



SINTESIS KATALIS NI/ZEOLIT DAN APLIKASINYA PADA PIROLISIS LIMBAH SERABUT BATANG SAGU

Oleh

Dwi Prakoso¹⁾, Rahmad Nuryanto²⁾, Taslimah³⁾, Khabibi⁴⁾ & Linda Suyati⁵⁾

^{1,2,3,4,5}Departemen Kimia, F. sains dan Matematika, Universitas Diponegoro

e-mail: ¹dwprks@gmail.com, ²nuryantorahmad@live.undip.ac.id,

⁴khabibikhabibi@gmail.com, ⁵Lindasuyati15@gmail.com

Abstrak

Sintesis katalis Ni/Zeolit sebagai katalisator pada proses pirolisis limbah serabut batang sagu telah dilakukan. Katalis disintesis menggunakan zeolit lolos 100 mesh diaktifasi dengan perendaman HF 1% selama 4 jam dilanjutkan dengan perendaman menggunakan HCl 1 M selama 4 jam. Padatan kemudian dicuci dengan akuades untuk menghilangkan sisa Cl⁻, kemudian dikeringkan pada 120°C selama 24 jam. Impregnasi 1,2% (b/b) nikel dilakukan dengan menggunakan metode impregnasi basah dengan garam prekursor NiCl₂.6H₂O. Katalis Ni/zeolit kemudian dikalsinasi dibawah aliran nitrogen pada 400°C selama 4 jam dilanjutkan oksidasi dibawah aliran oksigen dan reduksi dibawah aliran hidrogen dengan temperatur masing-masing 400°C selama 4 jam. Analisis katalis dilakukan dengan menggunakan XRD dan keasaman total dengan adsorpsi NH₃. Pirolisis serabut limbah batang sagu dilakukan dengan katalis dan tanpa katalis pada 400°C, dengan ditampung produk cairnya. Pirolisis secara katalitik dipergunakan katalis 5% (b/b). Produk cair hasil pirolisis selanjutnya dianalisis dengan GC-MS. Hasil karakterisasi dengan XRD menunjukkan bahwa katalis Ni/Zeolit memiliki kandungan mineral mordenit, clinotilolit, laumontit dan faujasit. Ni terimpregnasi terdeteksi dalam bentuk Ni dan NiO. Hasil analisis terhadap produk cair hasil pirolisis dengan katalis dan tanpa katalis diperoleh produk dominan masing-masing berupa metilglioksal dan asam asetat.

Kata Kunci: Katalis, Ni/Zeolit, Pirolisis & Limbah Sagu

PENDAHULUAN

Biomass dalam sepuluh tahun terakhir menjadi sumber yang sangat penting untuk produksi bahan bakar transportasi maupun bahan kimia [1], proses konversi yang dilakukan dengan menggunakan pendekatan proses microbial, termokimia dan kimia/katalitik [2]. Limbah sagu merupakan biomassa dengan kandungan lignoselulosa yang kaya akan selulosa [3]. Presentase limbah sisa pengolahan sagu mengandung residu lignin dan selulosa masing-masing 21 dan 20%, sedang sisanya merupakan zat ekstraktif dan abu [4]. Kandungan lignin dan selulosa dari limbah hasil pengolahan sagu memiliki potensi sebagai sumber bahan bakar ataupun bahan kimia melalui proses pirolisis.

Pirolisis merupakan hal yang menarik dalam proses konversi biomassa menjadi energi karena dapat menghasilkan produk bahan bakar cair [5]. Pirolisis merupakan dekomposisi termal

<http://ejurnal.binawakya.or.id/index.php/MBI>

Open Journal Systems

dari biomassa yang berjalan tanpa adanya oksigen. Kata ini diturunkan dari kata pyro yang berarti api dan lisis yang bermakna dekomposisi ataupun pecah [6]. Jumlah produk dan fraksinya ditentukan oleh sejumlah faktor seperti laju pemanasan, temperatur pirolisis, komposisi biomassa dan pengaruh katalis [7]. Meskipun adanya katalis terkadang menurunkan produk cair namun menaikkan kualitas. Pemilihan katalis dalam pirolisis katalitik tergantung pada produk yang diharapkan, seperti minyak cair, arang dan gas [8]. Keberadaan katalis dalam pirolisis biomassa dari limbah sagu diharapkan dapat mengarahkan ke produk dominan tertentu.

