

IMPREGNASI MgO PADA KARBON BERPORI SEBAGAI AYAKAN MOLEKULER UNTUK PEMISAHAN CO₂/CH₄

Nur Indah Fajar Mukti^{1*}, Muflih Arisa Adnan¹, Teguh Ariyanto²

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia

²Departmen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

*Email: nurindah_fm@uii.ac.id

ABSTRAK

Pemisahan CO₂ dari biogas diperlukan untuk meningkatkan kualitasnya menjadi biometana. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi pemisahan CO₂/CH₄ dari biogas dengan menggunakan adsorpsi. Peningkatan dalam pemisahan CO₂/CH₄ menggunakan metode adsorpsi ini dapat dicapai dengan memodifikasi permukaan CMS. Modifikasi permukaan CMS dilakukan melalui impregnasi dengan oksida logam MgO. Penelitian ini difokuskan pada modifikasi CMS, karakterisasi material, dan analisis kinerja pemisahannya melalui analisis kurva breakthrough. Pengaruh persebaran logam juga dipelajari dengan melakukan *pre-treatment* melalui proses ozonasi sebelum proses impregnasi logam MgO. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan logam MgO dapat menurunkan luas permukaannya yang semula sebesar 708 m²/g menjadi berkisar 580 m²/g. Penambahan oksida logam MgO juga mampu meningkatkan kebasaan dari CMS termodifikasi yang terlihat dari adanya peningkatan nilai pH_{PZC} menjadi 9,5 dari 6,93. CMS-MgO dan CMS-ozonasi-MgO mampu meningkatkan waktu pemisahan CO₂/CH₄. Peningkatan yang cukup signifikan dihasilkan oleh CMS-ozonasi-MgO sebesar 1,8 kali lebih lama dibandingkan karbon CKS. Peningkatan yang cukup signifikan tersebut juga dipengaruhi oleh persebaran oksida logam yang lebih merata akibat proses *pre-treatment* dengan proses ozonasi.

Kata kunci: pemisahan CO₂/CH₄, impregnasi oksida logam, adsorpsi, ozonasi

ABSTRACT

The separation of CO₂ from biogas is necessary to enhance its quality into biomethane. An improvement in CO₂/CH₄ separation through adsorption can be achieved by modifying the surface of CMS. The surface modification of CMS is carried out by impregnating it with metal oxide MgO. This study focuses on CMS modification, material characterization, and performance analysis of its separation capabilities using breakthrough curve analysis. The effect of metal dispersion was also investigated by performing pre-treatment through ozonation before the MgO impregnation process. The results of this study indicate that the addition of MgO reduces the surface area from 708 m²/g to approximately 580 m²/g. The addition of MgO also enhances the basicity of the modified CMS, as shown by an increase in the pH_{PZC} value from 6.93 to 9.5. Both CMS-MgO and ozonated CMS-MgO showed an improvement in CO₂/CH₄ separation time. A significant increase was observed in ozonated CMS-MgO, which exhibited 1.8 times longer separation time compared to CKS carbon. This significant improvement is also attributed to the more uniform dispersion of metal oxide because of the ozonation pre-treatment process.

Keywords: CO₂/CH₄ separation, impregnation of metal oxide, adsorption, ozonation

PENDAHULUAN

Biogas merupakan salah satu energi alternatif pengganti bahan bakar dari fosil dan gas alam yang memiliki kandungan CH_4 sebesar 50 – 70%, CO_2 sebesar 30 – 49% (Zhang, 2012) dan sisa lainnya dalam jumlah yang relatif kecil, diantaranya O_2 , H_2S , NH_3 , uap air (Ullah Khan et al., 2017). Secara umum nilai kalor biogas adalah 21,5 MJ/kg, sedangkan gas alam adalah 35,8 MJ/kg (Sahota et al., 2018). Perbedaan nilai kalor keduanya disebabkan karena banyak komponen dalam biogas yang tidak mudah terbakar (terutama CO_2). Oleh karena itu perlu dilakukan pemurnian lebih lanjut agar nilai kalor dari biogas dapat ditingkatkan.

