



Karakterisasi Membran Zeolit ZSM-5 Berdasarkan Variasi Jenis Dan Ukuran Kasa Dengan Pre-Treatment Direndam Dalam NaOH, HCl, Dan elektro-oksidasi Dengan H₂SO₄

Characterization of ZSM-5 Zeolite Membrane Based on Gauze Type and Size Variation with Pre-Treatment Soaked in NaOH, HCl, and electro-oxidation with H₂SO₄

Ana Hidayati Mukaromah, Inas Hasna Azizah, Tulus Ariyadi, Mifbakhuddin
Universitas Muhammadiyah Semarang, Semarang
(ana_hidayati@unimus.ac.id)

Abstrak

Telah dilakukan karakterisasi XRD, SEM-EDX dan FTIR terhadap membran zeolit ZSM-5 secara coating pada suhu 90°C berdasarkan variasi jenis dan ukuran kasa sebagai penyangga yaitu 304-200, 304-400 dan AISI 316-180 yang telah dilakukan pretreatment direndam dalam larutan NaOH 15%, kemudian dalam HCl 15 % dan dielektrooksidasi dengan larutan H₂SO₄ 20% masing-masing 20 menit. Tujuan penelitian ini adalah mengkarakterisasi membran ZSM-5 yang disintesis berdasarkan variasi jenis dan ukuran kasa dengan pretreatment direndam dalam larutan NaOH 15%, kemudian dalam HCl 15% dan dielektrooksidasi dengan H₂SO₄ 20% dengan XRD, SEM-EDX dan FTIR. Sintesis membran ZSM-5 dilakukan dengan cara melapiskan prekursor zeolit ZSM-5 pada penyangga yang telah diberi pre-treatment dan dipanaskan pada suhu 90°C selama 4 hari. Selanjutnya membran ZSM-5 yang dihasilkan dikarakterisasi XRD, SEM-EDX dan FTIR. Hasil penelitian menunjukkan bahwa berdasarkan karakterisasi XRD, SEM-EDX, dan FTIR terhadap membran ZSM-5 yang disintesis dengan variasi penyangga yaitu kasa 304-200, 304-400 dan AISI 316-180 dengan pre-treatment direndam dengan NaOH 15%, HCl 15% dan dielektrooksidasi H₂SO₄ 20% adalah membran ZSM-5 dengan kristalinitas yang paling besar adalah membran ZSM-5 yang disintesis dengan penyangga kasa AISI 316-180.

Kata kunci: Karakterisasi, Membran ZSM-5, Variasi jenis dan ukuran kasa, pre-treatment

Abstract

Characterization of XRD, SEM-EDX and FTIR was carried out on ZSM-5 zeolite membrane coating at a temperature of 90 ° C based on variations in gauze types and sizes as buffer, ie 304-200, 304-400 and AISI 316-180 which were pretreatment in 15% NaOH solution, then in 15% HCl and electrooxidated with 20% H₂SO₄ solution for 20 minutes each. The purpose of this study was to characterize the ZSM-5 membrane synthesized based on variations in gauze types and sizes with pretreatment soaked in 15% NaOH solution, then in 15% HCl and electrooxidated with 20% H₂SO₄ with XRD, SEM-EDX and FTIR. ZSM-5 membrane synthesis was carried out by coating the ZSM-5 zeolite precursor on a buffer that had been pre-treated and heated at 90 ° C for 4 days. Furthermore, the resulting ZSM-5 membrane was characterized by XRD, SEM-EDX and FTIR. The results showed that based on the characterization of XRD, SEM-EDX, and FTIR on ZSM-5 membranes synthesized with variations of buffer, namely 304-200 gauze, 304-400 and AISI 316-180 with pre-treatment soaked with 15% NaOH, HCl 15 % and 20% electrooxidated H₂SO₄ is ZSM-5 membrane with the biggest crystallinity is ZSM-5 membrane synthesized with AISI 316-180 gauze buffer.