Indonesia merupakan negara yang memiliki kelimpahan mineral alam salah satunya zeolit alam. Namun zeolit alam belum dapat dimanfaatkan secara optimal, pada sisi lain studi mengenai bio-oil dengan zeolit sintesis mahal sehingga merupakan tantangan penggunaan zeolit

Vol.14 No.10 Mei 2020



alam. Dalam industri zeolit dipergunakan sebagai penukar ion, pengisi detergen, katalis dan adsorben [9]. Nikel merupakan katalis logam yang dipergunakan untuk konversi termal hidrokarbon karena memiliki aktifitas efektif dan murah [9]. Aktivitas dan selektivitas yang tinggi telah dilaporkan untuk katalis nikel dengan menggunakan beberapa jenis padatan pendukung [10]. Penelitian ini mempergunakan zeolit alam sebagai padatan pendukung katalis Ni untuk proses pirolisis serabut dari limbah sagu.

LANDASAN TEORI

Tanaman sagu merupakan penghasil karbohidrat dengan jumlah mencapai 5 juta ton pati kering per tahun, atau setara dengan 3 juta kiloliter bioetanol. Tanaman sagu merupakan tanaman asli Indonesia, yang berasal dari sekitar danau Sentani Jayapura. Sagu pada umumnya hanya diambil patinya sebagai makanan pokok penduduk asli di daerah Papua dan Maluku [4]. Proses produksi pati sagu meninggalkan limbah biomasa dimana limbah ini memiliki harga murah, bisa terdegradasi dan merupakan polimer alam. Selulosa merupakan material memiliki kelimpahan tinggi dari limbah produksi pati sagu [11].

Huang, dkk mempelajari pirolisis beberapa biomasa dengan menggunakan katalis dan membandingkan dengan penyusun biomasannya. Selulosa yang merupakan komponen inti biomasa memberikan hasil tertinggi gas [7]. Menurut penelitian Rahayu dkk [4] keberadaan katalis Ni/Zeolit pada pirolisis limbah batang sagu dapat meningkatkan produk cairnya. Penelitian Supeni dkk [3] penggunaan katalis Ni/Zeolit pada pirolisis limbah sagu menghasilkan produk dominan asam asetat. Pada penelitian ini dilakukan untuk preparasi katalis nikel/zeolit-alam, yang dipergunakan untuk pirolisis serabut limbah sagu.

METODE PENELITIAN

Bahan dan alat

Penelitian ini bahan-bahan sebagai berikut: sampel serabut sagu asal Pati, Jawa Tengah, zeolit alam dari Bayat, Klaten, Jawa Tengah, HF

(teknis), H_2SO_4 (teknis), $AgNO_3$ (teknis), $NiCl_2 \cdot 6H_2O$, akuades, akuademin, dan kertas saring. Perlakuan yang dipergunakan pada penelitian ini berupa alat gelas standar, GCMS (*gas Chromatography-Mass spectroscopy*), XRD (*X-ray Diffraction*), *Hotplate-Magnetic stirrer*, Kertas pH universal, timbangan analitis (Ohaus PA214 Pioneer), oven, *furnace*, kaca arloji, dan alat pirolisis.

Cara kerja

Pembuatan Katalis Ni-Zeolit

Zeolit alam sebanyak lima puluh gram diayak pada 100 mesh. Zeolit alam yang lolos direndam asam dengan HF 1% selama 4 jam dan dilanjutkan dengan perendaman HCl 1M selama 4 jam. Zeolit selanjutnya dicuci dengan aquabidest sampai netral. Zeolit yang sudah diaktivasi kemudian dikalsinasi pada suhu 1200 °C. Impregnasi dilakukan dengan merendam dalam larutan garam prekursor $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ 1,2% (b/b) sambil diaduk selama 24 jam. Zeolit yang telah diimpregnasi dikeringkan dan kalsinasi 1200 °C dibawah aliran gas nitrogen selama 4 jam. Selanjutnya dilakukan oksidasi dan reduksi dengan dialiri gas hidrogen selama 4 jam pada 400°C. Katalis yang dihasilkan dianalisis menggunakan instrumen XRD dan diuji keasamannya.