Dengan semakin meningkatnya harga energi, penelitian tentang metode pemisahan yang dilakukan saat ini difokuskan pada metode pemisahan dengan konsumsi energi yang rendah. Salah satu metode pemisahan dengan konsumsi energi yang rendah adalah proses pemisahan gas dengan adsorpsi menggunakan ayakan molekuler. Zeolit merupakan salah satu material yang banyak digunakan sebagai ayakan molekuler. Namun kinerja pemisahan gas dengan zeolit juga dipengaruhi oleh kelembapan dimana kapasitas adsorpsinya dapat menurun drastis. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa H_2O teradsorpsi secara kompetitif pada permukaan zeolit dan menghasilkan bikarbonat yang berdampak pada penurunan aksesibilitasnya terhadap molekul gas (Younas et al., 2016). Terdapat pula material lain yang banyak dikembangkan yaitu *Metal Organic Framework* (MOF). Interaksi logam pada MOF dengan molekul adsorbat dapat mengontrol pemisahan gas. MOF dapat dimodifikasi untuk meningkatkan afinitas terhadap gas dengan cara mencari logam yang sesuai. Namun bahan baku pembuatannya mahal dan prosesnya cukup rumit (Wu et al., 2012). Terdapat pula material lain berupa ayakan molekuler berbasis karbon (CMS). CMS memiliki beberapa keunggulan seperti luas permukaan yang besar, ketahanan yang tinggi terhadap alkali dan asam, serta stabilitas termal yang lebih tinggi (Wahby et al., 2012). Kelebihan lain dari ayakan molekuler berbasis karbon diantaranya dapat dibuat dari limbah biomassa yang merupakan limbah padat dari industri pertanian maupun perkebunan. Beberapa diantaranya yang banyak digunakan sebagai prekursor adalah cangkang kelapa, cangkang kelapa sawit, tandan kosong kelapa sawit, sekam padi, dsb (Ariyanto et al., 2020). Pemanfaatan limbah biomassa tersebut merupakan upaya pemanfaatan sumber daya alam yang ada di Indonesia. Disisi lain juga merupakan usaha untuk mengurangi limbah padat dari sektor pertanian maupun perkebunan. Upaya memanfaatkan sumber daya alam ini dilakukan untuk menjaga kelestariannya dilakukan untuk kehidupan mendatang. Sebagaimana tercantum dalam surat Al-Qashash ayat 77:

إِنَّ الْأَرْضَ فِي الْفَسَادِ تَبْغٍ وَلَا إِلَٰهَ إِلَّا اللَّهُ أَحْسَنَ كَمَا وَأَحْسَنُ الدُّنْيَا مِنْ نَصِيْبِكَ تَنْسَ وَلَا الْآخِرَةَ الدَّارَ اللَّهُ آتَاكَ فِيْمَا وَابْتَغِ الْمُفْسِدِيْنَ يُحِبُّ لَا إِلَٰهَ

“Dan carilah pada apa yang telah dianugerahkan Allah kepadamu (kebahagiaan) negeri akhirat, dan janganlah kamu melupakan bahagianmu dari (kenikmatan) duniawi dan berbuat baiklah (kepada orang lain) sebagaimana Allah telah berbuat baik, kepadamu, dan janganlah kamu berbuat kerusakan di (muka) bumi. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang berbuat kerusakan.”

Pada penelitian ini dilakukan proses pemisahan CO₂/CH₄ menggunakan ayakan molekuler yang dihasilkan dari limbah biomassa khususnya cangkang kelapa sawit karena mampu menghasilkan material karbon dengan luas permukaan pori yang cukup besar dan ukuran pori yang seragam (Prasetyo et al., 2020). Namun kemampuan pemisahan dari ayakan berbasis karbon dari limbah cangkang kelapa sawit (CKS) masih rendah sehingga untuk meningkatkan performa pemisahannya dilakukan proses modifikasi dengan menambahkan oksida logam pada permukaannya (Ariyanto et al., 2021; Mukti et al., 2021). Hal ini dimaksudkan untuk meningkatkan afinitas CO₂ pada permukaan karbon sehingga dapat menghambat difusi CO₂ di dalam pori. Dengan terhambatnya proses difusi CO₂ di dalam pori akan mengakibatkan memiliki perbedaan nilai difusivitas antara CH₄ dan CO₂ yang signifikan sehingga proses pemisahan dapat berlangsung secara maksimal atau dapat dikatakan *sieving properties*-nya meningkat (Mukti et al., 2023).

Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada modifikasi karbon CKS dengan menggunakan impregnasi oksida logam MgO untuk mengetahui performanya terhadap pemisahan CO₂/CH₄. Penambahan logam MgO dikarenakan sifatnya yang cenderung basa sedangkan sifat dari gas CO₂ adalah asam. Dengan penambahan oksida logam yang bersifat basa diharapkan mampu menghambat difusi dari CO₂. Untuk meningkatkan persebaran oksida logam pada permukaan karbon, dilakukan pula proses oksidasi menggunakan proses ozonasi basah. Dari hasil penelitian ini akan diperoleh karakteristik CMS yang dihasilkan serta perbandingan performa kinerja pemisahan CO₂/CH₄ antara CMS yang melalui proses ozonasi dan tanpa ozonasi.

