



Sintesis dan Karakterisasi Sifat Keasaman dan Morfologi Katalis K-Co-Mo/ZAAEF

Kasimir Sarifudin^{1*}, Maria Erfina Karfona²

Program Studi Pendidikan Kimia, Universitas Nusa Cendana, Indonesia^{1,2}

* email korespondensi: kasimir_sarifudin@staf.undana.ac.id

Abstrak

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik keasaman dan morfologi permukaan katalis pada variasi rasio mol logam prekursor Mo/Co berbeda. Zeolit alam dari Ende-Flores diaktifasi melalui proses hidrotermal, aktifasi secara kimia menggunakan HF, HCl, dan NH₄Cl. Sintesis katalis K-Co-Mo/ZAAEF dilakukan dengan metode ko-impregnasi menggunakan larutan CoCl₂·6H₂O, (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O, dan K₂CO₃ sebagai senyawa prekursor logam K, Co dan Mo. Aktifasi katalis melalui proses kalsinasi, oksidasi dan reduksi pada 500 oC masing-masing secara berturut-turut menggunakan gas nitrogen, oksigen dan hidrogen. Pengukuran keasaman permukaan katalis menggunakan metode gravimetri uap piridin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keasaman katalis pada rasio mol logam prekursor Mo/Co bervariasi memiliki nilai keasaman berbeda. Katalis dengan variasi rasio mol logam prekursor Mo/Co antara 0 dan 0,6 meningkat, sedangkan pada katalis dengan rasio mol logam prekursor Mo/Co lebih di atas 0,6, nilainya lebih rendah. Katalis K-Co-Mo_{0.6}/ZAAEF memiliki keasaman permukaan paling tinggi yaitu 0,0946 mmol/gram. Hasil identifikasi gugus fungsi menggunakan FT-IR menunjukkan bahwa katalis mengandung situs asam Lewis dan Brønsted. Pada jumlah logam prekursor Mo sedang, rasio logam prekursor Mo/Co 0,3-0,6 menghasilkan katalis yang memiliki pita serapan situs asam Brønsted, sedangkan pada jumlah logam prekursor Mo lebih tinggi pita serapan tersebut tidak muncul. Hasil uji morfologi mikroskopik menunjukkan bahwa morfologi permukaan katalis yang berbeda pada masing-masing variasi rasio mol logam prekursor Mo/Co. Katalis K-Co-Mo_{0.6}/ZAAEF memiliki morfologi permukaan dengan distribusi partikel yang lebih merata dibandingkan katalis lainnya.

Kata Kunci : Katalis, rasio Mo/Co, ko-impregnasi, keasaman dan morfologi

Abstract

This research intends to determine variations in acidity and surface morphology of the catalyst while employing different quantities of Mo and Co. Natural zeolite from Ende-Flores was activated via a hydrothermal method, accompanied by chemical activation utilizing HF, HCl, and NH₄Cl. The K-Co-Mo/ZAAEF catalyst was synthesized by the co-impregnation method utilizing solutions of CoCl₂·6H₂O, (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O, and K₂CO₃ as precursor compounds for the metals K, Co, and Mo. The catalyst activation included calcination, oxidation, and reduction procedures at 500 °C, utilizing nitrogen, oxygen, and hydrogen gases, respectively. The catalyst surface acidity was measured using the gravimetric technique with pyridine vapor. The research findings indicate that the acidity of the catalyst varies with varied molar ratios of Mo/Co precursor metals. The catalyst exhibited an increase with varied molar ratios of Mo/Co precursor metals from 0 to 0.6, whereas those with molar ratios over 0.6 showed decreasing values. The K-Co-Mo_{0.6}/ZAAEF catalyst has the highest surface acidity at 0.0946 mmol/gram. The findings from functional group identification via FT-IR indicate that the catalyst comprises Lewis and Brønsted acid sites. A modest quantity of Mo precursor metal, with a Mo to Co precursor metal ratio of 0.3-0.6, yields a catalyst exhibiting an absorption band for Brønsted acid sites; conversely, a higher quantity of Mo precursor metal does not produce this absorption band. Microscopic test results indicate that the surface morphology of the catalysts varies with differing quantities of Mo/Co precursor metals. The K-Co-Mo_{0.6}/ZAAEF catalyst has a well-dispersed surface shape characterized by a more homogeneous particle dispersion relative to the other catalysts.