Pirolisis Limbah Serabut Sagu (*Metroxylonsp*)

Sebanyak 50 gram serabut sagu yang telah kering dipirolisis dengan katalis Ni-Zeolit sebanyak 5% (b/b) dan tanpa katalis dengan cara dicampur. Pirolisis dilakukan pada suhu 400 °C. Pirolisis dihentikan saat produk cair tidak menetes lagi Hasil pirolisis (cairan) dianalisis dengan *Gas Chromatography-Spectroscopy Mass*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan Katalis

Pembuatan katalis diawali dengan mengaktivasi zeolit alam yang berukuran 100 mesh. Menurut Yuliusman [12] perendaman zeolit alam dengan HF terlarutnya oksida-oksida logam dan senyawa organik yang terkandung dalam zeolit. Penelitian Susanto [13]



menunjukkan bahwa perendaman zeolit dengan HF terjadi aktivasi zeolit alam dengan menghilangkan pengotor, oksida pengotor (Fe_2O_3 , SiO_2 dan Al_2O_3), logam alkali (K, Na), alkali tanah (Ca, Mg) yang terletak diluar kerangka zeolit yaitu di dalam rongga maupun sebagai oksida pengotornya yang berada di permukaan zeolit.

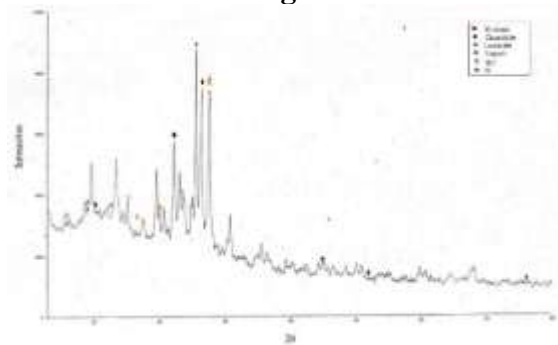
Aktivasi zeolit alam pada penelitian ini dengan HF 1% selama 4 jam diharapkan dapat menghilangkan pengotor-pengotor logam yang mengisi pori-pori katalis dan bagian luar katalis. Hilangnya pengotor dari pori-pori zeolit akan meningkatkan jumlah pori dan keasaman katalis. Selanjutnya perendaman dengan HCl 1 M akan melarutkan logam-logam terutama Fe [14], sehingga zeolit ini kan berwarna putih setelah pengeringan.

Nikel yang diprenasikan dalam pengemban banyak dipergunakan pada bidang katalis [15]. Katalis Ni/Zeolit dibuat dengan mengimpregnasikan Ni ke dalam zeolit yang bertujuan untuk mendispersi logam Ni pada zeolit. Proses ini dilakukan dengan merendam zeolit terkativasi pada larutan garam $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Tahapan selanjutnya yaitu kalsinasi zeolit yang bertujuan meningkatkan kestabilan material [16]. Kalsinasi juga katalis bertujuan untuk merenggangkan ruang antarpori sehingga gas N_2 dapat menembus pori-pori kecil yang ditempati oleh kotoran-kotoran organik dan dapat mendesaknya keluar dari zeolit. Selain itu, proses kalsinasi juga berfungsi untuk memperbaiki dispersi logam pada permukaan zeolit [17]. Oksidasi katalis menggunakan gas O_2 untuk mengubah kompleks logam menjadi oksida logam [17], dan reduksi dengan menggunakan gas H_2 diperlukan, untuk meningkatkan dispersi dan kekuatan ikat [18] pada zeolit. Katalis Ni/Zeolit yang sudah dibuat selanjutnya digunakan dalam proses pirolisis, untuk mengetahui keberadaan logam Ni dan mineral yang terkandung pada zeolit, Ni/zeolit yang dibuat dikarakterisasi menggunakan instrumen Difraktometer Sinar-X.