METODE PENELITIAN

Material

Penelitian pembuatan ayakan molekuler berbasis karbon (CMS) berbahan dasar biomassa kelapa sawit terdiri modifikasi permukaan karbon nanopori dari limbah cangkang sawit dengan

menambahkan oksida logam untuk meningkatkan proses separasi CO₂ dan CH₄ dan uji karakteristik dari modifikasi karbon nanopori (XRD, struktur pori, TGA) yang selanjutnya akan diikuti dengan proses karakterisasi pemisahan CO₂/CH₄. Bahan-bahan utama yang digunakan pada penelitian ini adalah karbon cangkang kelapa sawit (PKS) dari PT Home System Indonesia, gas N₂, CH₄ dan CO₂ dengan kemurnian 99,99 %vol yang diperoleh dari PT. Samator Indonesia, dan *mixed gas* CO₂/CH₄ sebagai adsorbat yang mewakili komposisi biogas dengan kemurnian 45/55 %vol diperoleh dari PT. Bintang Terang Karya Inovasi. Bahan yang digunakan untuk impregnasi logam diantaranya Mg(NO₃)₂.6H₂O, Metanol, Etanol dari Merck serta aquadest.

Proses Ozonasi

Sebanyak 20gram sampel karbon cangkang kelapa sawit dimasukkan dalam reaktor *ozone contact* yang dialiri oleh ozon generator IONTECH QLA-3G dengan constant *ozone flow rate* sebesar 3000 mg/jam dan daya 60 Watt. Sampel karbon dialiri gas ozon selama 120 menit. Reaksi antara ozon dan sampel karbon dilakukan pada suhu ruang.

Proses Impregnasi Logam

Tahap pertama proses impregnasi dilakukan dengan degassing 20 gram karbon berpori pada suhu 150°C selama 1 jam dalam keadaan vakum. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa material karbon berpori yang akan digunakan benar-benar telah bersih dan kering. Proses dilanjutkan dengan mengalirkan 10 mL larutan garam secara perlahan-lahan ke dalam karbon. Larutan garam yang ditambahkan kira-kira sebesar volume pori-pori karbon. Kemudian dilakukan pemanasan pada suhu 70°C selama 6 jam yang bertujuan untuk menghilangkan pelarut. Tahap selanjutnya karbon dipanaskan pada suhu dekomposisi masing-masing garam selama 6 jam yang bertujuan untuk menguapkan gas NO₂ yang terikat pada garam logam. Variasi garam yang digunakan adalah Mg(NO₃)₂.6H₂O. Proses impregnasi dilakukan pada karbon tanpa dan dengan proses ozonasi. Selanjutnya pelabelan nama sampel untuk karbon CKS, CMS yang diimpregnasi dengan MgO tanpa preparasi dengan proses ozonasi dan CMS yang diimpregnasi dengan MgO dengan melalui preparasi proses ozonasi disebut dengan C, CMS-MgO, dan CMS-ozonasi-MgO

Uji Kinerja Adsorpsi

Proses pemisahan gas CO₂ dan CH₄ dilakukan dengan menggunakan sistem *breakthrough*. Di dalam kolom berisi ±14gram bahan CMS. Tahap awal yang dilakukan sebelum proses separasi yaitu pembilasan atau *flushing* CMS menggunakan gas nitrogen dengan laju alir 200 ml /menit, *flushing* dihentikan sampai tidak ada kandungan gas CH₄, CO₂,

dan O_2 yang terdeteksi pada detektor gas. Setelah itu, campuran gas CH_4 dan CO_2 dialirkan ke dalam sistem dengan laju alir 50 ml/menit pada suhu ruang dan tekanan sekitar 1,2 bar. Komposisi metana dan karbondioksida dideteksi oleh *portable gas analyzer* (Biogas Analyzer Gas board 3200 plus, Hubei Cubic-Ruiyi Instrument Co. Ltd). Proses separasi dihentikan ketika konsentrasi gas CO_2 dan CH_4 yang terdeteksi oleh *portable gas analyzer* masing-masing kembali pada konsentrasi awal yaitu 45% dan 55%. Setelah proses pemisahan, CMS dibilas dengan melewati gas nitrogen ke kolom dengan laju alir 200 mL/menit untuk proses regenerasi. Pengulangan dilakukan sebanyak tiga kali untuk masing-masing material.

