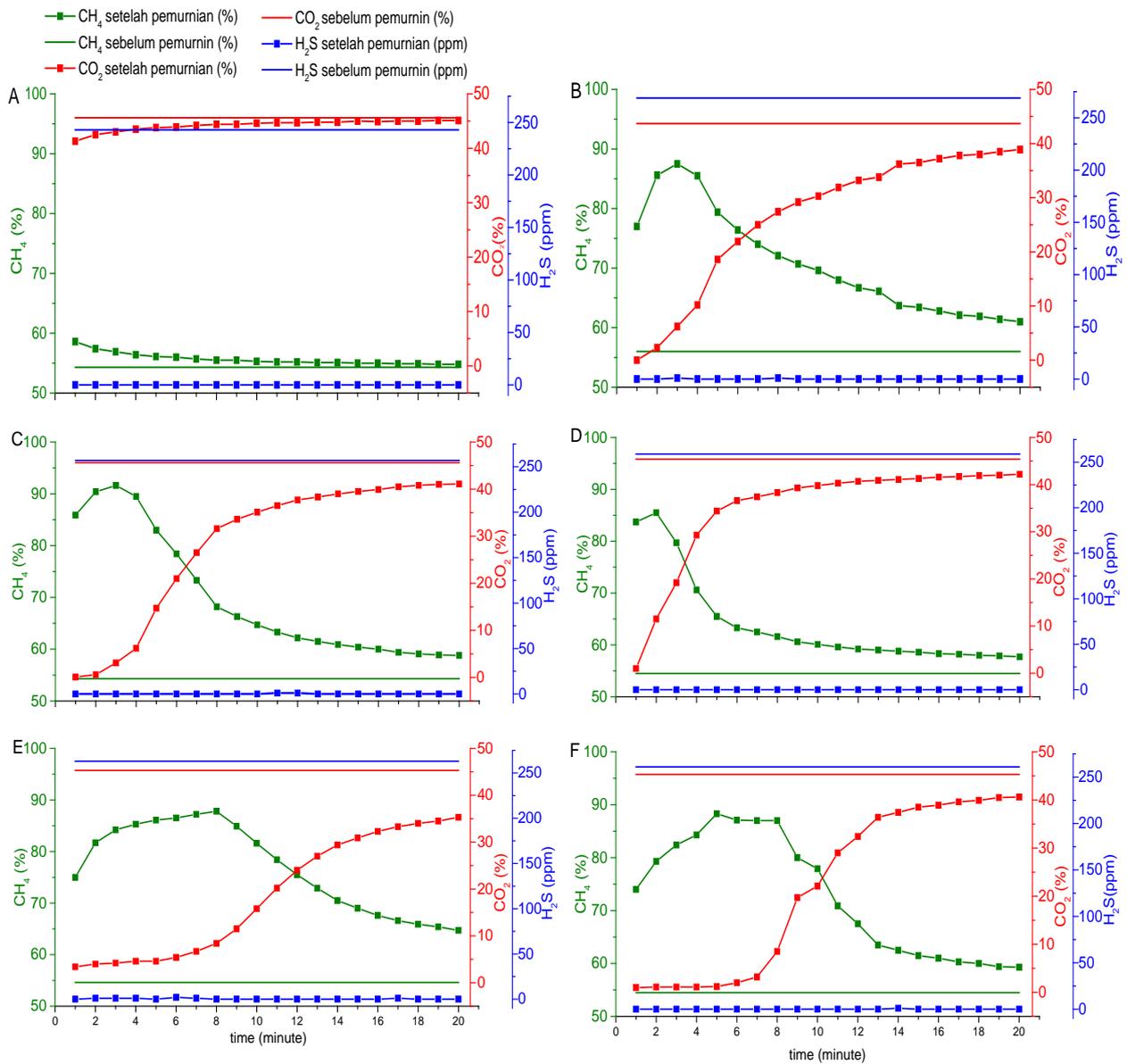
Lanjutan Gambar 5. Hasil SEM morfologi dan analisis EDX zeolit alam sebelum dialirkan biogas dengan metode aktivasi (A) NaOH 0%, (B) NaOH 5% dan (C) NaOH 15%.

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa setelah mengalami aktivasi terjadi perubahan pada morfologi zeolit dan dimungkinkan pula terjadi perubahan struktur zeolit [9]. Ukuran kristal zeolit setelah mengalami aktivasi kimia berubah menjadi lebih kecil, sehingga diharapkan terjadi peningkatan volume pori. Dapat dilihat bahwa perbedaan bentuk kristal pada setiap metode aktivasi. Ukuran kristal zeolit dengan metode aktivasi pemanasan pada NaOH 0% dan 15% tampak kurang seragam. Pada Gambar 5.B pori-pori terlihat lebih besar (ditandai dengan gambar hitam pekat) sehingga memberikan peluang terperangkapnya CO_2 dan H_2S . Selain itu kristal terlihat lebih tipis dibandingkan dengan Gambar 5.A dan Gambar 5.C yang memberikan peluang pula terperangkapnya CO_2 dan H_2S lebih banyak. Karena ukuran kristal zeolit berpengaruh terhadap bentuk pori zeolit maka daya adsorpsi pada NaOH 5% lebih tinggi.

Analisis hasil SEM EDX (*scanning electron microscopy-Energy dispersive X-ray spectroscopy*) untuk zeolit alam dapat dilihat pada Gambar 4. Tujuan melakukan SEM EDX adalah untuk mengetahui komposisi zeolit alam. Setelah dilakukan aktivasi, rasio Si/Al pada masing-masing variasi mengalami kenaikan. Untuk 0% NaOH mempunyai nilai sebesar rasio Si/Al sebesar 4,85, pada aktivasi 5% NaOH sebesar 5,159 sedangkan untuk 15% NaOH mempunyai nilai tertinggi yaitu 5,33. Semakin tinggi rasio Si/Al maka zeolit akan lebih bersifat hidrofobik sehingga kemampuan penyerapan zeolit terhadap gas semakin meningkat [10]. Akan tetapi pada Gambar 4 menunjukkan adsorpsi yang terbaik diperoleh pada aktivasi 5% NaOH diikuti 15% NaOH dan 0% NaOH. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan adsorpsi zeolit tidak hanya dipengaruhi oleh faktor perbandingan Si/Al, tetapi juga faktor-faktor lain misalnya geometri zeolit, bentuk pori zeolit dan luas permukaan zeolit [11].

Untuk aktivasi 0% NaOH mempunyai makro pori (pori-pori di permukaan zeolit) yang besar sehingga pada awal penelitian variasi ini memiliki kemurnian CH_4 tertinggi. Akan tetapi pada variasi ini zeolit lebih cepat jenuh dibandingkan variasi-variasi yang lain karena pengotor-pengotor yang berada di mikro pori (pori-pori bagian dalam zeolit) belum bisa dibersihkan. Untuk 5% NaOH mempunyai ukuran makro pori seragam tapi tidak sebesar ukuran makro pori pada 0% NaOH. Pengotor-pengotor yang berada pada mikro pori telah dibersihkan dengan aktivasi kimia sehingga pada variasi ini zeolit memiliki daya adsorpsi yang tertinggi. Sedangkan untuk 15% NaOH mempunyai ukuran makro pori yang seragam tetapi karena aktivasi dengan NaOH sampai 15% berpengaruh terhadap mengecilnya ukuran makro pori dan untuk pengotor-pengotor pada mikro pori dapat dibersihkan, maka pada variasi ini zeolit memiliki daya adsorpsi tidak lebih baik dibandingkan 5% NaOH.

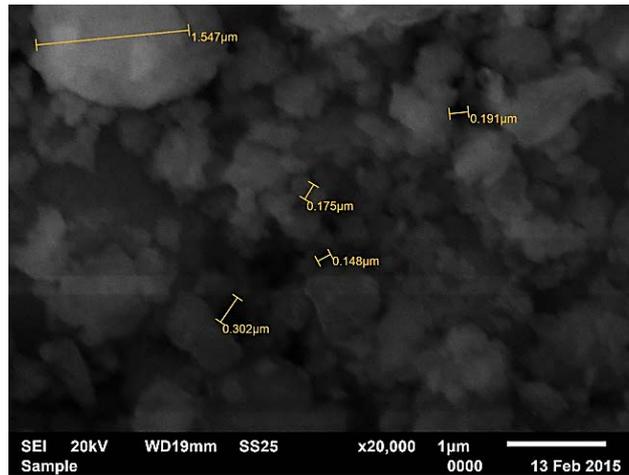
Variasi Perbandingan Adsorben pada Tabung Adsorben



Gambar 6. Grafik kandungan biogas dengan (A) Besi Oksida (Fe_2O_3), (B) Zeolit Sintetik, (C) Fe_2O_3 : zeolit sintetik : zeolit alam (1 : 1 : 1), (D) Fe_2O_3 : zeolit sintetik : zeolit alam (2 : 1 : 1), (E) Fe_2O_3 : zeolit sintetik : zeolit alam (1 : 2 : 1) dan (F) Fe_2O_3 : zeolit sintetik : zeolit alam (1 : 1 : 2)

Untuk variasi terbaik setelah ke 3 bahan adsorben digabungkan, hasil terbaik diperoleh pada Grafik 6.F (Fe_2O_3 : zeolit sintetik : zeolit alam (1 : 1 : 2) pada Gambar 6. Dalam variasi ini zeolit alam mampu mempertahankan CO_2 hingga dibawah 1% sampai menit ke 6 dan kadar H_2S mampu diturunkan sampai 3ppm sampai akhir penelitian. Ini terjadi karena semakin banyak volume zeolit alam dalam tabung adsorben akan semakin meningkatnya daya adsorpsi pada variasi tersebut, karena daya adsorpsi zeolit alam untuk CO_2 dan H_2S lebih baik dibandingkan zeolit sintetik dan Fe_2O_3 .

Dapat dilihat dari grafik semakin besar volume zeolit alam maka proses adsorpsi semakin optimal dalam penyerapan CO_2 . Hal ini terjadi karena ukuran pori-pori zeolit alam lebih besar dibandingkan zeolit sintetik. Untuk bentuk permukaan dan ukuran pori-pori zeolit sintetik dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. SEM morfologi zeolit sintetik.

Pada Gambar 7 menunjukkan bentuk struktur permukaan dan pori-pori zeolit sintetik, dapat dilihat ukuran pori zeolit sintetik terbesar 0,302 μm dan yang terkecil 0,148 μm . Sedangkan bentuk struktur permukaan dan pori-pori zeolit alam dapat dilihat pada Gambar 5.B. Untuk zeolit alam mempunyai ukuran pori terbesar 1,483 μm dan yang terkecil 0,324 μm . Dari ukuran pori kedua zeolit dapat disimpulkan mengapa penyerapan zeolit alam lebih baik dari pada zeolit sintetik. Hal ini disebabkan zeolit alam mempunyai pori-pori yang lebih besar dibandingkan zeolit sintetik. Semakin besar pori-pori zeolit semakin besar pula kemampuan adsorpsinya dimana ukuran partikel CO_2 sebesar 0,33 μm dan H_2S sebesar 0,36 μm [12], sehingga zeolit alam mampu lebih baik dalam menyerap CO_2 dan H_2S .

Besi oksida dalam bahan adsorben hanya memurnikan gas H_2S , ini terjadi karena adanya reaksi kimia antara Fe_2O_3 dengan H_2S [13]. Dalam variasi perbandingan volume ini lebih baik tidak menggunakan besi oksida karena zeolit alam dan zeolit sintetik juga menyerap gas H_2S , dan variasi perbandingan paling rendah dalam memurnikan biogas terjadi pada perbandingan yang mempunyai volume besi oksida yang terbesar.

SIMPULAN

Berdasarkan data-data hasil penelitian tentang pengaruh aktivasi zeolit alam dan perbandingan adsorben pada tabung adsorben diperoleh kesimpulan: 1). Aktivasi zeolit alam menggunakan NaOH lebih efektif menggunakan NaOH 5% dari pada NaOH 0% dan NaOH 15% dalam pemurnian biogas. 2). Data hasil analisis SEM morfologi terlihat bahwa setiap aktivasi mempunyai ukuran bentuk kristal dan pori-pori yang berbeda. 3). Nilai rasio Si/Al bukan satu-satunya faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi. 4). Zeolit alam mempunyai daya adsorpsi lebih baik dari zeolit sintetik 3A untuk pemurnian biogas. 5). Semakin besar volume zeolit alam pada variasi perbandingan volume pada tabung adsorben semakin baik kualitas biogas yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Negara, K.M.T., Nindhia, T.G.T., Sucipta, I.M., Atmika, I.K.A., Negara, D.N.K.P., Surata, I.W, dan Komaladewi, A.A.I.A.S., 2012, Pemurnian Biogas Dari Pengotor Hidrogen Sulfida (H_2S) Dengan Memanfaatkan Limbah Geram Besi Peroses Pembubutan, Jurnal Energy Dan Manufaktur, Vol.5, No.1, Teknik Mesin Universitas Udayana: Bali.
- [2]. Senda, S.P., Saputra, H., Sholeh, A., Rosjidi, M., and Mustafa, A., 2006, Prospek Aplikasi Produk Berbasis Zeolit untuk Slow Release Substances (SRS) dan Membran, Artikel Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi Indonesia, ISSN 1410-9891.
- [3]. Rosita, N., Erawati, T., Moegihardjo, M., 2004, Pengaruh Perbedaan Metode Aktivasi Terhadap Tektivitas Zeolit sebagai Adsorben, Majalah Farmasi Airlangga, Vol.4 No. 1, page: 20-25.

- [4]. Weitkamp, J dan L. Puppe., 1999, *Catalyst and Zeolites Fundamentals and Applications*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Jerman.
- [5]. S.K Wahono, R. Maryana, M. Kismurtono, K. Nisa, dan C. D Poeloengasih., 2010, *Modifikasi Zeolit Lokal Gunungkidul Sebagai Upaya Peningkatan Performa Biogas Untuk Pembangkit Listrik*, Seminar rekayasa kimia dan proses. ISSN: 1411 – 4216.
- [6]. Hamidi, N., Wardana, I.N., Widhiyanuriyawan, D., 2011, *Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Biogas Melalui Proses Pemurnian Dengan Zeolit Alam*, *Jurnal Rekayasa Mesin*, Vol.2, No. 3 Tahun 2011: 227-231.
- [7]. Treybal, Robert E., 1981, *Mass Transfer Operations*, 3rd edition, page 35, McGraw –Hill Book Company, Japan.
- [8]. Jozefaciuk, G. and Bowanko, G., 2002, *Effect of Acid and Alkali Treatments on Surface Areas and Adsorption Energies of Selected Minerals*, *Journal Clays and Clay Minerals*, 50(6), pp. 771-783.
- [9]. Laeli, K., Djaeni, M., Purbasari, A., 2011, *Aktivasi Zeolit Alam Sebagai Adsorben Pada Alat Pengering Bersuhu Rendah, Reaktor*, Vol. 13 No. 3, Hal. 178-184.
- [10]. Handhoyo, R., Prijatama, H., Sofiyah, S., Nurlela, I., Yusianita, N., Amelia, R., Komala, R., 2005, *Peningkatan Rasio Si/Al Zeolit Alam Mordenit sebagai Bahan Dasar Zeolit Katalis*, *Jurnal Zeolit Indonesia*, Vol 4 No. 1.
- [11]. Ackley, M.W., Rege, S.U., and Saxena, H., 2003, *Application of Natural Zeolites in The Purification and Separation of Gases*, *Journal Microporous and Mesoporous Materials*, 61, pp. 25-42.
- [12]. Scott, Matteucci, Yuri, Yampolskii, Benny, D. Freeman and Ingo, Pennau, 2006, *Transport of Gases and Vapors in Glassy and Rubbery Polymers*.
- [13]. N.J. Kertamus., 2004, *Removal of H₂S on Oxidized Iron*; 131-158.