Karakterisasi Katalis

Karakterisasi katalis dapat menggunakan instrumen XRD untuk menentukan jenis mineral zeolit sekaligus mendeteksi keberadaan jenis logam Ni didalam katalis[4]. Pada Ni-Zeolit yang disintesis, hasil difraktogramnya dibandingkan dengan data JCPDS dan *Collection of Simulated XRD Powder Patterns for Zeolites* sehingga dapat diketahui jenis kristal penyusun Ni-Zeolit yang disintesis. Hasil Difraktogram disajikan pada gambar 1:

Gambar 1. Difraktogram Ni-zeolit



Berdasarkan data XRD gambar 1 diperkirakan mineral yang terkandung pada sampel adalah Modernite, Faujasite, Clinoptilolite, dan Laumonite, serta adanya logam Ni dalam sampel katalis yang dibuat. Logam Ni dalam sampel katalis yang dibuatterdapat dalam dua fase yaitu Ni^0 dan NiO. Puncak Ni^0 muncul pada 2θ 17,28;19,51 dan 27,56°, sedangkan puncak NiO muncul pada 2θ 44,86; 51,78 dan 76,26°. hal ini menunjukkan bahwa proses reduksi tidak terjadi secara sempurna.

Keasaman Total Katalis

Sifat keasaman zeolit merupakan karakter penting dan menentukan aktifitas katalis. Jumlah keasaman (kuantitatif) dalam zeolit diukur dengan metod gravimetri [19]. Keasaman katalis berkaitan dengan jumlah situs aktif dalam katalis. Apabila jumlah situs aktif besar, maka daya adsorpsi terhadap reaktan juga menjadi besar. Untuk menentukan jumlah situs asam dalam katalis dilakukan adsorpsi basa adsorbat pada katalis dengan amoniak sebagai basa adsorbatnya merupakan jumlah situs asam total dengan asumsi bahwa NH_3 dengan ukuran molekul yang



kecil dapat masuk sampai ke dalam pori-pori katalis. Bobot awal Ni-zeolit sebesar 5,0602 g bertambah setelah mengadsorpsi gas NH_3 pada larutan amoniak menjadi 6.0262 g sehingga dapat diketahui bahwa amoniak yang teradsorpsi pada Ni-Zeolit sebesar 0,0112 mmol/g. Dengan adanya logam pada permukaan zeolit, maka akan muncul muatan positif parsial pada permukaan logam. Muatan parsial positif ini dapat menarik pasangan bebas dari basa membentuk asam konjugatnya.

Pirolisis Limbah Serabut Sagu

Bio-oil yang terkandung didalam serabut sagu dapat diambil dengan cara pirolisis[4]. Reaksi pirolisis merupakan reaksi endotermis yang bekerja pada suhu tinggi. Suhu yang digunakan pada proses pirolisis adalah 400°C , dengan penggunaan suhu yang tinggi diharapkan dapat mendegradasi secara termal senyawa hidrokarbon dengan rantai panjang menjadi senyawa hidrokarbon yang lebih sederhana. Proses pirolisis dapat dilakukan dengan dan tanpa katalis[20] Tujuan penggunaan katalis atau tidak pada proses pirolisis serabut sagu adalah untuk mengetahui efisiensi proses reaksi termal dari segi energi, banyaknya produk, dan jenis produk *bio-oil* yang dihasilkan. Katalis Ni-zeolit yang ditambahkan pada proses pirolisis sebanyak 5% (b/b) dari sampel serabut sagu.

Gambar 2. *Bio-oil* Hasil Pirolisis (a) tanpa katalis (b) dengan katalis Ni/zeolit



(a) (b)

Proses pirolisis akan menghasilkan asap yang selanjutnya dengan adanya proses pendinginan dengan menggunakan kondensor sehingga didapatkan produk *bio-oil* dalam bentuk cair. Produk hasil pirolisis yang didapatkan berwarna coklat kemerahan dan terdapat residu yang berwarna hitam yang terdapat pada lapisan bawahnya. *Bio-oil* yang didapat mempunyai bau yang khas dan menyengat. Hasil pengamatan

visual produk pirolisis yang menggunakan katalis Ni-Zeolit dan tanpa menggunakan katalis mempunyai warna yang tidak jauh berbeda Gambar 2. Cairan produk hasil pirolisis kemudian ditimbang dan hasilnya dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Persentase Produk Cair Hasil Pirolisis