Keywords: Characterization, ZSM-5 Membrane, Gauze type and size variations, pre-treatment



PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Gas karbon monooksida (CO) adalah gas yang tidak berbau, tidak berasa dan tidak berwarna sangat sulit diketahui keberadaannya. Gas CO merupakan gas yang sangat beracun, karena lebih cepat mengikat hemoglobin menjadi COHb sehingga menyebabkan kekurangan suplai oksigen pada batas tertentu, yaitu pada meningkatnya resiko kematian untuk mengikat hemoglobin. Kekurangan suplai oksigen pada batas tertentu, yaitu dapat mengakibatkan meningkatnya resiko kematian (Zulfah, 2011). Gas CO dapat di adsorpsi dengan menggunakan zeolit yaitu mineral kristal alumina silica tetrahidrat berpori yang mempunyai struktur kerangka tiga dimensi, terbentuk dari tetrahedral antara aluminat (AlO_4^{5-}) dan silikat (SiO_4^{-}) yang saling terhubung oleh atom-atom oksigen sehingga membentuk kerangka tiga dimensi, yang mengandung rongga-rongga di dalamnya terisi oleh ion-ion logam yaitu logam-logam alkali atau alkali tanah dan molekul air yang dapat bergerak bebas (Lestari, 2010).

2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mengkarakterisasi membran ZSM-5 yang disintesis berdasarkan variasi jenis dan ukuran kasa dengan pretreatment direndam dalam larutan NaOH 15%, kemudian dalam HCl 15% dan dielektrooksidasi dengan H_2SO_4 20% dengan XRD, SEM-EDX dan FTIR.

3. Zeolit ZSM-5

Zeolit ZSM-5 merupakan zeolit dengan ukuran pori menengah (5,1-5,6 Å) dengan struktur pori tiga dimensi. Sifat asam yang dimiliki oleh ZSM-5 menyebabkan zeolit ini sering digunakan sebagai katalis konversi gas di bidang petrokimia dan petrokimia (Cejka dkk., 2005). Zeolit ZSM-5 mempunyai luas permukaan yang besar dan mempunyai saluran yang dapat menyaring ion atau molekul. Manfaat zeolit yaitu dapat sebagai; Penyaring molekul, penukaran ion, penyaring bahan, katal isator (Nurropiah dkk., 2015).

Tavolaro dalam Shan dkk. (2004) membagi teknik proses preparasi membran zeolit dalam empat katagori: (1) *pre-treatment* penyangga, (2) metodologi sintesis: sintesis *in situ*, sintesis lapis demi lapis (*layer by layer*), dan metoda pembenihan, (3) impregnasi penyangga, dan (4) eliminasi kerusakan-kerusakan kecil. Beberapa studi melaporkan bahwa struktur fisik dan susunan kimia penyangga sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan membran zeolit. Pemilihan penyangga sangat penting dengan mempertimbangkan harga, konduktivitas termal, kualitas anti korosi, dan kekuatan mekanik. Bahan kasa stainless steel sangat dipromosikan penyangga untuk membran mikropori, karena stainless steel merupakan logam paduan dari beberapa unsur logam, bersifat tahan korosi, kuat dan tahan terhadap reaksi oksidasi dan merupakan bahan yang ramah lingkungan (Holmbergh, 2008).

4. Jenis dan Ukuran Kasa

Ada beberapa tipe kasa stainless steel, diantaranya 304 dan AISI 316. Kasa stainless steel tipe AISI 316 lebih baik daripada 304, karena AISI 316 mengandung unsur Nikel minimal 10,5% (Murniati, 2012). Adanya perbedaan bentuk permukaan antara bahan kasa dan zeolit ZSM-5, hal ini menyulitkan membran tumbuh sangat baik di atas permukaan kasa, sehingga diperlukan beberapa perlakuan terhadap kasa sebelum digunakan sebagai penyangga membran zeolit.

5. Perlakuan Kasa

Beberapa perlakuan terhadap kasa baja sebelum digunakan sebagai penyangga antara lain: 1) direndam dalam larutan HNO_3 1% pada suhu $60^\circ C$ selama 4 jam, kemudian dalam aseton selama 1 jam (Fausto dkk., 2005), 2) direndam dalam toluene 95% 12 jam, kemudian dalam larutan HCl 5% selama 6 jam, direndam dalam larutan TPABr 0,1 M selama 12 jam (Kong dkk., 2006), 3) baja direndam dalam NaOH 15% kemudian dalam larutan HCl 15 %, dan



dielektro-oksidasi dengan H_2SO_4 20 % (Gao dkk., 2011), dan 4) direndam dalam toluen 95 % selama 2 jam kemudian dalam larutan HCl 15 % selama 20 menit (Louis dkk., 2001).

Hasil penelitian Utami, R.A, Mukaromah, A.H., dan Yusrin (2017), persentase penurunan kadar gas CO berdasarkan variasi kasa 304-200, 304-400, dan kasa AISI 316-180 berturut-turut adalah $10,07\% \pm 0,38$; $12,10\% \pm 0,63$ dan $15,07\% \pm 1,05$. Kapasitas adsorpsi membran zeolit ZSM-5 tertinggi terdapat pada jenis kasa AISI 316-180 sadalah sebesar $87.359,51 \pm 6.702,77$.

METODE

Jenis penelitian ini merupakan penelitian eksperimen. Penelitian ini menggunakan kasa stainless steel jenis AISI 316-180 dan kasa 304-200, 304-400 mesh dengan pre-treatment yaitu direndam dalam larutan NaOH 15%, HCl 15% dan dicuci dengan ultrasonic cleaner kemudian di elektrooksidasi dengan H_2SO_4 20% 20% dengan voltase konstan 3-5 V; dan kuat arus 0,01 A lalu dikeringkan pada suhu $110^\circ C$ (Gao dkk, 2011).

Prosedur Penelitian melalui beberapa tahap:

1. Pre-treatment Kasa sebelum digunakan sebagai penyangga

Kasa stainless steel jenis 304 ukuran 200 mesh, 400 mesh dan jenis kasa stainless steel AISI 316 ukuran 180 mesh masing-masing ukuran 3cm x 3cm direndam dalam larutan NaOH 15%, kemudian dalam HCl 15% untuk menghilangkan zat anorganik, kemudian dicuci dengan akuades dengan ultrasonic cleaner kemudian dielektro-oksidasi dengan H_2SO_4 20% dengan voltase konstan 3-5 V ; dan kuat arus 0,01 A masing-masing selama 20 menit, kemudiandikeringkan pada suhu $110^\circ C$ (Gao,dkk 2011).

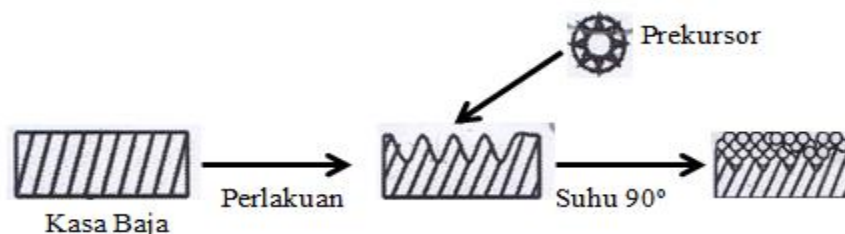
2. Sintesis Membran Zeolit ZSM-5 Pada Suhu Rendah Secara Coating.

2.1 Pembuatan Prekursor Zeolit ZSM-5.

Sejumlah 0,136 g $NaAlO_2$ dan 1,390 g NaOH 50% b/v ditimbang dan dimasukkan ke dalam wadah polipropilen. Sebanyak 1,549 g TPABr dilarutkan dalam akuades 7,3788 gram dan dimasukkan ke dalam wadah polipropilen, diaduk dengan pengaduk magnetik selama 5 menit. Setelah itu ditambahkan 24,490 g ludox HS-40%, terjadi semi gel dan diaduk dengan kecepatan 900 rpm selama 6 jam.

2.2 Sintesis Membran zeolit ZSM-5 pada Suhu Rendah Selama 4 hari secara coating.

Prekursor zeolit ZSM-5 dilapiskan pada kasa yang sudah diberikan pre-treatment kemudian dimasukkan dalam reaktor wadah polipropilen dengan rasio luas permukaan 1,44 (Mukaromah, dkk., 2016) dan dipanaskan pada suhu $90^\circ C$ selama 4 hari. Selanjutnya membran ZSM-5 yang dihasilkan dicuci dengan akuades, dikeringkan pada suhu $60^\circ C$ semalam lalu dipanaskan pada suhu $550^\circ C$ dalam muffle furnace selama 6 jam. Proses sintesis membran ZSM-5 tertera pada Gambar 1.



Gambar 1. Sintesis zeolit ZSM-5 secara *coating* (Gao dkk., 2011)



3. Karakterisasi membran ZSM-5 dengan XRD, SEM-EDX, dan FTIR

3.1 XRD

Prinsip metoda XRD adalah difraksi sinar X yang ditembakkan pada suatu padatan kristal yang akan mengenai elektron dalam atom dan awan elektron tersebut akan bervibrasi dan mendifraksikan sinar X yang akan berinterferensi membentuk suatu pola khas tertentu yang berbeda untuk setiap bentuk kristalin.

Sinar difraksi yang dihasilkan mengikuti hukum Bragg pada persamaan II.1.

$$n \lambda = 2 d \sin \theta \quad (\text{II.7})$$

dengan n adalah lintasan sinar-X (bilangan bulat), λ adalah panjang gelombang sinar-X (\AA), d adalah jarak antar bidang hkl yang sama (\AA), dan θ adalah sudut difraksi ($^\circ$). Puncak intensitas tertinggi pada $2\theta = 8$ dan 23 merupakan ciri khas dari ZSM-5 (Thomas, dkk., 2015).

3.2 The fourier-transform infrared (FTIR)

Spektrometri infra merah (IR) merupakan salah satu instrumen yang dapat menganalisa senyawa kimia dengan memberikan gambaran mengenai struktur senyawa/molekul tersebut. Spektrometri IR adalah interaksi antara radiasi cahaya di daerah infra merah (spektra sinar pada bilangan gelombang 12.900 sampai dengan 10 cm^{-1}) dengan materi. Sinar infra merah yang diserap atau yang diteruskan akan ditangkap oleh detektor yang mengubah sinyal-sinyal yang diterima menjadi inferogram. Inferogram ini kemudian diolah oleh komputer menjadi data spektrum pada bilangan gelombang tertentu memberikan petunjuk mengenai ikatan-ikatan yang terdapat dalam senyawa tersebut.

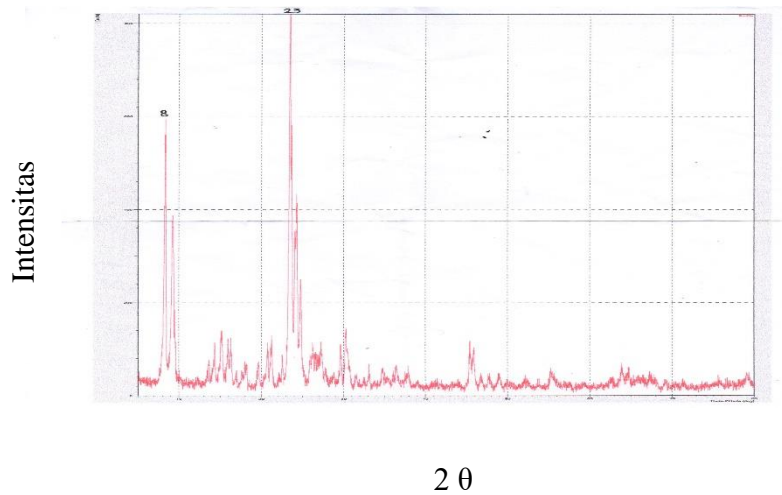
Penelitian ini FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi vibrasi ikatan pada kerangka zeolit pada bilangan gelombang 4000 cm^{-1} sampai dengan 400 cm^{-1} dengan teknik pellet KBr yaitu 1 mg sampel digerus dengan 100 mg KBr kering sehingga menjadi padatan transparan. FTIR juga dapat digunakan untuk menentukan kristalinitas produk ZSM-5. Data kristalinitas dari spektra FTIR dihitung berdasarkan rasio ikatan pada bilangan gelombang 550 cm^{-1} (I_{550}) terhadap ikatan pada bilangan gelombang 450 cm^{-1} (I_{450}) (Al-Oweini dan El-Rassy, 2009; Figueiredo dkk., 2016). Menurut Shukla dan Pandya (1989) dalam Mukaromah, dkk. (2016), ZSM-5 diasumsikan memiliki kristalinitas 100% jika nilai $I_{550}/I_{450} = 0,81$.