Keywords : Catalysts, Mo/Co ratio, co-impregnation, acidity, and morphology

PENDAHULUAN

Proses pengolahan minyak bumi menjadi produk yang digunakan sebagai sumber energi bahan bakar tidak terlepas dari penggunaan katalis. Proses *catalytic cracking* dalam industri perminyakan menggunakan katalis untuk mempercepat laju reaksi menghasilkan berbagai produk seperti bensin dan diesel (Nurhayati, 2016). Penyangga katalis diperlukan dalam sintesis katalis heterogen. Zeolit alam merupakan mineral yang memiliki kerangka utama silika dan alumina, dapat digunakan sebagai penyangga katalis. Sekitar 6.115.000 ton zeolit alam terdapat di Ende Flores, Nusa Tenggara Timur, menurut data dari Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (Arryanto, dkk., 2012). Zeolit di alam masih bercampur dengan pengotor organik dan anorganik yang berbentuk amorf dan kristal. Oleh karena itu, kualitas zeolit alam harus ditingkatkan melalui aktifasi dan modifikasi untuk meningkatkan karakternya sebagai penyangga katalis sehingga dapat mendukung aktivitas katalitik (Trisunaryanti, dkk., 2005).

Salah satu karakter katalis yang menentukan aktivitas katalitik adalah keasaman. Mendispersikan logam transisi yang memiliki orbital *d* belum terisi penuh atau setengah penuh yang efektif untuk menerima pasangan elektron dari basa adsorbat dapat digunakan untuk mengubah keasaman zeolit (Trisunaryanti, dkk., 2005). Dalam pengolahan minyak bumi, logam Pd dan Pt adalah logam transisi yang paling cocok untuk digunakan sebagai katalis. Namun, karena kedua logam ini mahal, logam lain seperti Co digunakan sebagai alternatif. Co memiliki sifat yang hampir sama dengan Pd dan Pt, dan aktivitasnya akan hampir sama jika digunakan sebagai katalis untuk mengadsorpsi reaktan (Anggoro dan Buchori, 2015). Penggunaan logam tunggal belum cukup untuk menghasilkan katalis yang efisien (Ipop, dkk., 2000). Oleh karena itu, diperlukan logam lain baik sebagai katalis maupun sebagai promotor seperti molibdenum (Mo). Logam tersebut juga dapat berfungsi sebagai penstabil dan memperkuat kinerja katalis. Hasil penelitian Oktaviano dan Trisunaryanti (2007) menunjukkan bahwa penggunaan logam alkali seperti kalium sebagai doping dapat menghambat deposisi kokas pada permukaan katalis,

sehingga meningkatkan aktivitas katalis. Menurut Hagedus (1987) jumlah logam yang terkandung dalam katalis akan berpengaruh pada karakter katalis yang dihasilkan dan variasi komposisi penyangga dapat mempengaruhi ukuran dan morfologi logam yang terembankan.

Impregnasi merupakan metode yang paling umum digunakan dalam penyanggaan logam bimetal. Sintesis katalis dengan metode impregnasi dapat dilakukan dengan memasukkan kedua garam logam secara bersama-sama (ko-impregnasi), atau secara terpisah (Augustine, 1996). Sintesis katalis dengan metode ko-impregnasi dilakukan dengan cara memasukkan garam logam dalam waktu yang sama, sehingga letak dan sifat logam dalam penyangga tergantung pada jenis garam prekursor yang digunakan (Yusnani, 2008). Tujuan utama menggunakan metode ko-impregnasi adalah untuk menghasilkan campuran yang merata antar komponen katalis dan pembentukan partikel yang sangat kecil untuk menyediakan luas permukaan yang besar.