Perlakuan	I	II
Pirolisis Tanpa Katalis	25,06%	34,01%
Pirolisis + Katalis	21,75%	27,59%

Perbandingan produk *bio-oil* hasil pirolisis dengan menggunakan katalis Ni/Zeolit maupun tanpa katalis memperlihatkan bahwa persentase cairan paling banyak diperoleh pada pirolisis tanpa menggunakan katalis. Hal ini diduga bahwa pada produk pirolisis menggunakan katalis Ni/zeolit yang dihasilkan lebih banyak senyawaan yang mudah menguap sehingga tidak terkondensasi dalam bentuk cairan. Rata-rata produk cair yang dihasilkan pada pirolisis tanpa dan dengan katalis masing-masing adalah 29,54 dan 24,67%.

Analisa Komponen Senyawa *Bio-oil*

Produk *bio-oil* hasil pirolisis yang menggunakan katalis Ni-Zeolit maupun yang tidak menggunakan katalis dianalisis dengan instrumen GC-MS yang bertujuan untuk menentukan jenis dan distribusi komponen produk cair hasil pirolisis. Kelimpahan senyawa-senyawa yang terkandung di dalam *bio-oil* hasil pirolisis yang menggunakan katalis atau tanpa menggunakan katalis dipaparkan pada tabel 2 dan tabel 3.

Tabel 2. Hasil Analisis GC-MS Produk Cair Hasil Pirolisis Tanpa Katalis

Peak #	R. Time (Min)	Area (%)	Senyawa
1	2,121	2,22	asetaldehid
2	2,214	1,89	aseton
3	2,317	0,37	2-propena-1-ol
4	2,383	1,11	asamformiat
5	2,432	3,05	l-valine
6	2,732	72,22	metilglioksal
7	3,098	6,96	asampropanoat
8	3,408	0,63	3-butena-1-ol
9	3,500	0,45	2-pentanol
10	3,573	3,20	2-butanon-1-hidroksi



11	3,783	3,22	siklopentanon
13	4,192	0,26	asambutanoat
14	4,317	0,18	2-metilhidrofuran
15	4,485	0,24	1,6-heptadien-4-ol
16	4,626	1,22	2-furankarboksaldehid
17	4,742	0,31	2,5 furandion
18	5,308	0,09	2-butanon
19	9,686	1,22	fenol
20	11,008	0,08	2-siklopentenon

11	4,925	0,01	1-propena
12	5,325	0,16	2-butanon
13	5,451	0,61	1,2-etanadiol
14	5,608	0,09	2-butena-1,4-diol
15	9,734	0,99	fenol

Komponen senyawa hasil analisis GC-MS produk cair hasil yang menggunakan katalis Ni-Zeolit dan tanpa menggunakan katalis terdapat perbedaan yang signifikan. Komponen senyawa dari produk cair hasil pirolisis tanpa menggunakan katalis lebih banyak mengandung senyawaan C-3, sedangkan komponen senyawa produk pirolisis yang menggunakan katalis Ni-zeolit lebih banyak mengandung senyawaan C-2. Berdasarkan hasil tersebut dapat dinyatakan bahwa dengan penggunaan katalis Ni-zeolit pada proses pirolisis dapat membantu proses penguraian termal senyawa hidrokarbon lignoselulosa menjadi senyawa hidrokarbon yang lebih sederhana dibandingkan dengan tanpa menggunakan katalis.

Komponen senyawa penyusun *bio-oil* merupakan hasil penguraian termal dari selulosa, hemiselulosa dan lignin. Munculnya senyawa metilglioksal, asam asetat, *furfural* dan hidroksimetilfurfural merupakan hasil dari penguraian termal selulosa [21]. Metilglioksal apabila teroksidasi akan mengurai menjadi senyawa formaldehid dan asetaldehid [22]. Reaksi oksidasi lanjutan pada asetaldehid akan menjadi senyawa asam asetat.

