

Sintesis dan Karakterisasi Katalis Nikel Zeolit Alam Ni/NZA

Syaiful Bahri^{a*}, Edy Saputra^a, Syamsu Herman^a, Muhdarina^b, dan Erlis Marita^a

^aJurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru 28291, Indonesia

^bJurusan Kimia FMIPA Universitas Riau, Pekanbaru 28291, Indonesia

ARTICLE HISTORY

Received : 10-03-2024

Accepted : 24-03-2024

Published : 29-03-2024

KEYWORDS

Impregnation

Calcination

Ni/NZA

SEM

XRD

ABSTRACT

Research has been conducted to manufacture Ni/NZA for catalytic cracking of empty palm fruit bunches into liquid fuel. The study aims to investigate the impact of metal impregnation and calcination time variations on catalyst crystallinity and morphology. The catalyst is produced in multiple stages, including NZ activation using acid, followed by metal impregnation at 0%, 1%, 3%, and 5% w/w, and calcination at 500°C for 2, 4, and 6 hours, respectively. It is then oxidized at 400°C for 2 hours and reduced at 400°C for 2 hours. The catalyst's crystallinity, morphology, and metal distribution are determined through X-Ray Diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscopy (SEM) analysis. The catalyst with the best crystallinity and metal distribution is found to have 3% metal loading and a calcination time of 2 hours.

*correspondence author:

Email: syaifulbahri@eng.unri.ac.id



1. PENDAHULUAN

Bahan bakar minyak merupakan kebutuhan yang sangat penting dalam kehidupan dan hampir semua kegiatan yang dilakukan membutuhkan bahan bakar. Bahan bakar yang digunakan sekarang berasal dari minyak mentah yang diambil dari perut bumi, namun minyak bumi merupakan bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui, sehingga untuk beberapa tahun ke depan diperkirakan masyarakat akan mengalami kekurangan bahan bakar. Cadangan minyak bumi Indonesia terdapat sebesar 8,4 miliar Barel dan produksi 345 juta Barel /tahun. Maka dengan asumsi tidak ada penemuan cadangan baru minyak Indonesia akan habis dalam waktu 24 tahun oleh karena itu, diperlukan energi alternatif pengganti minyak bumi. Adapun produksi minyak bumi menunjukkan kecenderungan menurun, dari 346 juta barel (949 ribu bph) pada tahun 2009 menjadi sekitar 283 juta barel (778 ribu bph) di tahun 2018. Terjadinya penurunan produksi tersebut disebabkan oleh sumur-sumur produksi utama minyak bumi yang umumnya sudah tua, sementara produksi sumur baru relatif masih terbatas sehingga untuk memenuhi kebutuhan kilang, Indonesia mengimpor minyak bumi (Indonesia Energy Outlook, ESDM, 2019).

Menurut Departemen Energi dan sumber Daya Mineral, ESDM, 2021 bahwa cadangan minyak bumi di Indonesia tersedia hingga 9,5 tahun mendatang, sementara umur cadangan gas bumi Indonesia mencapai 19,9 tahun. Cadangan minyak bumi nasional tersebut sebesar 4,17 miliar barel dengan cadangan terbukti (proven) sebanyak 2,44 miliar barel dan sementara itu data cadangan yang belum terbukti sebesar 2,44 miliar barel (ESDM, 2021).

Salah satu sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui yaitu pemanfaatan biomassa menjadi *bio-oil*. Biomassa yang digunakan untuk memproduksi *bio-oil* dapat diperoleh dari limbah pertanian, hutan, perkebunan dan industri. Negara tropis seperti Indonesia umumnya

mempunyai biomassa yang berlimpah, kira-kira 250 milyar ton/tahun yang dihasilkan dari biomassa hutan dan limbah perkebunan (Suwono, 2005). Menurut BPS, tahun 2019 dilaporkan bahwa luas perkebunan kelapa sawit di Indonesia mencapai 14,3 juta ha dimana untuk Provinsi Riau adalah 2.7 juta hektar (BPS 2019). Hambali (2007) melaporkan bahwa tandan kosong sawit (TKS) merupakan salah satu limbah padat sawit yang jumlahnya sangat melimpah. Dimana dalam satu hari pengolahan dihasilkan ratusan ton TKS dan jumlah tandan kosong ini mencapai 30-35% dari berat tandan buah segar (TBS). Juga dilaporkan bahwa selama ini TKS lebih banyak digunakan sebagai pupuk, bahan bakar boiler serta bahan baku karbon aktif. Adapun diantara salah satu pemanfaatan TKS sebagai bahan bakar adalah dengan cara mengkonversikannya menjadi *bio-oil* atau bahan bakar cair (BBC). Sedangkan proses pembuatan BBC ini dengan menggunakan katalis memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan tanpa penggunaan katalis.

Metal berpengemban zeolit alam dapat dimanfaatkan sebagai katalis untuk menyempurnakan proses pencairan biomassa (Samolada dkk, 2000). Sementara itu Indonesia merupakan salah satu negara dengan potensi zeolit alam yang besar, dimana diperkirakan memiliki cadangan zeolit alam sebesar 207,0 juta ton yang tersebar di pulau Sumatera, Jawa dan Sulawesi. Oleh karena terdapatnya jumlah TKS dan zeolit alam yang berlimpah serta terjadinya krisis energi yang melanda dunia, maka perlu dilakukan upaya proses pembuatan katalis yang berbasis zeolit alam untuk menyempurnakan proses perengkahan TKS menjadi BBC. Oleh sebab itu maka tujuan penelitian ini adalah membuat katalis Ni/NZA serta mempelajari pengaruh pengembanan logam terhadap kristalinitas dan morfologi katalis serta pengaruh waktu kalsinasi terhadap kristalinitas katalis. Dan hasil dari penelitian didapatkan katalis yang akan dimanfaatkan untuk menyempurnakan proses pencairan langsung TKS menjadi bahan bakar cair. Sehingga pada penelitian selanjutnya akan dapat digunakan untuk mengurangi masalah pencemaran lingkungan akibat penumpukan TKS di areal pabrik kelapa sawit dan dalam jangka panjang akan menghasilkan bahan bakar yang dapat diperbaharui sehingga menjadi bahan bakar alternatif minyak bumi.

2. METODE

Ada empat tahapan pembuatan Ni/NZA yaitu:

2.1. Preparasi Zeolit Alam

Zeolit alam digerus dalam lumpang porselin untuk memperkecil ukuran partikel dan diayak pada pengayak berukuran 100 dan 200 mesh. Ukuran partikel yang dipakai merupakan partikel yang lolos pada pengayak 100 mesh dan tertahan pada pengayak 200 mesh. Hal ini bertujuan untuk homogenitas ukuran permukaan zeolit dan untuk memperbesar luas permukaan zeolit sehingga kemampuan adsorpsinya lebih optimal.

2.2. Aktivasi Zeolit Alam dengan Perlakuan HCl dan NH₄Cl

Zeolit alam sebanyak 100 gram direndam dalam larutan HCl 6 N sebanyak 500 mL selama 30 menit pada temperatur 50 °C sambil diaduk dengan motor pengaduk pada reaktor alas datar volume 1 L. Sampel ini kemudian disaring dan dicuci berulang kali sampai tidak ada ion Cl⁻ yang terdeteksi oleh larutan AgNO₃. *Cake* dikeringkan pada suhu 130 °C selama 3 jam

dalam oven. Sampel tersebut kemudian direndam kembali dalam 500 ml larutan NH_4Cl pada temperatur $90\text{ }^\circ\text{C}$ sambil diaduk selama 3 jam per hari yang dilakukan sampai 6 hari. Sampel tersebut kemudian disaring, dicuci dan dikeringkan dalam oven selama 24 jam. Pada tahap ini didapat sampel NZA (*Natural Zeolite Activated*).

2.3. Pengembanan (Impregnasi) Logam Ni

Sampel NZA direndam dalam larutan $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan direndam pada suhu $90\text{ }^\circ\text{C}$ selama 6 jam sambil diaduk pada reaktor alas datar ukuran 1 L, kemudian disaring dan dicuci. *Cake* kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu $120\text{ }^\circ\text{C}$ selama 3 jam (diperoleh sampel Ni/NZA). Pengembanan logam divariasikan sebesar 0 %, 1%, 3% dan 5% terhadap sampel NZA.

2.4. Kalsinasi, Oksidasi dan Reduksi

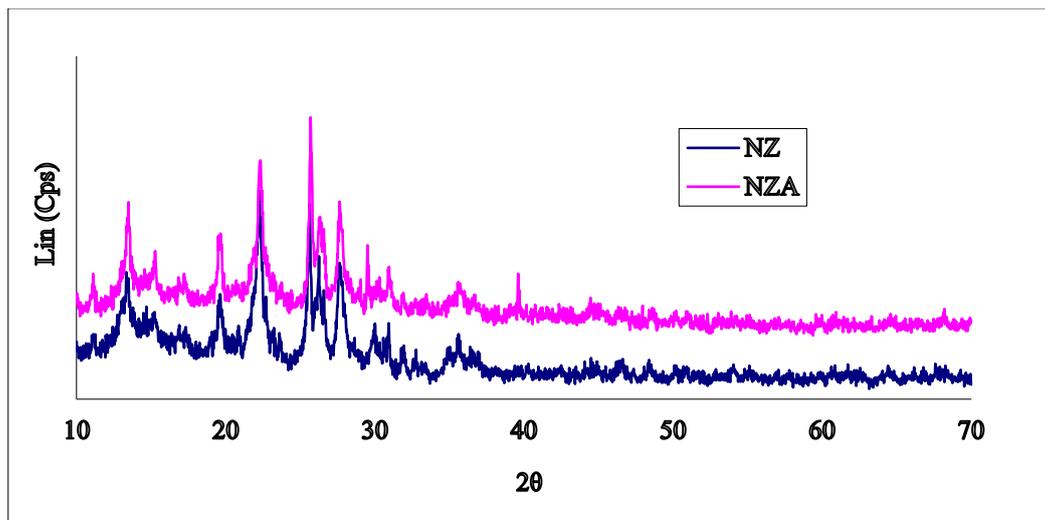
Sampel katalis dimasukkan ke dalam *tube* sebanyak 10 g. Sebelumnya ke dalam *tube* telah diisi dengan *porcelain bed* sebagai *heat carrier* dan penyeimbang unggun katalis, diantara *porcelain bed* dengan unggun katalis diselipkan *glass woll*. *Tube* ditempatkan dalam *tube furnace* secara vertikal, dikalsinasi pada suhu $500\text{ }^\circ\text{C}$ dengan variasi waktu 2, 4, 6 jam sambil dialirkan gas nitrogen sebesar $\pm 400\text{ mL/menit}$, dilanjutkan dengan oksidasi pada suhu $400\text{ }^\circ\text{C}$ menggunakan gas oksigen sebesar $\pm 400\text{ mL/menit}$ selama 2 jam dan reduksi pada suhu $400\text{ }^\circ\text{C}$ menggunakan gas hidrogen sebesar $\pm 400\text{ mL/menit}$ selama 2 jam.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Aktivasi Zeolit Alam dengan Perlakuan HCl dan NH_4Cl

Zeolit alam yang digunakan pada penelitian ini merupakan zeolit alam dengan kandungan utama mordenit 70%, yang lainnya adalah klinoptilolit dan komponen-komponen silika (Widyastuti, 2007). Aktivasi zeolit alam dengan asam mengakibatkan terjadinya dealuminasi. Proses dealuminasi menyebabkan perubahan struktur zeolit, hal ini disebabkan oleh berkurangnya kerangka Al penyusun zeolit. Dealuminasi optimal terjadi pada konsentrasi HCl 6 N (Setyawan & Handoko, 2002). Sedangkan karakterisasi katalis dilakukan dengan metode difraksi sinar X.

Pola difraksi sinar X sampel memberikan informasi tentang jenis mineral dan tingkat kristalinitas struktur komponen penyusun sampel. Jenis mineral penyusun sampel ditunjukkan oleh daerah munculnya puncak (2θ), sedangkan tingkat kristalinitas struktur komponen ditunjukkan oleh tinggi rendahnya intensitas puncak. Pola difraksi mineral dari hasil analisis difraksi sinar X dicocokkan nilai 2θ nya dengan data JCPDS (*Joint Committee for Powder Diffraction Standards*) atau hasil penelitian lain yang dilakukan sehingga akan diketahui jenis mineral di dalam sampel. Pola difraksi sinar X menunjukkan adanya perubahan pola difraksi antara NZ dengan NZA (Gambar 1).



Gambar 1. Pola Difraksi NZ dan NZA

Berdasarkan Gambar 1 tampak bahwa terjadi peningkatan intensitas puncak pada 2θ : $11,125^\circ$; $13,475^\circ$; $19,675^\circ$; $25,7^\circ$; $27,5^\circ$; $29,5^\circ$; $39,46^\circ$, dan penurunan intensitas puncak pada 2θ : $22,225^\circ$; $26,4^\circ$. Puncak-puncak yang muncul pada pola difraksi mewakili dari kristal penyusun zeolit. Puncak yang muncul pada 2θ : $13,475^\circ$; $19,675^\circ$; $22,275^\circ$; $25,675^\circ$; dan $27,65^\circ$ merupakan puncak dari mordenit, JCPDS No. 6-239. Puncak yang muncul pada 2θ : $11,125^\circ$; $22,2^\circ$; dan $26,325^\circ$ merupakan puncak kristal klinoptilolit. Turunnya intensitas puncak klinoptilolit ini disebabkan oleh berkurangnya Al penyusun klinoptilolit pada proses dealuminasi sedangkan kadar mordenit semakin meningkat, hal ini sesuai dengan yang dilaporkan oleh Setyawan & Handoko (2002). Puncak pada 2θ : $39,46^\circ$ teridentifikasi sebagai puncak kuarsa, JCPDS No. 5-0490. Identifikasi puncak-puncak tersebut di atas sesuai dengan yang dilaporkan oleh Srihapsari (2006) dan Korkuna dkk (2005). Identifikasi puncak-puncak utama zeolit selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 1. Dari tabel tersebut tampak bahwa zeolit alam Yogyakarta yang digunakan merupakan jenis mordenit dan klinoptilolit.

Tabel 1. Pergeseran Puncak dan Perubahan Intensitas Difraksi NZ dan NZA

2θ		Cps		$d(\text{Å})$		Identifikasi
NZ	NZA	NZ	NZA	NZ	NZA	
13,475	13,475	259	302	6,565719	6,565719	Mordenit
19,65	19,675	208	229	4,514167	4,508488	Mordenit
22,225	22,35	426	384	3,996632	3,974561	Klinoptilolit
25,625	25,7	398	475	3,473533	3,463566	Mordenit
27,725	27,65	270	296	3,215019	3,223569	Mordenit

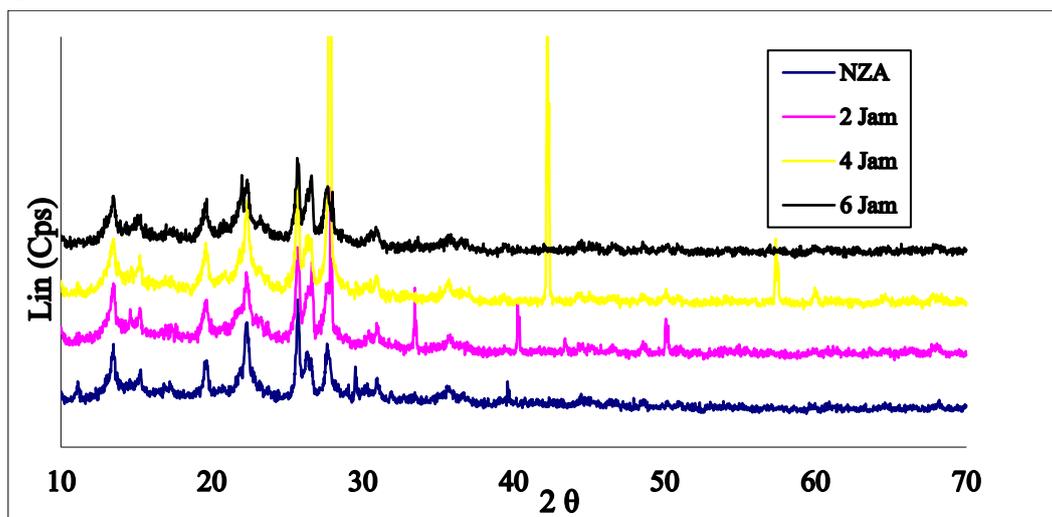
Perubahan intensitas puncak mengidentifikasi terjadinya peningkatan kristalinitas dari zeolit alam setelah dilakukan aktivasi. Perubahan secara signifikan tampak pada peningkatan kristalinitas fasa amorf dari zeolit alam, hal ini ditandai dengan meningkatnya intensitas puncak-puncak fasa amorf pada 2θ : 40° - 70° . Peningkatan kristalinitas ini erat kaitannya dengan larutnya pengotor-pengotor dan sebagian rangka Al pada zeolit dikarenakan proses dealuminasi. Terlepasnya pengotor pada zeolit menyebabkan lebih membukanya pori-pori zeolit sehingga luas permukaan katalis meningkat dan memudahkan pengembunan logam.

3.2. Pengaruh Waktu Kalsinasi terhadap Kristalinitas Katalis

Kalsinasi merupakan proses pemanasan yang bertujuan untuk mendekomposisi garam menjadi bentuk oksidanya, menaikkan stabilitas mekanik dan menghilangkan kadar air yang masih tersisa (Lestari, 2006). Pada penelitian ini, suhu kalsinasi yang digunakan 500°C. Hal ini sesuai dengan yang dilakukan oleh Rodiansono dkk (2007). Lestari (2006) melaporkan bahwa suhu kalsinasi optimal pada rentang 673-873 K. Suhu di bawah 673 K tidak memberikan hasil yang baik terhadap aktivitas katalis, sedangkan suhu di atas 873 K dapat mengakibatkan sintering yang akan merusak fasa aktif katalis.

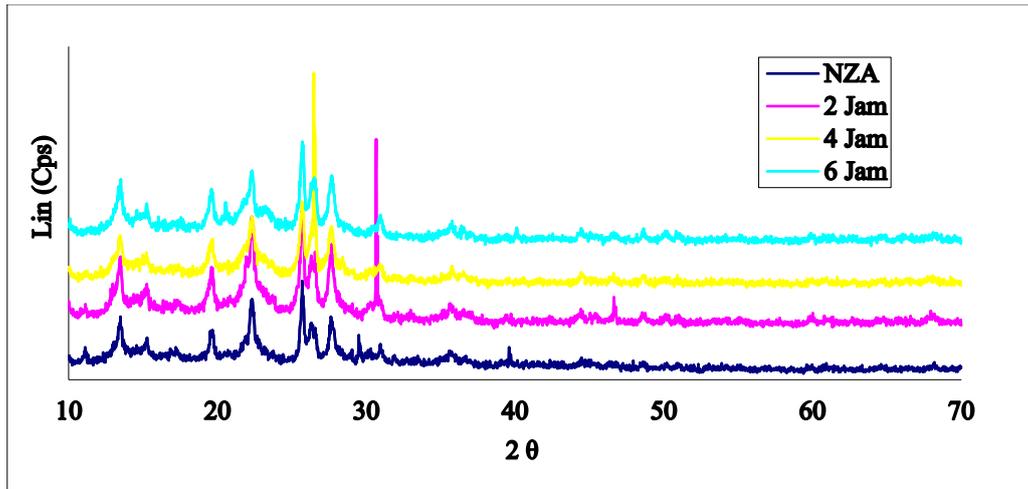
Pola difraksi sinar X dapat memprediksi adanya fasa aktif yang tersebar pada permukaan dan pori katalis. Fasa aktif diharapkan berupa fasa metalik dari logam yang diembankan yaitu logam Ni, namun kenyataannya pada permukaan katalis juga berkemungkinan ditemukannya fasa oksida yang tidak tereduksi secara optimal. Hal ini akan dijelaskan lebih lanjut berdasarkan pola difraksi sinar X pada Gambar 2.

Madeira dkk (2004) melaporkan bahwa pada tahap kalsinasi, terjadi bentuk oksida dari logam Ni yang diembankan. Fasa yang muncul merupakan bentuk oksida yaitu NiO, untuk mereduksi fasa tersebut dilakukan proses oksidasi untuk merubah fasa tersebut menjadi oksida lanjut dan proses reduksi untuk mereduksi fasa oksida lanjut menjadi fasa intermetalik dan metalik. Identifikasi pengemban, fasa oksida dan logam yang terbentuk dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 2. Pola Difraksi Sinar X untuk Variasi Waktu Kalsinasi pada Konsentrasi Logam 3% b/b

Gambar 2 menunjukkan bahwa perubahan kristalinitas untuk masing-masing waktu kalsinasi. Proses kalsinasi menaikkan kristalinitas NZA, hal ini ditandai dengan meningkatnya intensitas puncak-puncak NZA pada 2θ : 13,504°; 19,563°; 22,263°; 25,694°; dan 27,884°. Puncak-puncak selain yang disebutkan sebelumnya diperkirakan merupakan puncak-puncak dari logam yang diembankan. Puncak pada 2θ : 33,504° (2 jam); 42,118° (4 jam kalsinasi) merupakan Puncak NiO, JCPDS No. 78-0643. Puncak pada 2θ : 40,292° dan 50,146° (2 jam kalsinasi); 57,301° (4 jam kalsinasi) merupakan puncak Ni, JCPDS No. 65-0380. Gambar 3 memperlihatkan pola difraksi sinar X untuk variasi waktu kalsinasi pada konsentrasi logam 5% b/b.



Gambar 3. Pola Difraksi Sinar X untuk Variasi Waktu Kalsinasi pada Konsentrasi Logam 5% b/b

Gambar 3 menunjukkan bahwa terdapat perubahan kristalinitas untuk masing-masing waktu kalsinasi, munculnya puncak-puncak baru di luar puncak-puncak utama NZA yang telah dijelaskan sebelumnya merupakan puncak-puncak dari logam yang diembankan. Puncak pada 2θ : $30,580^\circ$ (2 jam kalsinasi); $31,023^\circ$ (4 jam kalsinasi) dan $30,876^\circ$ (6 jam kalsinasi) merupakan puncak mordenit, identifikasi puncak-puncak tersebut sesuai dengan yang dilaporkan oleh Korkuna dkk (2005). Puncak pada 2θ : $35,689^\circ$ (2 jam kalsinasi); $35,840^\circ$ (4 jam kalsinasi); $35,839^\circ$ (6 jam kalsinasi) merupakan puncak NiO, JCPDS No. 78-0643. Puncak Ni pada 2θ : $46,564^\circ$ (2 jam kalsinasi), JCPDS No. 65-0380.

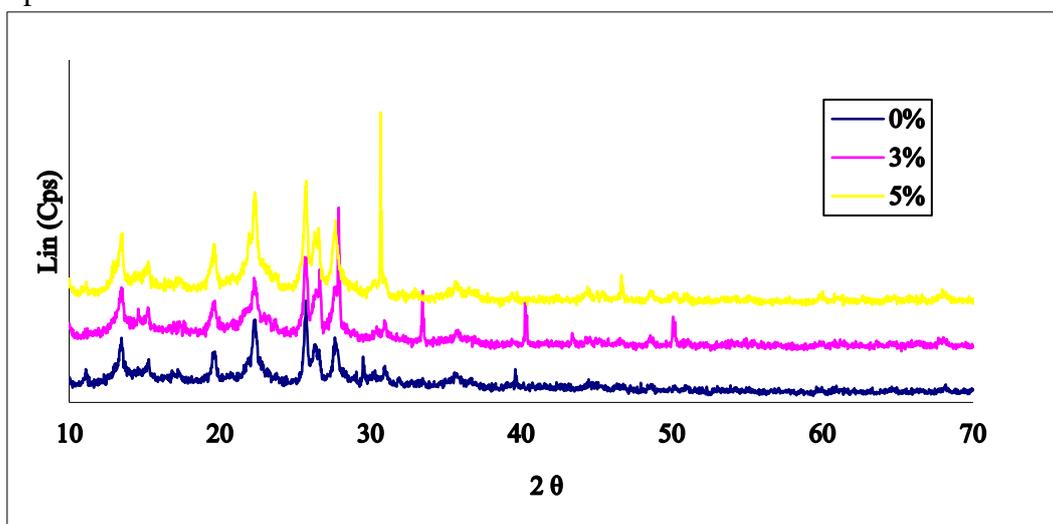
Pada Gambar 2 dan 3 terlihat bahwa semakin lama waktu kalsinasi maka logam yang terimpregnasi pada sampel katalis semakin menurun. Fenomena tersebut disebabkan karena terjadinya deaktivasi fasa aktif katalis. Seharusnya semakin lama waktu kalsinasi akan meningkatkan kristalinitas logam.

Tabel 2. Identifikasi Pengembangan, Fasa Oksida dan Logam Difraktogram Sinar X

Komponen	2θ	$d(\text{\AA})$	Sumber
Mordenit	13,43	6,5876	Korkuna dkk [2005], Srihapsari [2006]
	19,60	4,5256	
	22,22	3,9975	
	25,61	3,4755	
	27,65	3,2236	
	30,26	2,9512	
Klinoptilolit	11,15	7,9290	Korkuna dkk [2005]
	22,31	3,9816	
	26,60	3,3484	
	28,10	3,1730	
	29,96	2,9801	
NiO	37,80	2,3781	Afanasov dkk [2008], Yang dkk [2009], Yue & Zhou [2007]
	43,30	2,0879	
	62,85	1,4774	
Ni	44,30	2,0431	Afanasov dkk [2008]
	51,70	1,7667	

3.3. Pengaruh Pengembanan Logam terhadap Kristalinitas Katalis

Pola difraktogram hasil analisa XRD untuk masing-masing konsentrasi logam dapat dilihat pada Gambar 4.



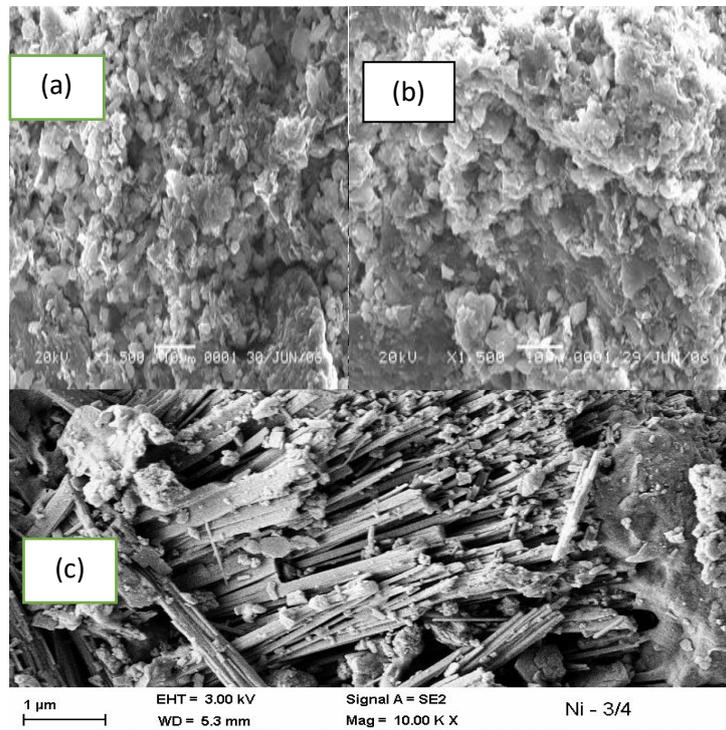
Gambar 4. Pola Difraksi Sinar X untuk Berbagai Konsentrasi Logam

Pada Gambar 4 terlihat bahwa ada perbedaan yang spesifik untuk masing-masing persentase pengembanan logam. Munculnya puncak-puncak baru di luar puncak-puncak utama NZA. Maka dari difraktogram yang ada dapat ditafsirkan bahwa semakin tinggi konsentrasi logam yang diembankan maka logam yang terimpregnasi pada sampel katalis semakin menurun. Fenomena tersebut kemungkinan disebabkan karena pada konsentrasi logam yang relatif tinggi terjadi kompetisi antara partikel yang satu dengan yang lain untuk dapat berdifusi ke dalam pori pengemban. Keadaan yang saling berdesakan ini akan menghalangi mulut pori pengemban sehingga berakibat semakin sedikit logam yang dapat lolos dan berdifusi ke dalam pori suatu pengemban (Setyawan & Handoko, 2002).

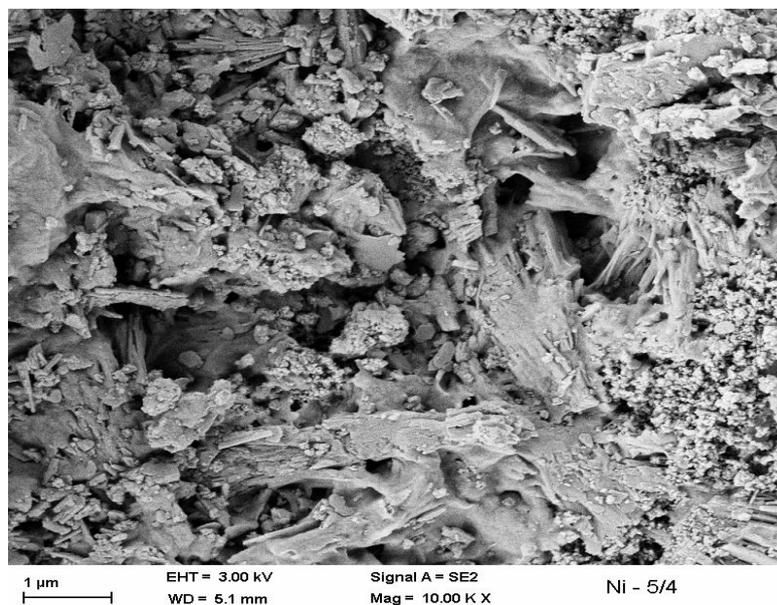
Adanya perbedaan kristalinitas logam untuk setiap konsentrasi pengembanan logam disebabkan oleh dispersi logam-logam yang tidak optimal. Hal ini dapat dijelaskan lebih lanjut berdasarkan morfologi katalis. Pengembanan logam juga dapat menyebabkan perubahan morfologi kristal. Gambar 5 menunjukkan mikroskop hasil identifikasi dengan SEM.

Seperti yang terlihat pada Gambar 5, morfologi kristal yang dominan terdapat pada pengembanan logam 3% b/b (Gambar 5.c). Terlihat bahwa permukaan katalis yang terdiri kristal-kristal yang berbentuk batangan-batangan tajam homogen dan beberapa bagian ditempati oleh logam yang diembankan berupa kristal speris dan menumpuk. Bandingkan dengan morfologi NZA saja (Gambar 3.b) dan Ni-ZAH (Gambar 3.a) yang dilaporkan peneliti lain, Suharto dkk (2007) dan juga Fatimah & Utami (2017). Fatimah & Utami lebih lanjut melaporkan bahwa berdasarkan morfologi katalis hasil pengembanan Ni pada NZA yang didapatkan terlihat bahwa logam Ni tersebar pada permukaan NZA sebagai kristal speris. Hasil ini juga sesuai dengan Wibowo (2020) yang melakukan pengembanan Ni pada NZA juga diperoleh hasil yang bersesuaian. Lebih lanjut Wibowo (2020), juga melaporkan bahwa terlihat material berpori serta kristal menyerupai bola (speris) pada permukaan katalis dan membentuk

agglomerasi. Adapun morfologi katalis yang berbeda terlihat muncul pada pengembangan logam 5% b/b.



Gambar 5. Morfologi Permukaan: (a) Ni-ZAH (Suharto dkk, 2007), (b) NZA (Suharto dkk, 2007), (c) Ni/NZA 3% b/b (penelitian ini)



Gambar 6. Morfologi Permukaan Ni/NZA 5% b/b

Pada pengembangan logam 5% b/b terlihat bahwa morfologi batangan tidak lagi dominan tetapi terlihat ditutupi oleh butiran butiran pada seluruh batangan secara masif dengan

morfologi kristal berupa lamelar-lamelar berlapis yang merupakan karakteristik permukaan NZA (lihat Gambar 6) dengan beberapa bagian terdiri granular (speris) kristalin (merupakan logam yang diembankan) sedangkan gumpalan yang terbentuk merupakan aglomerasi logam Ni pada permukaan NZA. Sehingga hal ini dapat ditafsirkan bahwa pengembanan logam dengan konsentrasi yang lebih besar mengakibatkan terjadi aglomerasi logam Ni meliputi seluruh permukaan. Adanya perbedaan morfologi tersebut dapat dikaitkan dengan persebaran logam yang tidak sama untuk masing-masing pengembanan logam (Bahri dkk, 2011).

4. KESIMPULAN

Berdasar hasil penelitian dan pembahasan maka dapat disimpulkan bahwa proses dealuminasi menyebabkan peningkatan kristalinitas komponen penyusun katalis terutama fasa *amorf*. Dan secara kualitatif, kristalinitas dan pembentukan fasa aktif tertinggi didapatkan pada waktu kalsinasi 2 jam, serta pengembanan logam menyebabkan perubahan kristalinitas dan morfologi permukaan katalis, persebaran logam yang terbaik terjadi pada pengembanan logam 3 % b/b.

DAFTAR PUSTAKA

- Afanasov, I. M., Shornikova, O. N., Avdeev, V. V., Lebedev, O. I., Tendeloo, G. V., & Matveev, A. T. (2008). Expanded Graphite as A Support for Ni/Carbon Composites, *Carbon*, 47, 513-518.
- Bahri, S., Sunarno, Muhdarina, & Anugra, R.D. (2011). Catalytic pyrolysis using catalyst nickel-natural zeolite (Ni/NZA) on conversion of biomass to bio-oil., *International Conference & Utility Exhibition on Power and Energy Systems: Issues and Prospects for Asia (ICUE 2011)*, Pattaya, Thailand, 28 – 30 September 2011.
- BPS, Badan Pusat Statistik. (2019). Statistik Kelapa Sawit Indonesia. Jakarta.
- ESDM. (2019). Indonesia Energy Outlook, <https://www.esdm.go.id/id/publikasi/indonesia-energy-outlook>
- ESDM. (2021). <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/menteri-esdm-cadangan-minyak-indonesia-tersedia-untuk-95-tahun-dan-cadangan-gas-199-tahun>.
- Fatimah, N.F., & Utami, B (2017). Sintesis dan Analisis Spektra IR, Difraktogram XRD, SEM pada Material Katalis Berbahan Ni/zeolit Alam Teraktivasi dengan Metode Impregnasi, *Journal Cis-Trans (JC-T)*, 1 (1).
- Hambali, E., Mujdalipah, S., Tambunan, A. H., Pattiwiri, A. W., & Hendroko, R. (2007). *Teknologi Bioenergi*, Agromedia, Jakarta.
- Korkuna, O., Lebeda, R., Zieba, J. S., Vrublevs'ka, T., Gun'ko, V. M., & Ryczkowski, J. (2004). Structural and Physicochemical Properties of Natural Zeolite: Clinoptilolite and Mordenite, *Microporous and Mesoporous Material*, 87, 243- 254.
- Lestari, H. D. (2006). Sintesis Katalis Ni/Mo untuk *Hydrotreating Coker Nafta*, *Tesis, Program Studi Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung*.
- Madeira, L. M., Portela, M. F., & Mazzocchia, C. (2004). Nickel Molybdate Catalysts and Their Use in Selective Oxidation of Hydrocarbon, *Catalysts Review*, 46 (1), 53 – 110.
- Rodiansono, Trisunaryanti, W., & Triyono. (2007). Pembuatan, Karakterisasi dan Uji Aktivitas Katalis NiMo/Z dan NiMo/Z-Nb₂O₅ pada Reaksi Hidrorengkah Fraksi Sampah Plastik Menjadi Fraksi Bensin, *Berkala MIPA*, 17 (2).
- Samolada, M. C., Papafotica, A., & Vasalos, I. A. (2000). Catalyst Evaluation for Catalytic Biomass Pyrolysis, *Energi Fuels*, 25 : 1167.

- Setyawan, D., & Handoko, P. (2002). Pengaruh Perlakuan Asam, Hidrotermal dan Impregnasi Logam Kromium Pada Zeolit Alam dalam Preparasi Katalis, *Jurnal Ilmu Dasar*, 3 (2), 103-109.
- Srihapsari, D. (2006). Penggunaan Zeolit Alam yang Telah diaktivasi dengan HCl untuk Menjerap Logam-logam Penyebab Kesadahan Air, *Tugas Akhir*, Jurusan Kimia FMIPA UNNES.
- Suharto, T. E., Gustian, I., & Sundaryono, A. (2007). Pembuatan dan Karakterisasi Katalis Bifungsional dari Zeolit Alam, *Jurnal Gradien*, 3 (2), 267-272.
- Suwono, A. (2005). Indonesia's Potential Contribution of Biomass in Sustainable Energy Development. Thermodynamics Laboratory, *IURC for Engineering Sciences*, Bandung Institute of Technology, Bandung, Indonesia.
- Wibowo, S., Efiyanti, L., & Pari, G. (2020). Catalytic and Thermal Cracking of Bio-Oil from Oil-Palm Empty Fruit Bunches, in Batch Reactor, *Indones. J. Chem*, 20 (5), 1000–1009.
- Widyastuti, L. (2007). Reaksi Transesterifikasi Minyak Biji Jarak Pagar menjadi Metil Ester sebagai Bahan Bakar Pengganti Minyak Diesel dengan Menggunakan Katalis KOH, *Tugas Akhir*, Jurusan Kimia FMIPA UNNES.
- Yang, R., Li, X., Wu, J., Zhang, X., & Zhang, Z. (2009). The Difference in Hydrogenation Performance between Ni-in-Al₂O₃ and Ni-on-Al₂O₃ for Hydrotreating of Crude 2-Ethylhexanol, *Korean J. Chem. Eng.*, 27 (1), 55-61.
- Yue, W., & Zhou, W. (2007). Porous Crystals of Cubic Metal Oxides Templated by Cage-Containing Mesoporous Silica, *Supplementary Material (ESI) for Journal Material Chemistry*.