Kajian morfologi permukaan katalis sangat penting karena morfologi (struktur, bentuk, dan tekstur permukaan) sangat mempengaruhi kinerja katalis dalam reaksi kimia. Perubahan morfologi dapat mengubah luas permukaan, distribusi pori, dan sifat kimia permukaan katalis, yang semuanya berdampak pada aktivitas, selektivitas, dan stabilitas katalis (Ndak, dkk., 2019).

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Zeolit alam Ende Flores NTT, HF (merck), NH_4Cl (merck), HCl (merck), AgNO_3 , $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (merck), $(\text{NH}_4)_6\text{MO}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (merck), K_2CO_3 , Air bebas ion, isopropil alkohol (merck), Piridin (p.a merck), Gas Nitrogen (Samator), Gas oksigen (Samator), Gas Hidrogen (Samator), Ammonia (Merck). Peralatan gelas, pengayak 140 mesh dan 200 mesh, lumpang besi dengan penggerus, oven (fisher scientific), pengaduk magnet (stirrer), wadah stainless steel, desikator, labu refluks, neraca Ohaus, reaktor kalsinasi, reduksi dan oksidasi, pipa stainless steel and valve, pompa air, corong buchner, thermocouple, selang silikon, Fourier Transform Infra Red (FTIR spectrophotometer 8201 PC

shimadzu) dan Transmission Electron Microscopy (TEM FEI Tecnai 6220 S-Twin).

Prosedur Penelitian

Preparasi Zeolit Alam Aktif

Zeolit alam Ende-Flores NTT disortir, digerus sampai halus dan diayak hingga lolos ayakan 140-200 mesh, lalu ditimbang. Zeolit kemudian diberikan perlakuan hidrotermal dengan cara ZAEF tersebut dimasukkan ke dalam *pressure cooking* dan dicampur dengan air bebas ion. Selanjutnya, sampel tersebut didiamkan selama 1 jam lalu disaring menggunakan penyaring hingga tidak ada air yang terkandung di dalam ZAEF. Diperoleh sampel endapan Zeolit Alam Ende Flores yang bersih. Kemudian direndam dalam 2000 mL larutan HF 1% selama 1 jam, lalu disaring dan dicuci dengan air bebas ion, disaring dan dikeringkan dalam oven selama 4 jam pada suhu 120°C. Kemudian dibagi ke dalam dua gelas kimia 1000 mL, masing-masing ZAEF direndam dalam 800 mL HCl 6 N pada suhu 50°C dan diaduk dengan pengaduk magnet selama 1 jam. Setelah itu sampel tersebut disaring dan dicuci 4 (empat) kali menggunakan air bebas ion dan dikeringkan dalam oven pada suhu 120°C selama 4 jam. Selanjutnya dibagi ke dalam dua gelas ukur 1000 mL, masing-masing ZAEF direndam dalam 800 mL NH₄Cl 1 N pada suhu 60 °C sambil diaduk dengan pengaduk magnet selama 6 jam. Kemudian sampel tersebut disaring dan dicuci berulang kali menggunakan air bebas ion sampai tidak ada ion Cl⁻ yang terdeteksi oleh larutan AgNO₃, dikeringkan pada suhu 130 °C selama 6 jam.

Sintesis katalis K-Co-Mo/ZAAEF menggunakan metode Ko-impregnasi

Zeolit Alam Aktif Ende Flores (ZAAEF) ditimbang sebanyak 40 gram, dimasukkan ke dalam labu reflus lalu ditambahkan dengan 300 mL air bebas ion dan 100 mL pelarut isopropil alkohol, kemudian ditambahkan dengan CoCl₂.6H₂O sebanyak 1,2273 gram dan (NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O sebanyak 0,9127 gram, lalu dicampur beberapa lama. Kemudian campuran direflus pada suhu 50 °C selama 6 jam, lalu diaman selama satu hari, selanjutnya K₂CO₃ 0,1M sebanyak 34,3 mL dititrasikan ke dalam campuran lalu direflus lagi selama 2 jam pada suhu 80 °C, kemudian di evaporasi hingga pelarut menguap, lalu dikeringkan. Kemudian diaktifasi dengan cara dimasukkan dalam reaktor lalu dikalsinasi pada suhu 500 °C sambil dialiri gas N₂ (10 mL/menit) selama 2 jam, lalu dioksidasi dengan gas O₂ (10 mL/menit) pada temperatur 512 °C selama 2 jam, kemudian direduksi dengan gas H₂ (10 mL/menit) pada temperatur 512 °C selama 2

jam. Diperoleh katalis K-Co-Mo/ZAAEF dengan rasio atom Mo:Co = 1. Selanjutnya dengan langkah-langkah yang sama dibuat katalis K-Co-Mo/ZAAEF dengan rasio 0; 0,3 dan 0,6. Berikut adalah tabel variasi komposisi logam Co dan Mo dalam katalis K-Co-Mo/ZAAEF serta jumlah logam dan jumlah prekursor yang diko-impregnasi. Zeolit yang diperoleh dikarakterisasi menggunakan metode gravimetri piridin, FTIR dan TEM.

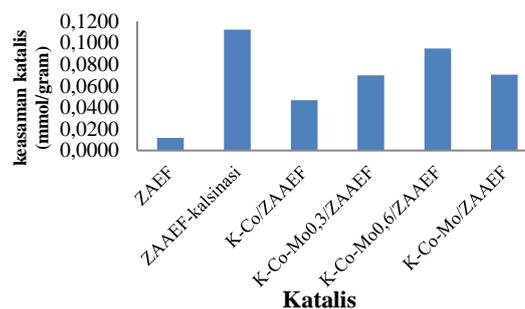
Tabel 1. Variasi komposisi Co dan Mo dalam katalis K-Co-Mo/ZAAEF

Deskripsi	Variasi Rasio Atom	Rasio atom Mo/Co dalam katalis (gram)	Nama Katalis
2 wt % Co	Mo/Co = 0	0 : 0,8	Co/ZAAEF
1,34 wt% Co + 0,66 wt% Mo	Mo/Co = 0,3	0,264 : 0,536	K-CO-Mo _{0,3} /ZAAEF
1,01 wt% Co + 0,99 wt% Mo	Mo/Co = 0,6	0,396 : 0,404	K-CO-Mo _{0,6} /ZAAEF
0,76 wt% Co + 1,24 wt% Mo	Mo/Co = 1	0,496 : 0,304	K-CO-Mo/ZAAEF

Hasil Dan Pembahasan

Keasaman Katalis

Keasaman merupakan salah satu sifat penting dalam katalis, oleh karena itu dalam mensintesis suatu katalis perlu dilakukan penentuan keasaman katalis (Irmawati, 2013). Dalam penelitian ini secara kuantitatif keasaman katalis ditentukan dengan menggunakan metode gravimetri uap piridin. Penggunaan gas piridin karena bersifat basa dan dapat berinteraksi dengan pusat aktif asam dalam zeolit alam, zeolit alam aktif dan katalis. Pengaruh rasio mol logam prekursor (Mo/Co) dalam katalis K-Co-Mo/ZAAEF terhadap keasaman katalis disajikan pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram pengaruh jenis bahan dan rasio mol logam prekursor Mo/Co terhadap keasaman Katalis

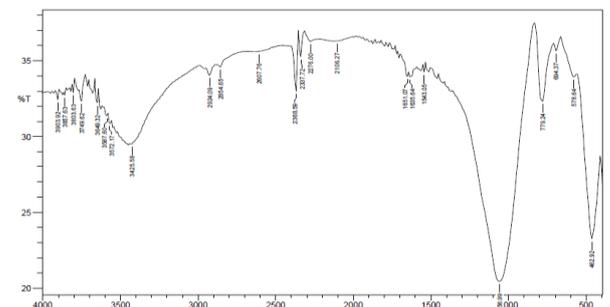
Zeolit alam Ende tanpa aktivasi memiliki tingkat keasaman paling rendah, sebesar 0,0117 mmol/gram. Rendahnya nilai keasaman pada zeolit alam tanpa aktivasi ini disebabkan oleh banyaknya pengotor yang terkandung dalam kerangka zeolit. Zeolit alam yang telah melalui proses aktivasi

memiliki nilai keasaman yang tinggi dibandingkan dengan zeolit alam tanpa aktivasi yakni sebesar 0,1122 mmol/gram. Angka keasaman ini menunjukkan bahwa proses aktivasi yang telah dilakukan berhasil menghilangkan pengotor dan membuat struktur kerangka zeolit menjadi lebih teratur sehingga meningkatkan jumlah situs asam dari zeolit alam. Irmawati (2013) menyatakan bahwa keasaman katalis setelah impregnasi logam dengan beberapa variasi rasio secara ko-impregnasi tidak selalu menunjukkan peningkatan keasaman total dari sampel awal. Meningkatnya angka keasaman katalis disebabkan oleh adanya penyisipan logam transisi Co dan Mo yang menyumbangkan orbital *d* belum terisi penuh dan bertindak sebagai akseptor elektron (asam Lewis), sedangkan menurunnya angka keasaman katalis dimungkinkan terjadi karena logam-logam yang menempel pada permukaan katalis tidak dapat memberikan situs asam Lewisnya sehingga tidak mampu mengadsorpsi basa dari uap piridin (Prasetyoko, dkk., 2010). Pada katalis K-Co/Mo_{0,3}/ZAAEF dan K-Co-Mo_{0,6}/ZAAEF nilai keasaman katalis meningkat dimana katalis K-Co-Mo_{0,6}/ZAAEF memiliki nilai keasaman yang paling tinggi yaitu sebesar 0,0949 mmol/gram. Meningkatnya nilai keasaman pada katalis K-Co-Mo_{0,6}/ZAAEF menunjukkan bahwa dispersi logam bimetal, dimana Co bertindak sebagai logam utama dan Mo sebagai logam promotor terbukti dapat meningkatkan jumlah situs asam permukaan katalis yang disintesis. Pada katalis K-Co-Mo₁/ZAAEF dengan nilai keasaman katalis sebesar 0,075 mmol/gram menunjukkan terjadinya penurunan nilai keasaman katalis. Hal ini disebabkan oleh semakin banyak jumlah logam yang didispersikan, maka semakin banyak pula logam yang tidak dapat tertampung dalam zeolit karena melebihi kapasitas zeolit yang terbatas (Irmawati, 2013).

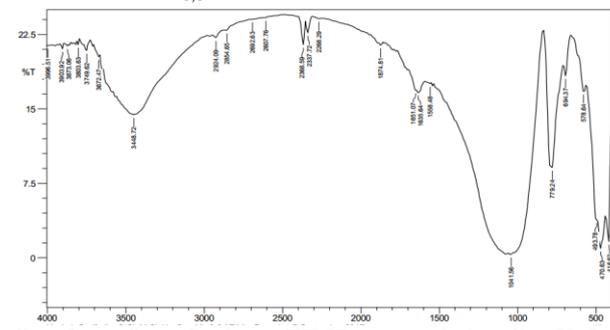
Gugus fungsi yang terdapat di dalam katalis diidentifikasi menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR). Analisis FTIR dilakukan pada panjang gelombang 4000-400 cm⁻¹. Selain untuk menentukan gugus fungsi, analisis FTIR juga dapat digunakan untuk mengetahui serapan yang terbentuk dari adsorpsi piridin pada permukaan zeolit dan katalis. Dalam penelitian ini dilakukan analisis gugus fungsi pada zeolit alam, zeolit alam aktif, serta katalis dengan beberapa variasi rasio mol logam prekursor Mo/Co sebelum teradsorpsi piridin dan setelah teradsorpsi piridin.

Terdapat beberapa gugus fungsi di dalam zeolit alam, zeolit alam aktif, dan katalis yang

muncul pada kisaran bilangan gelombang 3749,62; 3448,72; 1651,07; 1041,56; 794,67; 462,92 cm⁻¹ secara berturut-turut menunjukkan serapan dari gugus -OH terisolasi, serapan dari gugus -OH pada zeolit terhidrasi, serapan yang menunjukkan adanya vibrasi tekuk molekul air dan vibrasi regangan asimetris Si-O atau Al-O pada TO4 (T = Si atau Al) pada jalinan internal (dalam tetrahedral), interpretasi dari regangan simetri pada unit vibrasi tekuk Si-O pada jalinan eksternal (ikatan luar tetrahedral) dan vibrasi tekuk dari ikatan T-O pada jalinan kerangka zeolit (Mitan, dkk., 2024; Prasetyo dan Soegijono, 2018).



Gambar 2. Spektra FT-IR sampel katalis K-Co-Mo_{0,6}/ZAAEF sebelum adsorpsi piridin



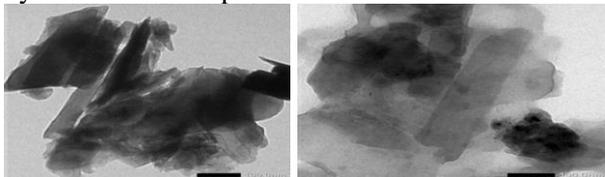
Gambar 3. Spektra FT-IR sampel katalis K-Co-Mo_{0,6}/ZAAEF setelah adsorpsi piridin

Gugus fungsi yang menunjukkan adanya piridin yang teradsorpsi pada permukaan zeolit dan permukaan beberapa katalis yang muncul pada kisaran bilangan gelombang 1543,05; 1558,48; 1427,32; 1396,49 cm⁻¹ yakni serapan yang menunjukkan interaksi antara piridin dengan situs asam Lewis dan situs asam Brønsted dan serapan yang menunjukkan ikatan hidrogen-piridin.

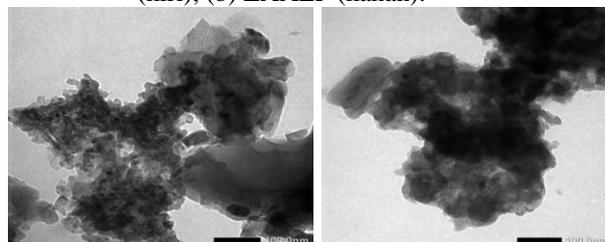
Morfologi Katalis Menggunakan *Transmission Electron Microscopy* (TEM)

Analisis morfologi permukaan katalis dapat dilakukan dengan menggunakan instrument *Transmission Electron Microscopy* (TEM) dengan tujuan untuk mendapatkan gambar atau citra permukaan struktur katalis pada tingkatan mikro dengan resolusi yang tinggi. Hasil foto TEM yang

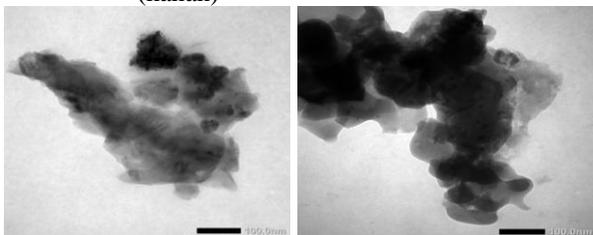
diperoleh ini hanya bagian tertentu saja dari keseluruhan permukaan sampel katalis. Mikrograf dari zeolit alam, zeolit alam aktif, dan katalis K-Co-Mo/ZAAEF dengan perbandingan variasi mol logam prekursor yang berbeda antara logam Co dan Mo disajikan pada gambar 4, 5 dan 6. Berdasarkan gambar terlihat bentuk permukaan zeolit alam yang teratur ditandai dengan warna kelabu hingga kehitaman yang cukup merata. Warna tersebut menunjukkan adanya partikel-partikel logam yang tersebar dalam zeolit alam. Mikrograf zeolit alam aktif memiliki struktur yang sama dengan zeolit alam, namun pada zeolit alam aktif terdapat bagian yang lebih terang pada beberapa titik permukaan. Hal ini menunjukkan bahwa pengotor-pengotor seperti logam anorganik yang semula tersebar dalam zeolit alam berhasil dihilangkan pada proses aktivasi baik secara hydrothermal maupun secara kimia.



Gambar 4. Foto TEM dengan scale bar 100 nm (Perbesaran 100.000x) untuk katalis ZAEF (kiri), (b) ZAAEF (kanan).



Gambar 5. Foto TEM dengan scale bar 100 nm (Perbesaran 100.000x) untuk katalis K-Co/ZAAEF (kiri) dan K-Co-Mo_{0,3}/ZAAEF (kanan)



Gambar 6. Foto TEM dengan scale bar 100 nm (Perbesaran 100.000x) untuk katalis K-Co-Mo_{0,6}/ZAAEF (kiri) dan K-Co-Mo₁/ZAAEF (kanan)

Mikrograf dari katalis pada rasio Mo/Co = 0 dan 0,3 (K-Co/ZAAEF dan K-Co-Mo_{0,3}/ZAAEF), menunjukkan adanya gumpalan-gumpalan partikel logam yang tersebar pada sebagian besar permukaan katalis. Mikrograf dari katalis K-Co-Mo_{0,6}/ZAAEF

terlihat adanya tingkat distribusi partikel logam yang lebih baik dan cukup merata dibandingkan dengan katalis pada rasio yang lain, yang ditandai dengan berkurangnya gumpalan-gumpalan pada permukaan katalis. Pada katalis pada rasio Mo/Co = 1 yaitu pada katalis K-Co-Mo₁/ZAAEF, dengan jumlah logam prekursor Mo yang lebih banyak terlihat adanya gumpalan-gumpalan partikel logam yang lebih banyak pada permukaan katalis. Semakin besar konsentrasi ion logam dalam larutan akan cenderung menutupi bagian mulut pori sehingga mengakibatkan ion-ion logam tidak dapat masuk sampai ke dalam pori secara merata dan menyebabkan terbentuknya susunan yang bergerombol tersebut. Citra permukaan pada masing-masing katalis sejalan dengan sifat keasaman yang telah ditentukan sebelumnya. Katalis dengan distribusi partikel logam yang lebih baik di permukaan penyangga katalis memiliki sifat keasaman yang lebih tinggi sebagai kontribusi dari partikel logam yang memiliki peran sebagai asam Lewis. Distribusi partikel logam pada katalis K-Co-Mo_{0,6}/ZAAEF lebih baik dibandingkan katalis-katalis lainnya sehingga mempunyai keasaman yang lebih tinggi. Menurunnya sifat keasaman permukaan pada katalis K-Co-Mo₁/ZAAEF karena jumlah logam Mo yang cukup banyak menyebabkan terjadinya aglomerasi sehingga jumlah partikel logam yang meningkat tidak sejalan dengan meningkatnya situs asam pada permukaan katalis.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa karakter keasaman katalis K-Co-Mo/ZAAEF yang disintesis dengan metode ko-impregnasi, bervariasi pada rasio mol logam prekursor Mo/Co berbeda. Keasaman katalis dengan variasi rasio mol logam prekursor Mo/Co = 0; 0,3 dan 0,6 mengalami peningkatan, sedangkan pada rasio mol logam prekursor Mo/Co = 1 mengalami penurunan. Keasaman tertinggi terdapat pada katalis K-Co-Mo_{0,6}/ZAAEF, sebesar 0,0949 mmol/gram. Hasil analisis gugus fungsi menggunakan FT_IR menunjukkan adanya pergeseran nilai bilangan gelombang akibat berkurangnya atom Al dalam kerangka menjadi diluar kerangka dan terdapat situs asam Lewis dan situs asam Brønsted. Mikrograf hasil pengujian morfologi menunjukkan citra permukaan yang berbeda

pada katalis tiap variasi rasio mol logam percursor Mo/Co. Morfologi permukaan katalis K-Co-Mo_{0,6}/ZAAEF menunjukkan distribusi logam yang cukup merata, sedangkan pada K-Co-Mo₁/ZAAEF terjadi aglomerasi partikel logam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada semua anggota tim peneliti yang mengambil bagian dalam penelitian ini dan kepada Maria Erfina Karfona yang telah terlibat dalam semua tahapan penelitian.

DAFTAR RUJUKAN

- Augustine, R. L. (1996). *Heterogeneous and Catalysis for Chemist*, Marcel Decker Inc., New York.
- Anggoro, D., dan Buchori, L. (2015). Preparasi dan Karakterisasi Katalis Co/Zeolit Y dan Co-Mo/Zeolit Y untuk Konversi Tar Batubara, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Tembalang, Semarang.
- Arryanto, Y. Suwardi. Husaini. Affandi, T. Amini, S. Al-Jabri, M. Siagian, P. Setyorini, D. Rahman, A. and Pujiastuti, Y. (2012). Zeolit dan Masa Depan Bangsa., Imperium Pr, Yogyakarta (ID).
- Hagedus, L. L. (1987). *Catalytic Design*, John Wiley and Sons, New York.
- Ipop, S., Trisunaryanti, W., lip, I. F. dan Yahya, U. (2000). Pembuatan dan Karakterisasi Katalis Nikel-Zeolit Alam untuk Perengkahan Fraksi Minyak Bumi, Prosiding Seminar Nasional Kimia V, Jurusan Kimia FMIPA-UGM, Yogyakarta.
- Irmawati, S. N. (2013). Pengaruh Metode Penyanggagan dan Rasio Prekursor terhadap Katifitas Katalitik Mo-Ni/ZAA pada Proses Hidrosulfurisasi Tiofen, *Skripsi*, Univesitas Negeri Semarang.
- Mitan, N. M.M., Zaldinur, S. K., Ngapa, Y.D., Aulia, N., Jaya, A. S. and Buys, Y.F. (2024). Performance of Acid-treated Ende Natural Zeolite in Adsorption of Ni(II) and Co(II). *Cakra Kimia*, 12(2), 80-88.
- Ndak, Y.A., Sarifudin, K. dan Sudirman. (2021). Pengaruh Komposisi SiO₂ pada Katalis CaO/SiO₂ terhadap Karakter Morfologi Permukaan, Ukuran Partikel dan Rendamen Metil Ester Reaksi Transesterifikasi Minyak Jarak. *Jurnal beta kimia*, 1(2), 64-77.
- Nurhayati, N., dan Utomo, S. (2016). Modifikasi Zeolit Alam sebagai Katalis Melalui Penyanggaan Logam Tembaga, Jurusan Pendidikan Kimia, FKIP, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Oktaviano, H. S. dan Trisunaryanti, W. (2007). Sol-Gel Derrived Co and Ni Based Catalysts: Applicaion for Steam Reforming of Ethanol, *Indo. J. Chem.*, 8(1): 47-53.
- Prasetyoko, D., Anis F., dan Syafsir A., 2010, Hidroksilasi Fenol dengan Menggunakan Katalis MoO₃/TS-1 yang Dikalsinasi pada Suhu Bervariasi, Jurusan Kimia FMIPA, ITS, Surabaya.
- Prasetyo, T. A. B. and Soegijono, B. (2018). Characterization of Sonicated Natural Zeolite/Ferric chloride Hexahydrate by Infrared Spectroscopy. *Journal of Physics: Conference Series* **985** 012022, 1-6.
- Trisunaryanti, W., Triwahyuni, E., dan Sudiono, S. (2005). Preparasi, Modifikasi dan Karakterisasi Katalis Ni-Mo/Zeolit Alam dan Mo-Ni/Zeolit Alam. *TEKNOIN*, 10 (4).
- Trisunaryanti, W., Triwahyuni, E., and Sudiono, S. (2005). Preparasion, Characterizations and Modification Of Ni-Pd/Natural Zeolite Catalysts. *Indo. J. Chem.*, 5(1): 48 – 53.
- Yusnani, A. (2008). Konsentrasi Prekursor Logam dan Metode Impregnasi pada Preparasi Nimo/Zeolit Y Terhadap Karakter Katalis, Skripsi, FMIPA Universitas Sebelas Maret; Surakarta.