Tabel 3. Hasil Analisis GC-MS Produk Cair Hasil Pirolisis Menggunakan Katalis

Peak #	R. Time (Min)	Area (%)	Senyawa
1	2,125	2,21	asetaldehid
2	2,217	2,73	aseton
3	2,613	55,27	asam asetat
4	2,725	22,04	hidroksiaseton
5	3,090	5,19	asampropanoat
6	3,250	1,49	2,3-dimetil-1-butena
7	3,570	3,70	2-butanon-1-hidroksi
8	3,784	3,09	siklopentanon
9	4,470	0,27	1,6-heptadiena-4-ol
10	4,638	2,15	2-furankaboxaldehid

Penguraian termal senyawa selulosa juga menghasilkan derivat senyawaan furan, siklopentanon, asam propanoat, asam butirat. Lignin yang merupakan senyawa aromatik dengan proses pirolisis dapat mengalami reaksi depolimerisasi menjadi phenol dan senyawa aromatik yang lebih sederhana. 2-butanon yang terkandung dalam produk *bio-oil* mungkin dibentuk dari dekarboksilasi reaksi antara asam asetat dan asam propanoat sehingga terbentuk gugus keton pada senyawa tersebut [23].

PENUTUP Kesimpulan

Telah dilakukan disintesis katalis Ni/Zeolit dengan dari zeolit alam Bayat, Klaten, Jawa Tengah. Hasil spektrogram menunjukkan bahwa kandungan mineral katalis adalah modernite, faujasite, clinoptilolite, dan laumonite. Impregnasi logam Ni yang pada zeolit ditandai dengan munculnya peak yang diidentifikasi Ni dan NiO. Uji keasaman katalis Ni/zeolit dengan metode gravimetri dengan menggunakan NH₃ memberikan nilai keasaman total sebesar 0,112 mmol/g.

Hasil pirolisis tanpa dan dengan katalis Ni/Zeolit menunjukkan bahwa hasil produk cair yang diperoleh berturut-turut masing-masing 29,54 dan 24,67%. Hasil GC-MS menunjukkan adanya katalis munculnya beberapa alkana pada produknya, sedangkan tanpa katalis material ini tidak terbentuk. Komponen tertinggi yang diperoleh dari hasil pirolisis tanpa katalis adalah metil glioksal sebanyak 72,22%, sedangkan dengan katalis zeolit yaitu asam asetat sebesar 55,27%.