3.3 SEM-EDX

SEM digunakan untuk melihat morfologi permukaan dari padatan kecil, sedangkan SEM-EDX untuk mengetahui komposisi logam atau logam oksida pada membran zeolit ZSM-5, dan untuk mengobservasi morfologi partikel yang berukuran mikro. Prinsip kerja SEM adalah penembakan berkas elektron terhadap suatu sampel, sehingga menghasilkan pantulan elektron dengan energi yang lebih rendah. Berkas elektron yang dipantulkan akan memberikan informasi mengenai gambar permukaan atau morfologi suatu sampel. Pada umumnya material yang dianalisis oleh SEM bersifat konduktor, sedangkan untuk material yang bersifat isolator seperti zeolit harus dilapisi (*coating*) dengan konduktor seperti emas atau platina menggunakan alat *sputtering*. Untuk menghasilkan hasil analisa kualitatif mengenai unsur-unsur yang terdapat di dalam sampel, dihubungkan dengan alat EDX (*Energy dispersive X-Ray Spectroscopy*) (Mukaromah, 2017).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis membran zeolit ZSM-5 diawali dengan pre-treatment terhadap berbagai jenis dan ukuran kasa. Selanjutnya kasa sebelum dan sesudah pre-treatment dikarakterisasi dengan XRD tertera pada Gambar 2 dan SEM EDX disajikan dalam Gambar 3 dan Tabel 1.



Gambar 2. Pola difraksi Membran ZSM-5

Gambar 2 menunjukkan pola difraksi sinar X membran ZSM-5 dihasilkan bahwa terjadi intensitas tinggi pada $2\theta = 8$ dan 23 , menunjukkan zeolit ZSM-5.

Jenis dan ukuran kasa	Kasa sebelum pre-treatment	Kasa setelah pretreatment
304-200		
304-400		
AISI 316		



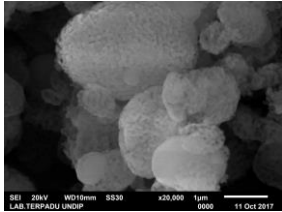
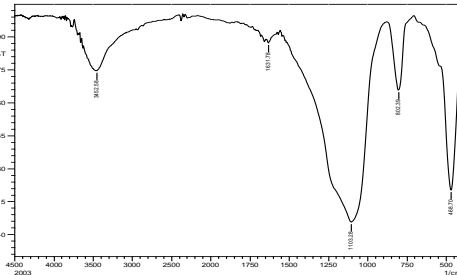
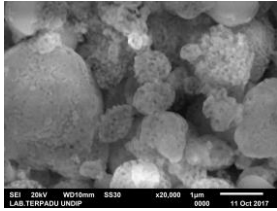
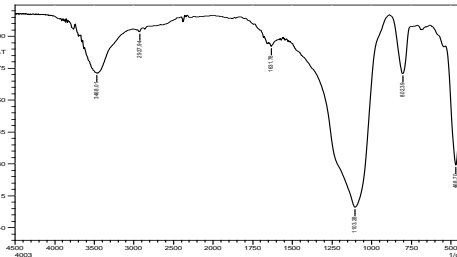
Gambar 3. SEM dari variasi kasa sebelum dan sesudah pre-treatment

Tabel 1. EDX Variasi Kasa sebelum dan Sesudah Pretreatment

No.	Jenis dan Ukuran Kasa	Komponen	Komposisi	
			Sebelum Pre-treatment	Sesudah Pre-treatment
1	304-200	C	6,12	0,42
		SiO ₂	0,82	1,31
		Al ₂ O ₃	-	-
		Cr ₂ O ₃	20,67	19,52
		FeO	63,25	59,10
		NiO	6,30	6,33
2	304-400	C	11,21	11,10
		SiO ₂	0,57	0,41
		Al ₂ O ₃	-	-
		Cr ₂ O ₃	18,63	19,68
		FeO	55,89	57,66
		NiO	9,92	8,90
3	AISI316-180	C	7,94	6,86
		SiO ₂	0,89	1,31
		Al ₂ O ₃	-	0,33
		Cr ₂ O ₃	19,12	18,1
		FeO	58,34	45,23
		NiO	9,77	5,49

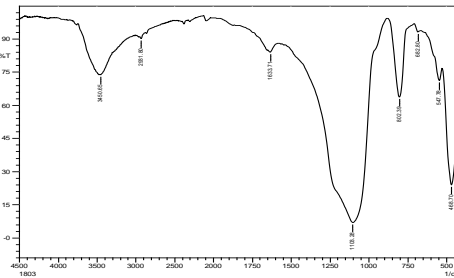
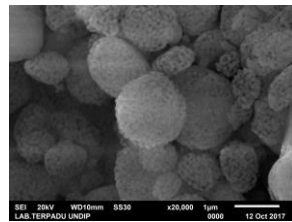


Gambar 3 menunjukkan citra SEM dengan pre-treatment sebelum dan sesudah direndam dalam larutan NaOH 15%, kemudian dalam HCl 15% dan dielektro-oksidasikan dengan H₂SO₄ 20% masing-masing selama 20 menit, dari ketiga jenis kasa yang permukaannya paling kasar adalah kasa AISI 316-180. Tabel 1 menunjukkan komposisi EDX sebelum dan sesudah pre-treatment menunjukkan bahwa setelah pre-treatment terjadi persentase dari pengurangan komponen C, SiO₂, Al₂O₃, Cr₂O₃, FeO dan NiO akan menyebabkan permukaan kasa baik 304-200, 304-400, maupun AISI316-180 menjadi kasar. Karakterisasi membran ZSM-5 dengan SEM-EDX dan FTIR disajikan pada Gambar 4

Jenis dan ukuran kasa	SEM Membran ZSM-5	FTIR Membran ZSM-5
304-200		
304-400		



AISI 316

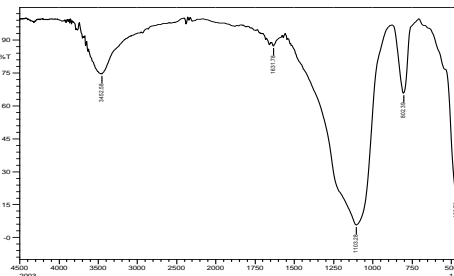
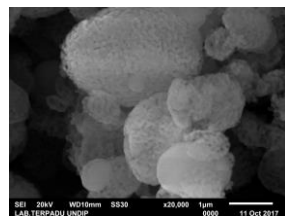


Gambar 4 menunjukkan citra SEM dengan pre-treatment sebelum dan sesudah direndam dalam larutan NaOH 15%, kemudian dalam HCl 15% dan dielektro-oksidi dengan H₂SO₄ 20% masing-masing selama 20 menit, dari ketiga jenis kasa yang permukaannya paling kasar adalah kasa AISI 316-180. Tabel 1 menunjukkan komposisi EDX sebelum dan sesudah pre-treatment menunjukkan bahwa setelah pre-treatment terjadi persentase dari pengurangan komponen C, SiO₂, Al₂O₃, Cr₂O₃, FeO dan NiO akan menyebabkan permukaan kasa baik 304-200, 304-400, maupun AISI316-180 menjadi kasar. Karakterisasi membran ZSM-5 dengan SEM-EDX dan

FTIR disajikan pada Gambar 3.

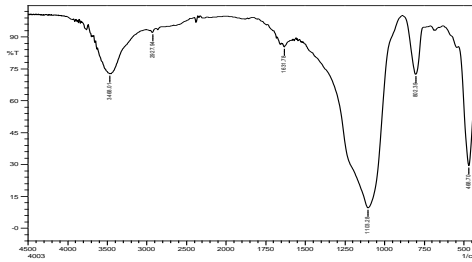
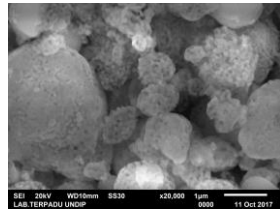
Jenis dan ukuran kasa	SEM Membran	FTIR Membran ZSM-5
	ZSM-5	

304-200

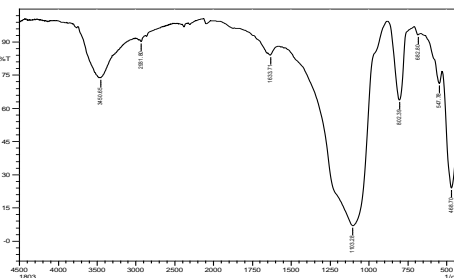
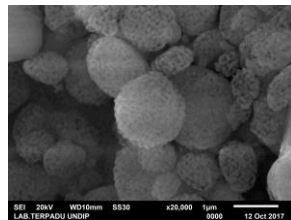




304-400



AISI 316



Gambar 4. Citra SEM membran ZSM-5 dan FTIR dengan variasi kasa dengan pre-treatment direndam dengan NaOH, HCl, dielektrooksidasi dengan H₂SO₄

Gambar 4 menunjukkan bahwa citra SEM membran ZSM-5 dengan variasi kasa dengan pre-treatment direndam dengan NaOH, HCl, dielektrooksidasi dengan H₂SO₄ dari ketiga kasa menghasilkan citra SEM yang sama yaitu berbentuk morfologi coffee. Yang merupakan morfologi ZSM-5. Informasi yang diperoleh dari spektra FTIR dari ketiga sampel membran ZSM-5 yang ditunjukkan dalam Gambar 2 adalah adanya ikatan Si-O pada panjang gelombang 1400 cm⁻¹ sampai dengan 400 cm⁻¹. Puncak-puncak pada bilangan gelombang 1100 cm⁻¹ adalah kedudukan transversal regangan asimetris ikatan Si-O-Si. Puncak pada 1225 cm⁻¹ menunjukkan vibrasi regangan asimetris Si-O-Si dan vibrasi tekuk ikatan SiO₄ tetrahedral yang merupakan ciri khas dari kristal zeolit.

Spektra produk membran ZSM-5 dengan penyangga AISI 316 menggambarkan ikatan yang paling kuat pada bilangan gelombang tersebut dibandingkan dengan spektra produk dari kasa 304-200 dan 304-400. Selanjutnya vibrasi tekuk kecil pada 962 cm⁻¹ menunjukkan vibrasi regangan dari ikatan Si-OH (silanol), Ikatan pada 800 cm⁻¹ menerangkan vibrasi regangan asimetris ikatan-ikatan Si-O-Si dan vibrasi lekuk muncul pada 450 cm⁻¹. Ikatan pada 550 cm⁻¹ menerangkan vibrasi regangan asimetris unit cincin pentasil ZSM-5 atau *double five-membered rings* (d5r) yang merupakan karakteristik dari ZSM-5.



Informasi tentang kristalinitas produk dapat diestimasi dengan rasio intensitas pada bilangan gelombang 550 cm^{-1} terhadap intensitas pada bilangan gelombang 450 cm^{-1} . Menurut Shukla dan Pandya (1989), $I_{550}/I_{450} = 0,81$, dianggap kristalinitas 100%. Semua ikatan tersebut sesuai dengan literatur-literatur sebelumnya (Al-Oweini dan El-Rassy, 2009). Hasil dari spektra FTIR menunjukkan bahwa membran ZSM-5 dengan penyangga kasa AISI 316-180 dengan pre-treatment direndam dengan NaOH, HCl, dielektrooksidasi dengan H_2SO_4 menghasilkan hasil sintesis dengan kristalinitas yang paling besar. Hal ini sesuai dengan rasio intensitas pada bilangan gelombang 550 cm^{-1} terhadap intensitas pada bilangan gelombang 450 cm^{-1} mendekati 0,81 yang ditunjukkan oleh data FTIR adalah membran ZSM-5.

Hal ini sesuai dengan penelitian Utami, R.A., Mukaromah, A.H., dan Yusrin (2017) dalam sintesis membran ZSM-5 dengan penyangga kasa jenis 304-100, 304-200, 304-400, dan AISI 316-180 yang telah dilakukan pre-treatment dengan perendaman NaOH 15%, HCl 15% dan dielektrooksidasi H_2SO_4 20%, menghasilkan persentase penurunan kadar gas CO tertinggi pada kasa AISI 316-180 sebesar $15,07 \pm 1,05\%$ dengan kapasitas adsorpsi membran ZSM-5 adalah $87,36 \pm 6,70\text{ mg/g}$.

KESIMPULAN

Berdasarkan karakterisasi XRD, SEM-EDX, dan FTIR terhadap membran ZSM-5 yang disintesis dengan variasi penyangga yaitu kasa 304-200, 304-400 dan AISI 316-180 dengan pre-treatment direndam dengan NaOH 15%, HCl 15% dan dielektrooksidasi H_2SO_4 20% disimpulkan bahwa membran ZSM-5 dengan kristalinitas yang paling besar adalah kasa AISI 316-180.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Oweini, R., dan El-Rassy, H. (2009): Synthesis and characterization by FTIR spectroscopy of silica aerogels prepared using several $\text{Si}(\text{OR})_4$ and $\text{R}''\text{Si}(\text{OR}')_3$ precursors, *Journal Molecular Structure*, **919**, 140-145.
- Cejka, J.H, Van Bekkum, 2005, 'Zeolite and Ordered Mesoporous Materials : Progress and Prospect', Czech republic : The 1st FEZA School on Zeolites, Pague Studies in Surface Science and Catalysis Volume 157.
- Gao Y., Chen M., Zhang T, dan Zhen g X. (2011): A novel method for the growth of ZSM-5 zeolite membrane on the surface stainless steel, *Journal of Material Letter*, **65**, 2789-2792.
- Holmbergh, B. (2008): *Stainless Steels: Their properties and suitability to welding*, Avesta Polarit, Sweden.
- Holmes, S.M, Markert, C., Plaisted, R.J., Forrest J. O., Agger J. R., Anderson M.W., Cundy C.S., dan Dwyer, J. (1999): A novel method for the growth of silicalite membranes on stainless steel supports, *Journal of Chemical Material*, **11**, 3329-3332.
- Kong, C., Lu, J., Yang, J., Wang, J. (2006): Preparation of silicalite-1 membranes on stainless steel supports by a two-stage varying-temperature in situ synthesis, *Journal of Membrane Science*, **285**, 258–264.



- Lestari, D, 2010, 'Kajian Modifikasi dan Karakterisasi Zeolit Alam Dari Berbagai Negara' Prosiding seminar nasional Kimia dan Pendidikan Kimia, Yogyakarta.
- Lopes, F., Bernal, M.P., Mallada, R., Cornes, J., dan Santamaria, J. (2005): Preparation of silicalite membranes on stainless steel grid supports. *Journal of Indonesian Engginering Chemistry Resolution*: **44**, 7627-7632.
- Louis, B., Reuse, P., Kiwi-Minsker, L., Renken, A. (2001): Synthesis of ZSM-5 coatings on stainless steel grids and their catalytic performance for partial oxidation of benzene by N₂O. *Journal of Applied Catalysis A: General*, **210**, 103–109.
- Louis, B., Reuse, P., Kiwi-Minsker, L., Renken, A. (2001): ZSM-5 coatings on stainless steel grids in one-step benzene hydroxylation to phenol by N₂O: Reaction kinetics study, *Journal of Chemistry Resolution*, **40**, 1454-1459.
- Mukaromah, A.H. 2016. The surface to volume ratio of reactor governing the low temperatur crystallization of ZSM-5. *Journal of Mathematical and Fundamental Sciences. Institut Teknologi* 60, E-ISSN: 2338-5510.
- Mukaromah, A.H. 2017. *Sintesis Membran Zeolit ZSM-5 Secara Elektrodeposisi dan coating pada Suhu Rendah untuk Menurunkan Kadar Gas Karbon Monoksida*, Disertasi Program Doktor, Institut Teknologi Bandung.
- Murniati, A., Buchari, Gandasasmita, S., dan Nurachman, Z., (2012): Sintesis dan karakterisasi polipirol pada elektroda kerja kasa baja dengan metode voltametri siklik, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, **13** (3), 210-215.
- Nurropiah, P., Mukaromah, A.H., Sitomurti D.H. (2015): Penurunan kadar krom (VI) dalam ir menggunakan zeolit ZSM-5 dengan variasi konsentrasi dan lama waktu perendaman. Seminar Nasional Bidang MIPA dan Kesehatan The 2rd University Research Colloquium 2015. ISSN 2407-9189, 445-450
- Shan, W., Zhang, Y., Yang, W., Ke, C., Gao, Z., Ye, Y., dan Tang, Y. (2004): Electrophoretic deposition of nanosizes in non-aqueous medium and its Application in fabricating thin zeolites membranes. *Journal of Microporous and Mesoporous Materials*, **69**, 35-42.
- Shukla, D.B. dan Pandya, V.P. (1989): Estimation of crystalline phase in ZSM-5 zeolites by infrared spectroscopy, **44**, 147-154.
- Thommes, M., Kaneko, K., Neimark, A.V., Olivier, J.P., Rodriguez-Reinoso, F., Rouquerol, J., Sing, K.S.W. (2015): Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report), *Journal of Pure Applied Chemistry*, **87**, 1051-1069.
- Utami, R.A., Mukaromah, A.H., dan Yusrin. 2017. Sintesis Membran Zeolit ZSM-5 Secara Coating Pada Suhu 90°C Berdasarkan Variasi Jenis dan Ukuran Kasa dalam Menurunkan Kadar Gas CO. Proceeding Seminar Nasional Universitas Muhammadiyah Semarang. ISBN: 978-602-74818-9-3. 699-703.



- Whiston, C., Edit. Prichard, F. E. (1991): *X-Ray methods: Analytical chemistry by open Learning*. London: John Willey & Sons.
- Zulfah, Wibowo, A. dan Hartoni, U.C. 2011, 'Analisa Pengaruh Penggunaan Catalytic Converter pada mesin empat langkah terhadap penurunan Emigsi gas buang', Skripsi, Universitas Pancasakti.