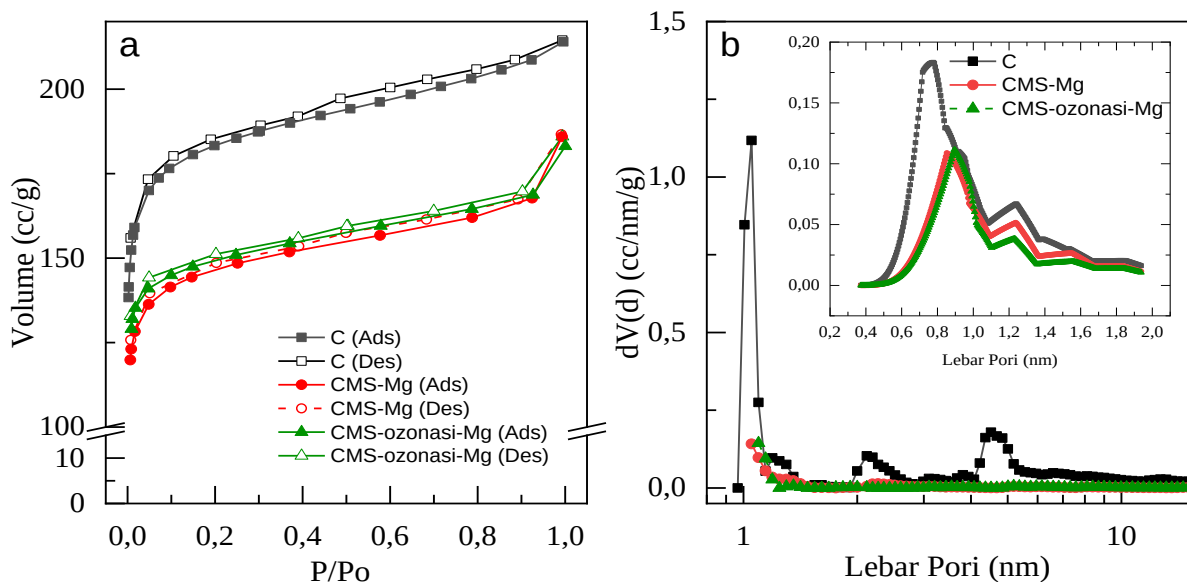
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan pemisahan CH_4 dari campuran CO_2 - CH_4 menggunakan prinsip pemisahan berbasis adsorpsi menggunakan *carbon molecular sieve* (CMS). CMS pada penelitian ini menggunakan bahan baku berupa karbon dari limbah cangkang kelapa sawit (CKS). Karbon CKS (C) selanjutnya dimodifikasi dengan impregnasi menggunakan oksida logam MgO. Untuk meningkatkan persebaran oksida logam pada permukaan karbon, dilakukan pula proses oksidasi menggunakan proses ozonasi basah. Oleh karena itu, hasil dari penelitian ini berupa pengaruh proses ozonasi terhadap karakteristik CMS yang dihasilkan serta performa kinerja pemisahan CO_2/CH_4 antara CMS yang melalui proses ozonasi dan tanpa ozonasi.

Karakteristik CMS

Kurva Adsorpsi-Desorpsi N_2 dari CMS

Gambar 1 (a) merupakan kurva adsorpsi-desorpsi dari karbon CKS (C) serta CMS yang telah dimodifikasi. Dari Gambar 1(a) terlihat bahwa kurva menyerupai kurva tipe I standar IUPAC. Kurva tersebut mengindikasikan bahwa struktur mikropori lebih dominan. Pada $P/P_0=1$, jika dibandingkan dengan C, terlihat bahwa volume adsorpsi N_2 dari CMS termodifikasi oksida logam mengalami penurunan dari $225 \text{ cm}^3/\text{g}$ menjadi berkisar antara $180 \text{ cm}^3/\text{g}$. Hal tersebut terjadi untuk CMS-MgO serta CMS-ozonasi-MgO. Penurunan volume penjerapan nitrogen dapat mengindikasikan adanya penurunan luas permukaan dari CMS termodifikasi dibandingkan dengan C. Penurunan ini diakibatkan adanya penambahan oksida logam pada permukaan karbon yang menurunkan luas permukaan dari karbon.



Gambar 1. Kurva adsorpsi-desorpsi N₂ (a) serta Kurva distribusi ukuran pori (b) dari C, CMS-MgO dan CMS-ozonasi-MgO

Hasil dari analisis adsorpsi-desorpsi N₂ tersebut digunakan untuk menghitung distribusi ukuran pori menggunakan metode DFT serta Horvath-Kawazoe (HK) (inset). Gambar 1(b) merupakan kurva distribusi ukuran pori dari C serta CMS-MgO dan CMS-ozonasi-MgO. Pada karbon CKS (C) pada kurva distribusi ukuran terlihat adanya puncak yang cukup tinggi pada daerah mikropori dengan ukuran 1 nm, serta terlihat pula adanya puncak lain pada daerah mesopori yang berukuran antara 2-3 nm dan 4-6 nm. Namun pada CMS yang telah termodifikasi tidak lagi terlihat adanya puncak pada daerah mesopori tersebut. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan oksida logam selain mengurangi luas permukaan dari karbon CKS, juga mengurangi ukuran porinya. Oleh karena itu, dilakukan analisis distribusi pori lainnya menggunakan metode HK yang terlihat pada inset Gambar 1 (b). Pada Gambar 1 (b) terlihat adanya puncak pada pori berukuran 0,8 nm untuk karbon CKS (c) namun pada CMS termodifikasi terlihat adanya penurunan dan pergeseran puncak menjadi antara 0,9- 1 nm. Hal ini mengindikasikan adanya penurunan ukuran dari mesopori menjadi mikropori.

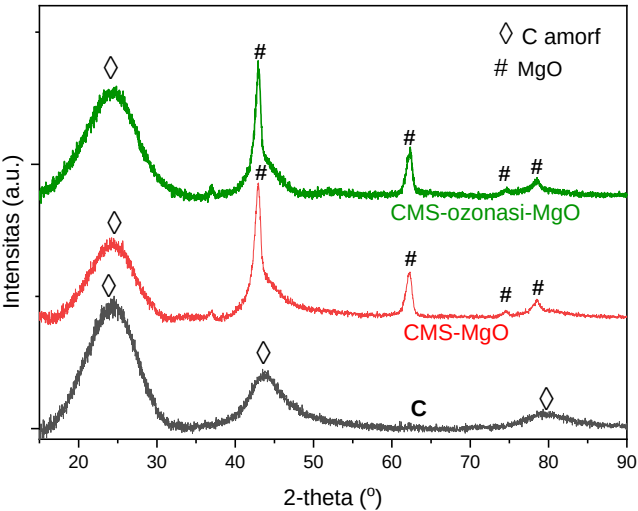
Dari hasil analisis adsorpsi-desorpsi N₂ juga dilakukan perhitungan untuk mengetahui struktur pori dari CMS tersebut. Tabel 1 menunjukkan struktur pori dari C, CMS-MgO serta CMS-ozonasi-MgO. Terlihat bahwa terdapat pengurangan luas permukaan pori dari CMS termodifikasi dibandingkan karbon CKS (C). Namun diameter pori reratanya mengalami peningkatan. Hal ini dikarenakan pori yang awalnya berbentuk mesopori berkurang ukurannya menjadi mikropori karena adanya penambahan oksida logam pada permukaannya.

Tabel 1. Struktur Pori dari C, CMS-MgO serta CMS-ozonasi-MgO

Parameter	C	CMS-MgO	CMS-ozonasi-MgO
$S_{BET}, m^2/g$	708	558	589
% S_{mic}	92	91	93
$V, cm^3/g$	0,33	0,288	0,283
D_{avg}, nm	1,87	2,061	1,924
Pengurangan $S_{BET}, \%$	-	21	17

Pola X-Ray Diffraction (XRD) dari CMS

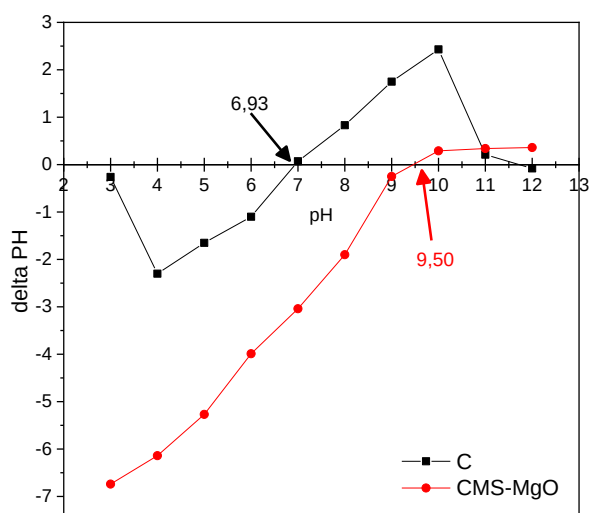
Pola XRD dari karbon C, CMS-MgO serta CMS-ozonasi-MgO disajikan pada Gambar 2. Dari pola XRD yang diperoleh menunjukkan bahwa bahan baku karbon CKS (C) merupakan karbon yang bersifat amorf. Struktur amorf dari karbon ini dapat dilihat dari adanya puncak dengan hkl (002), (101) dan (110) pada sudut 2θ 24,5 °; 43,5 ° dan 79,5 °. Pola XRD untuk CMS-MgO serta CMS-ozonasi-MgO yang terlihat pada Gambar 2 menyerupai pola XRD dari MgO pada JCPDS No-78-0430. Puncak 2θ untuk hkl (200), (220) dan (222) terlihat pada 42,99°; 62,26° dan 78,53°. Hal ini menunjukkan bahwa pada saat proses kalsinasi pada suhu 600°C, $Mg(NO_3)_2$ dapat terdekomposisi menjadi MgO. Pradita (2017) juga mendapatkan hasil yang sama dengan melakukan kalsinasi $MgNO_3$ pada suhu 600°C berupa MgO. Terlihat pula tidak ada puncak lain selain MgO.



Gambar 2. Pola XRD dari C, CMS-MgO serta CMS-ozonasi-MgO

Point of Zero Charge (PZC) CMS

Modifikasi CMS dengan penambahan oksida logam untuk pemisahan CO_2/CH_4 adalah upaya untuk peningkatan afinitas terhadap CO_2 . Dimana CO_2 memiliki sifat yang cenderung asam, sehingga memerlukan permukaan adsorben yang bersifat cenderung basa. Pemahaman tingkat keasaman dan alkalinitas pada permukaan adsorben sangat penting karena memungkinkan pemahaman tentang afinitas padat-gas yang lebih tinggi atau lebih rendah. Nilai pH *Point of Zero Charge* (PZC) adalah salah satu karakteristik dari adsorben yang digunakan untuk melihat kondisi keasaman maupun kebasaan dari adsorben. Hasil analisis untuk nilai pH_{PZC} disajikan pada Gambar 3. Berdasarkan hasil dari uji nilai pH_{PZC} menunjukkan adanya peningkatan pH_{PZC} menjadi 9,5 untuk CMS termodifikasi dibandingkan dengan nilai pH_{PZC} karbon CKS (C) mula-mula yang cenderung netral sebesar 6,93. Sehingga terbukti bahwa penambahan oksida logam MgO mampu meningkatkan sifat kebasaan dari karbon CKS.

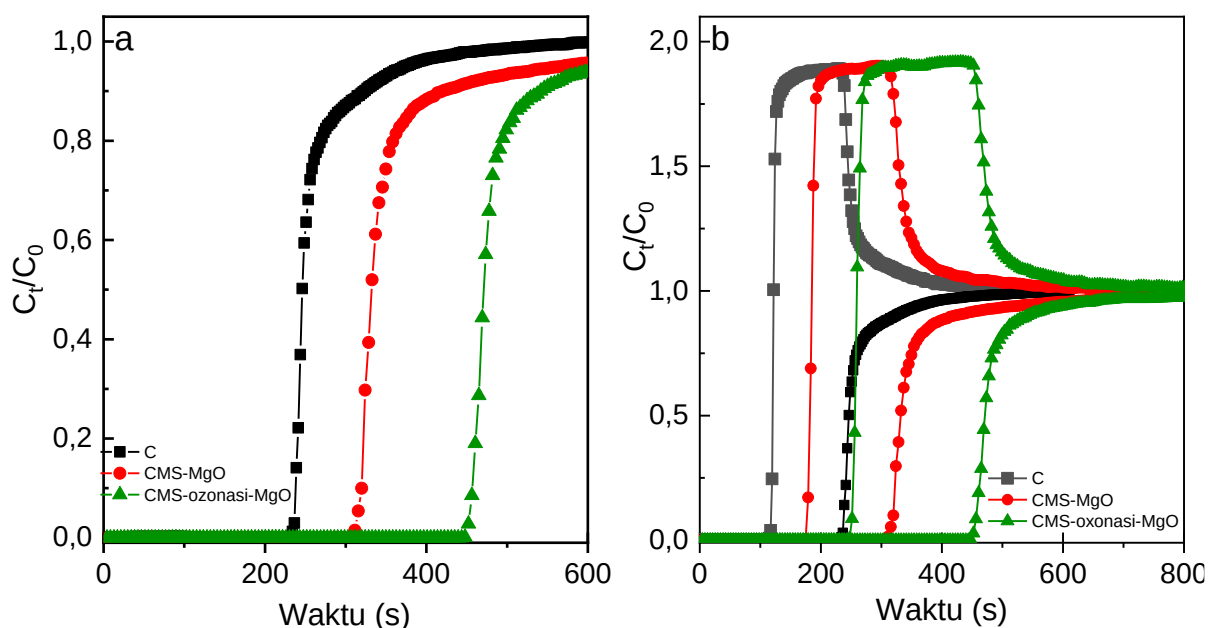


Gambar 3. Grafik Penentuan Nilai pH_{PZC}

Kinerja CMS

Pada penelitian ini kinerja pemisahan CO_2/CH_4 dievaluasi dengan menganalisis uji waktu *breakthrough* dari gas CO_2 dan CH_4 . Grafik uji *breakthrough* disajikan dalam bentuk kurva konsentrasi komponen i setiap waktu/konsentrasi komponen i mula-mula terhadap waktu. Proses pemisahan berlangsung karena adanya perbedaan laju difusi kedua molekul gas CO_2 dan CH_4 . Dimana molekul CH_4 dapat mendifusi lebih cepat sehingga mampu melewati pori-pori lebih cepat daripada molekul CO_2 yang memungkinkan kedua gas tersebut terpisah. Dilihat dari bentuk molekulnya CH_4 memiliki bentuk yang menyerupai bola, sedangkan CO_2 lebih menyerupai batang. Hal ini membuat molekul CH_4 lebih mudah bergerak dan mendifusi

dibandingkan dengan CO₂. Selain itu, CMS yang diperoleh memiliki afinitas yang lebih tinggi terhadap CO₂ sehingga dapat menghambat mobilitas dari CO₂ dibandingkan CH₄. Oleh karena itu, terdapat perbedaan waktu *breakthrough* yang sangat signifikan antara CO₂ dan CH₄. Performa pemisahan semakin baik ketika kurva dengan selisih waktu *breakthrough* antara CH₄ dan CO₂ semakin lebar. Hasil uji kurva *breakthrough* untuk karbon CKS (C), CMS-MgO serta CMS-ozonasi-MgO disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva *breakthrough* CO₂ (a) dan Kurva *breakthrough* CO₂-CH₄ (b) dari C, CMS-MgO serta CMS-ozonasi-MgO

Gambar 4(a) menunjukkan hasil kurva *breakthrough* CO₂ untuk C, CMS-MgO serta CMS-ozonasi-MgO. Terlihat bahwa terdapat peningkatan waktu *breakthrough* CO₂ untuk CMS-MgO dan CMS-ozonasi-MgO. Penambahan waktu breakthrough CO₂ pada CMS-MgO dikarenakan adanya penambahan oksida logam MgO pada permukaan karbon yang mampu menghambat difusi dari CO₂. Sedangkan penambahan waktu breakthrough CO₂ pada CMS-ozonasi-MgO selain karena penambahan logam MgO juga dimungkinkan karena persebaran oksida logam MgO yang lebih merata dibandingkan CMS-MgO. Persebaran logam yang merata ini disebabkan karena adanya peningkatan gugus oksigen akibat dari proses oksidasi menggunakan ozon. Persebaran oksida logam pada saat proses impregnasi pada karbon CKS (C) menjadi CMS-MgO dimungkinkan kurang merata karena karbon bersifat cenderung hidrofobik. Sehingga jika larutan garam logam dimasukkan ke permukaan pori akan terbentuk aglomerasi pada spot-spot tertentu seperti air di atas daun talas. Dengan proses ozonasi, karbon

yang awalnya bersifat cenderung hidrofobik akan berubah menjadi cenderung hidrofilik akibat dari penambahan gugus oksigen selama proses ozonasi (Mukti et al., 2021).

Gambar 4(b) menunjukkan gabungan kurva breakthrough dari CO₂ dan CH₄ dari C, CMS-MgO serta CMS-ozonasi-MgO. Hasil pembacaan berupa waktu breakthrough CO₂ dan CH₄ dari Gambar 4(b) tersebut selanjutnya disajikan pada Tabel 2. Terlihat adanya peningkatan waktu pemisahan yang cukup signifikan sebesar 79% dari CMS-ozonasi-MgO. Hal ini mengindikasikan penambahan oksida logam MgO mampu meningkatkan performa pemisahan CO₂/CH₄ dari CMS serta persebaran oksida logam MgO juga mempengaruhi kinerja CMS untuk pemisahan CO₂/CH₄

Tabel 2. Waktu Breakthrough CO₂ dan CH₄ untuk C, CMS-MgO dan CMS-ozonasi-MgO

Sampel CMS	Waktu <i>breakthrough</i> , s		Δt	Peningkatan Δt , %
	CH ₄	CO ₂		
C	111	234	123	-
CMS-MgO	170	310	140	14
CMS-ozonasi-MgO	230	451	220	79

KESIMPULAN

Modifikasi CMS dengan penambahan oksida logam MgO telah berhasil dilakukan. Proses modifikasi CMS dengan cara impregnasi oksida logam MgO dapat menurunkan luas permukaan sebesar 17-21%. Performa pemisahan terbaik dihasilkan dari CMS-ozonasi-MgO dengan peningkatan waktu pemisahan sebesar 78%. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa penambahan oksida logam MgO dapat meningkatkan performa pemisahan CO₂/CH₄ dari CMS dikarenakan adanya peningkatan sifat kebasaan dari permukaan CMS. Nilai pH_{PZC} yang menunjukkan sifat kebasaan dari permukaan CMS mengalami peningkatan menjadi 9,5 dari yang awalnya bernilai 6,93. Dari penelitian ini juga diketahui bahwa persebaran oksida logam MgO juga mempengaruhi performa pemisahannya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Islam Indonesia (DPPM UII) yang telah memberikan dana hibah penelitian pada skema Penelitian Unggulan dengan Nomor Kontrak 015/Dir/DPPM/70/Pen.Unggulan/IV/2024.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariyanto, T., Masruroh, K., Pambayun, G. Y. S., Mukti, N. I. F., Cahyono, R. B., Prasetya, A., & Prasetyo, I. (2021). Improving the separation of CO₂/CH₄ using impregnation of deep eutectic solvents on porous carbon. *ACS Omega*, 6(29), 19194–19201. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c02545>
- Ariyanto, T., Prasetyo, I., Mukti, N. I. F., Cahyono, R. B., & Prasetya, A. (2020). Nanoporous carbon-based palm kernel shell and its characteristics of methane and carbon dioxide adsorption. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 736(2), 022057. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/736/2/022057>
- Mukti, N. I. F., Ariyanto, T., Sediawan, W. B., & Prasetyo, I. (2021). Oxygen-enriched surface modification for improving the dispersion of iron oxide on a porous carbon surface and its application as carbon molecular sieves (CMS) for CO₂/CH₄ separation. *RSC Advances*, 11(58), 36782–36791. <https://doi.org/10.1039/D1RA07481D>
- Mukti, N. I. F., Ariyanto, T., Sediawan, W. B., & Prasetyo, I. (2023). Efficacy of modified carbon molecular sieve with iron oxides or choline chloride-based deep eutectic solvent for the separation of CO₂/CH₄. *RSC Advances*, 13(33), 23158–23168. <https://doi.org/10.1039/d3ra02890a>
- Pradita, T., Shih, S. J., Aji, B. B., & Sudibyo. (2017). Synthesis of MgO powder from magnesium nitrate using spray pyrolysis. *AIP Conference Proceedings*, 1823. <https://doi.org/10.1063/1.4978089>
- Prasetyo, I., Mukti, N. I. F., Cahyono, R. B., Prasetya, A., & Ariyanto, T. (2020). Nanoporous carbon prepared from palm kernel shell for CO₂/CH₄ separation. *Waste and Biomass Valorization*, 11, 5599–5606. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01006-4>
- Sahota, S., Shah, G., Ghosh, P., Kapoor, R., Sengupta, S., Singh, P., Vijay, V. K. V., Sahay, A., Vijay, V. K. V., & Thakur, I. S. (2018). Review of trends in biogas upgradation technologies and future perspectives. *Bioresource Technology Reports*, 1, 79–88. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2018.01.002>
- Ullah Khan, I., Hafiz Dzarfan Othman, M., Hashim, H., Matsuura, T., Ismail, A. F., Rezaei-DashtArzhandi, M., & Wan Azelee, I. (2017). Biogas as a renewable energy fuel – A review of biogas upgrading, utilisation and storage. *Energy Conversion and Management*, 150, 277–294. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.08.035>

- Wahby, A., Silvestre-Albero, J., Sepúlveda-Escribano, A., & Rodríguez-Reinoso, F. (2012). CO₂ adsorption on carbon molecular sieves. *Microporous and Mesoporous Materials*, 164, 280–287. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2012.06.034>
- Wu, L., Xue, M., Qiu, S. L., Chaplais, G., Simon-Masseron, A., & Patarin, J. (2012). Amino-modified MIL-68(In) with enhanced hydrogen and carbon dioxide sorption enthalpy. *Microporous and Mesoporous Materials*, 157, 75–81. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2011.12.034>
- Younas, M., Sohail, M., Kong, L. L., Bashir, M. J. K., & Sethupathi, S. (2016). Feasibility of CO₂ adsorption by solid adsorbents: A review on low-temperature systems. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 13(7), 1839–1860. <https://doi.org/10.1007/s13762-016-1008-1>
- Zhang, R. (2012). Biogas production technologies. *Biogas and Fuel Cell Workshop*, 1–8.