Saran

Perlu dilakukan sintesis katalis dengan logam ganda dan proses pirolisis dilakukan dengan katalis danumpun terpisah.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Taarning, E., Osmundsen, C. M., Yang, X., Voss, B., Andersen, S. I., and Christensen, C. H., 2011, Zeolite-catalyzed biomass conversion to fuels and chemicals, *Energy Environ. Sci.*, vol. 4, no. 3, pp. 793–804.
- [2] Li, H., Fang, Z., Smith, R. L. and Yang, S., 2016, Efficient valorization of biomass to biofuels with bifunctional solid catalytic materials, *Prog. Energy Combust. Sci.*, vol. 55, pp. 98–194.
- [3] Supeni, Y., Nuryanto, R. and Taslimah, 2013, Pengaruh Variasi Waktu Penahanan Temperatur Terhadap Produk Pirolisis Limbah Serabut Sagu (Metroxylon Sp.) Dengan Atau Tanpa Katalis, *Chem Info*, vol. 1, no. 1, pp. 310–315.
- [4] Rahayu, F. L., Nuryanto, R. and Suyati, L., Pengaruh Diameter Kanal Pelet Katalis Zeolit Aktif dan Ni-Zeolit terhadap Pirolisis Limbah Batang Pohon Sagu (Metroxylonsp.), *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, vol. 16, no. 1. p. 33, 2013.
- [5] Jahirul, M. I., Rasul, M. G., Chowdhury, A. A., and Ashwath, N. , 2012, Biofuels Production through Biomass Pyrolysis—A Technological Review, pp. 4952–5001.
- [6] Fahmy, T. A., 2018, Biomass pyrolysis: past, present, and future, *Environment, Development and Sustainability*.
- [7] Kabakcı, S. B., 2017, Catalytic Pyrolysis of Biomass, *INTECH*.
- [8] Miandad, R., Barakat, M.A., Rehan, M., Aburizaiza, A.S., Ismail, I.M.I., and Nizami, A.S., 2016, International Biodeterioration & Biodegradation Effect of zeolite catalysts on pyrolysis liquid oil, *Waste Management journal*, Vol 69, p .
- [9] Bahri, S., and Anugra, R. D., 2012, Catalytic Pyrolysis Using Catalyst Nickel-Natural Zeolite (NiINZA) on Conversion of Biomass to Bio-Oil, pp. 1–4.
- [10] Gac, W., Zawadzki, W., Słowik, G., Sienkiewicz, A., and Kierys, A., , 2018, Nickel catalysts supported on silica microspheres for CO₂ methanation, *Microporous Mesoporous Mater.*, vol. 272, no. May, pp. 79–91.
- [11] Pushpamalar, V., Langford, S. J., Ahmad, M., and Lim, Y. Y., 2006, Optimization of reaction conditions for preparing carboxymethyl cellulose from sago waste, *Carbohydrate Polymers*, vol. 64, pp. 312–318.
- [12] Yuliusman, 2016, Aktivasi Zeolit Alam Lampung sebagai Adsorben Karbon Monoksida Asap Kebakaran, *Semin. Nas. Tek. Kim. “Kejuangan” Pengemb. Teknol. Kim. untuk Pengolah. Sumber Daya Alam Indones.*, pp. 1–6
- [13] Susanto, T., 2011, Study on the Adsorption of Dithizone-Immobilized Activated Natural, *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, vol 22 no. 1, pp. 54–66,
- [14] Rahayu, P.E., Priatmoko, S., and Kadarwati, S., 2013, Konversi Minyak Sawit Menjadi Biogasoline Menggunakan Katalis Ni/Zeolit Alam, *Indo. J. Chem. Sci.*, vol. 2, no. 3.
- [15] Qin, J, Li, B., Zhang, W., Lv, S., Han, C. and Liu, J., 2015, Synthesis, characterization and catalytic performance of well-ordered mesoporous Ni-MCM-41 with high nickel content, *Microporous Mesoporous Mater.*, vol. 208, no. 3, pp. 181–187, 2015.
- [16] Ayele, L. Pérez-Pariente, J., Chebude, Y. and Díaz, I., 2016, Conventional versus alkali fusion synthesis of zeolite A from low grade kaolin, *Appl. Clay Sci.*, vol. 132–133, pp. 485–490.
- [17] Irvantino, B., Wahyuni, S., and Saputro, H., 2013, Preparasi Katalis Ni/Za Dengan Metode Sonokimia Untuk Perengkahan Katalitik Polipropilen Dan Polietilen, *Indones. J. Chem. Sci.*, vol. 2, no. 2.
- [18] Vitale, G., Molero, H., Hernandez, E., Aquino, S., Birss, V., and Pereira-Almao, P., 2013, One-pot preparation and characterization of bifunctional Ni-containing ZSM-5 catalysts, *Appl. Catal. A Gen.*, vol. 452, pp. 75–87.
- [19] Suharto, T. E., Gustian, I., and Sundaryono, A., 2007, Pembuatan dan Karakterisasi Katalis Bifungsional dari Zeolit Alam,



-
- Jurnal Gradien*, vol. 3, no. 2, pp. 267–272, 2007.
- [20] Kartika, E., Suyati, L. and Nuryanto, R., 2012, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi* Pirolisis Kulit Biji Jambu Mete (*Cashew Nut Shell*) dengan Katalis, *J. Kim. Sains dan Apl.*, vol. 15, no. 3, pp. 100–104
- [21] Kelkar, S., 2013, *Green Aromatics From Biomass Fast Pyrolysis, Dissertation*, The Department of Chemical Engineering and Materials Science and The Department of Biosystems and Agricultural Engineering, Michigan State University, p. 5135, 2013.
- [22] Bekki, K., Uchiyama, S., Ohta, K., Inaba, Y., Nakagome, H., and Kunugita, N., 2014, Carbonyl compounds generated from electronic cigarettes, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 11, no. 11, pp. 11192–11200.
- [23] Zhang, X. S., Yang, G. X., Jiang, H., Liu, W. J. and Ding, H. S., 2013, Mass Production Of Chemicals From Biomass-Derived Oil By Directly Atmospheric Distillation Coupled With Co-Pyrolysis, *Sci. Rep.*, Vol. 3, pp. 1–7, 2013.



HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN