



Perkembangan Zeolit Sebagai Katalis Alam Potensial

The Development of Zeolite as Potential Natural Catalyst

Junita Dongoran¹, Putri Sulistiawati¹, Sri Yulandari Simangunsong¹, Pandu Gizta Rapi Paksi¹,
Marvin Horale Pasaribu^{1*}

¹Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam, Universitas Palangka Raya,

Kata kunci	Abstrak
zeolit, katalis, sintesis, modifikasi	<i>Zeolit adalah mineral aluminosilikat terhidrasi (padatan) di mana ion silikat (SiO_4^{4-}) dan alumina tetrahedral (AlO_4^{5-}) bergabung untuk membentuk struktur kristal berpori/berongga dan bermuatan negatif. Zeolit alam dapat diisolasi dari beberapa sumber seperti abu vulkanik, pasir dan batuan, sekam padi, hingga limbah organik industri. Katalis zeolit dapat disintesis melalui berbagai metode seperti sol-gel, hidrotermal, ionotermal, dan alkali-fusion. Tujuan dari modifikasi material katalis zeolit yaitu untuk meningkatkan kemampuan katalitik serta sifat fisik dan kimianya, dimana dapat dilakukan dengan berbagai metode antara lain sol-gel, hidrotermal, ionotermal, dan alkali-fusion. Penggunaan katalis berbasis zeolit serta turunannya telah banyak digunakan dalam berbagai reaksi kimia dan industry seperti proses isomerisasi, cracking molekul, hingga dalam pembuatan biodiesel. Kesimpulannya adalah zeolit merupakan material yang banyak dikembangkan karena jumlahnya yang melimpah di alam dan relatif lebih murah serta dapat dimodifikasi sehingga dapat digunakan dalam berbagai reaksi kimia.</i>
Keywords	Abstract
zeolite, catalyst, synthesis, modification	<i>Zeolite is a hydrated aluminosilicate mineral (solid) in which silicate ions (SiO_4^{4-}) and tetrahedral alumina (AlO_4^{5-}) combine to form a porous/hollow and negatively charged crystal structure. Natural zeolite can be isolated from several sources, such as volcanic ash, sand, rocks, and rice husks, to industrial organic waste. Zeolite catalysts can be synthesized through various methods such as sol-gel, hydrothermal, ionothermal, and alkaline fusion. The purpose of modifying zeolite catalyst material is to improve its catalytic capabilities and physical and chemical properties, which can be done by various methods, including sol-gel, hydrothermal, ionothermal, and alkaline fusion. The use of zeolite-based catalysts and their derivatives has been widely used in various chemical reactions and industries such as isomerization processes, molecular cracking, to the manufacture of biodiesel. The conclusion is that zeolite is a widely developed material because of its abundant quantity in nature, and it is relatively cheaper and can be modified so that it can be used in various chemical reactions.</i>

© 2021 Jurnal Jejaring Matematika dan Sains. This work is licensed under a [CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Corresponding Author:

*Alamat e-mail: marvin.pasaribu@mipa.upr.ac.id

PENDAHULUAN

Zeolit adalah mineral (padatan) aluminosilikat terhidrasi yang terbuat dari silika (SiO_4^{4-}) dan tetrahedral alumina (AlO_4^{5-}) yang saling terikat sehingga membentuk struktur kristal yang berpori/berrongga dan bermuatan negatif. Struktur kristal berrongga tersebut terbentuk dari elemen, silikon, oksigen dan aluminium, dengan logam alkali atau alkali tanah seperti magnesium (Mg), natrium (Na) dan kalium (K), biasanya rongga ini berisi dengan molekul air yang terperangkap di celah-celah pori [1]. Zeolit adalah mineral yang terdiri atas kristal alumino silikat terhidrasi dan kation alkali atau alkali tanah dalam kerangka tiga dimensi. Sebagai penyerap, zeolit mempunyai kapasitas yang tinggi karena dapat memisahkan molekul-molekul berdasarkan ukuran dan konfigurasi dari molekul. Zeolit alam perlu diaktivasi dan dimodifikasi guna meningkatkan karakternya terutama aktivitas katalitiknya. Keasaman zeolit dapat

ditingkatkan dengan cara pengembunan logam-logam transisi yang memiliki orbital d belum terisi penuh. Logam-logam ini secara langsung dapat berfungsi sebagai katalis tanpa diembankan terlebih dahulu pada pengembunan, tetapi memiliki kelemahan, diantaranya luas permukaan yang relatif kecil, dan selama proses katalitik dapat terjadi penggumpalan [2].

Zeolit berdasarkan sumbernya dapat dibedakan menjadi dua, yaitu zeolit alam dan zeolit sintetis. Kedua zeolit ini memiliki perbedaan yaitu: (1) Zeolit Alam, biasanya mengandung kation-kation K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , dan Mg^{2+} . Zeolit alam mengandung bahan yang berbeda yang memiliki ukuran kristal tidak seragam, dan membutuhkan beberapa hari hingga beberapa dekade untuk dibuat. Beberapa sumber zeolite yaitu dari abu vulkanik, pasir dan batuan, sekam padi, hingga limbah organik industri. Dan (2) Zeolit Sintetis, zeolit ini sangat murni dengan ukuran kristal seragam dan berguna untuk aplikasi Industri tertentu. Zeolit sintetis biasanya hanya mengandung kation-kation seperti K^+ dan Na^+ . Salah satu jenis dari zeolit sintetis adalah zeolit silikalit. Zeolit sintetis dapat dibuat di laboratorium dalam rentang waktu beberapa jam hingga beberapa hari dengan ukuran pori yang dapat dikontrol, karakteristik permukaan adsorben, dan stabilitas termal yang sangat baik [3].

Penggunaan zeolit alam telah banyak digunakan yaitu sebagai pelunak air (*water softening*), penukar kation (*cation exchangers*), adsorben, sebagai bahan pengering (*drying agents*), dan sebagai katalis atau pengembunan katalis pada berbagai reaksi kimia [4]. Salah satu contoh kegunaan zeolit adalah sebagai katalis dalam pembuatan biodiesel, dimana katalis zeolit dapat memudahkan separasi biodiesel dari produk samping (gliserol) [5]. Biodiesel merupakan senyawa metil ester rantai panjang yang dapat diproduksi melalui proses transesterifikasi dari sumber minyak nabati atau lemak hewani [6].

Keuntungan penggunaan katalis jenis zeolit alam pada pembuatan biodiesel adalah pada proses esterifikasi asam lemak bebas yang terdapat dalam minyak goreng bekas dapat dilakukan sekaligus dengan reaksi transesterifikasi trigliserida [1]. Dengan menggunakan katalis zeolit maka kedua reaksi tersebut dapat dilakukan sekaligus karena zeolit dapat digunakan sebagai katalis dalam reaksi esterifikasi maupun transesterifikasi [2]. Berdasarkan uraian tersebut, tujuan penelitian ini adalah untuk menjelaskan jenis dan sifat dari zeolit alam, metode sintesis dan modifikasi zeolit, serta penggunaan zeolit dan proses katalitik yang menyertainya terhadap reaksi pembentukan produk.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan metode studi literatur dalam bentuk data primer dengan menggunakan referensi artikel atau jurnal yang bereputasi baik nasional maupun internasional selama 12 tahun terakhir (2010-2022). Referensi yang digunakan dikumpulkan, dibaca dan dikelompokkan yang selanjutnya dirangkum dalam bentuk jurnal review. Pencarian data pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan mesin pencarian *online*, seperti Google dan situs jurnal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Katalis Zeolit

Secara umum zeolit alam memiliki ukuran pori yang tidak sama dan banyak mengandung pengotor, hal ini perlu dilakukan proses aktivasi zeolit. Aktivasi zeolit adalah cara untuk menghilangkan pengotor yang terdapat pada permukaan pori, dan dapat memodifikasi sifat-sifat dari zeolit seperti luas permukaan dan keasaman dari material zeolit tersebut [7].

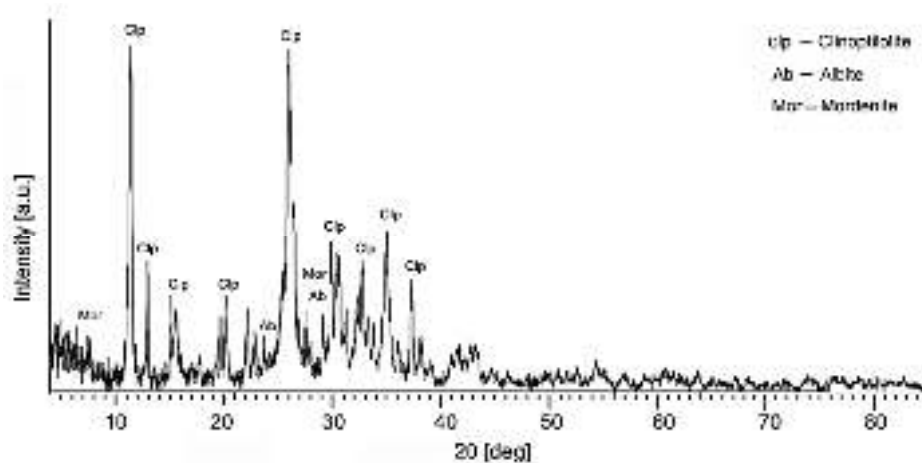
Analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan untuk mengetahui jenis dan komposisi kristal dari zeolit. Dimana terdapat beberapa jenis zeolit alam yaitu ferrierite (FER), philipsite (PHI), mordenite (MOR), analcime (ANA), clinoptilolite (CLI), chabazite (CHA), erionite (ERI) dapat dilihat pada tabel 1. Pada setiap sampel biasanya dipindai dalam kisaran 2θ dari 4–85. Contohnya seperti pada analisis XRD klinoptilolit

yang menunjukkan bahwa klinoptilolit merupakan mineral utama dalam sampel dan memiliki kandungan albite dan mordenit rendah.

Tabel 1. Jenis Zeolit Alam

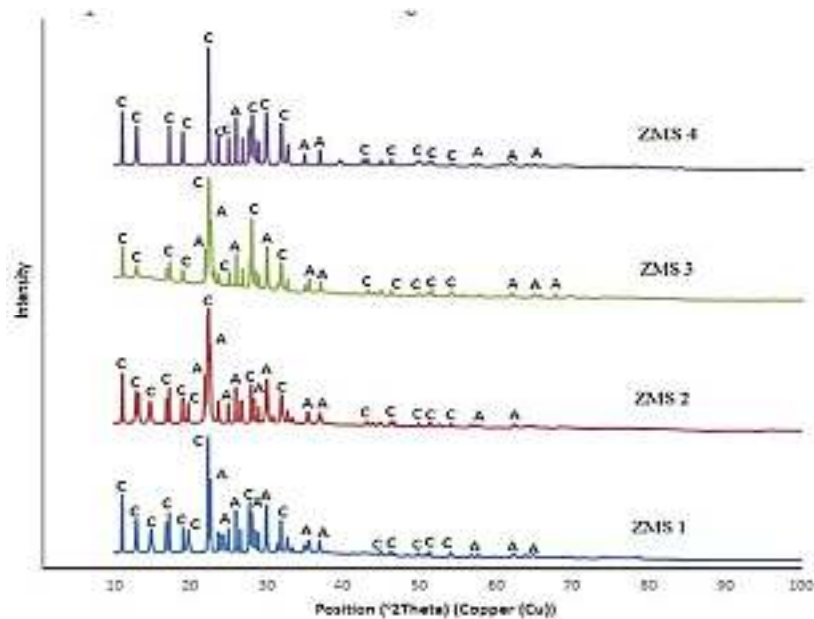
Jenis Zeolit	Formula Kimia	Rasio Si/Al	Ref
Ferrierite (FER)	$(\text{Na,K})2\text{MgAl}_3\text{Si}_{15}\text{O}_{36}(\text{OH})\cdot 9\text{H}_2\text{O}$	10	[8]
Phillipsite (PHI)	$(\text{K,Na,Ca})_{1.2}(\text{Si,Al})_8\text{O}_{16}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$	2	[9]
Mordenite (MOR)	$(\text{Ca,Na}_2,\text{K}_2)\text{Al}_2\text{Si}_{10}\text{O}_{24}\cdot 7\text{H}_2\text{O}$	18	[10]
Analcime (ANA)	$\text{NaAlSi}_2\text{O}_6\cdot \text{H}_2\text{O}$	10-19	[11]
Clinoptilolite (CLI)	$(\text{Na,K,Ca})_6(\text{Si,Al})_{36}\text{O}_{72}\cdot 20\text{H}_2\text{O}$	4.33	[12]
Chabazite (CHA)	$\text{CaAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$	15	[13]
Erionite (ERI)	$(\text{K}_2,\text{Ca,Na}_2)_2\text{Al}_4\text{Si}_{14}\text{O}_{36}\cdot 35\text{H}_2\text{O}$	3.2	[14]

Gambar 1 menunjukkan pola XRD sampel klinoptilolit. Pola XRD dari sampel menunjukkan bahwa difraksi tajam dapat dikaitkan dengan klinoptilolit dengan spasi klinoptilolit pada posisi asimetris (400) yaitu 3,97 Å [15].



Gambar 1. Pola XRD Sampel Serbuk Klinoptilolit [15]

Karakterisasi zeolit CTAB termodifikasi yang menunjukkan beberapa puncak dengan 2θ sudut difraksi, termasuk 22.33° ; 22.63° ; 11.07° ; 27.70° ; 25.92° pada 0,5 mM perlakuan, sedangkan pada perlakuan 1 mM menunjukkan puncak dengan sudut difraksi 2θ , termasuk $22,35^\circ$; $22,63^\circ$; 11.10° ; $27,95^\circ$; 21.89° . Untuk perlakuan 10 mM itu menunjukkan beberapa puncak dengan sudut difraksi 2θ , termasuk 22.35° ; 27.98° ; $22,65^\circ$; $29,96^\circ$; 21.89° , dan untuk perlakuan 100 mM menunjukkan puncak dengan difraksi sudut 2θ , termasuk $22,3^\circ$; 25.89° ; 11.05° ; $29,87^\circ$; 28.0° [16] dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Analisis XRD pada Surfaktan Modifikasi Zeolit, C: Klinoptilolit ($\text{Na}_8(\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72})(\text{H}_2\text{O})_{9,04}$) dan A: Albit ($\text{Na}(\text{Al}_3\text{O}_8)$) [16]

B. Sintesis Zeolit

Zeolit sintetis yang sangat murni dengan ukuran kristal yang seragam dan berguna untuk aplikasi industri tertentu. Sebaliknya, zeolit alam mengandung bahan asing yang berbeda yang memiliki ukuran kristal tidak seragam. Zeolit alam membutuhkan beberapa hari hingga beberapa dekade untuk dibuat, sedangkan zeolit sintetis dapat dibuat di laboratorium dari rentang waktu beberapa jam hingga beberapa hari dengan ukuran pori yang dapat dikontrol, karakteristik permukaan adsorben, dan stabilitas termal yang sangat baik. Namun, dengan biaya yang sedikit lebih tinggi, hal ini membuat produk yang jauh lebih seragam daripada zeolit alam [17]. Zeolit sintetis dapat disintesis dari berbagai sumber dengan komposisi kimia dan sifat fisika-kimia yang berbeda. Ukuran kristal zeolit sintetis biasanya ditemukan pada kisaran 1,0-10,0 nm sedangkan densitasnya bervariasi antara 2,0 hingga 23,0 g/cm³. Berat jenis zeolit sintetis terletak antara 0,80 dan 0,90 g/cm³. Secara optik, indeks bias zeolit sintetis berkisar antara 1,47 dan 1,52. Zeolit memiliki daya serap air sebesar 45,0 hingga 75,0 ml/100 g. Stabilitas termal dapat dicapai pada tahap yang diinginkan dengan mereduksi kandungan Al atau mempertahankan rasio Si/Al yang lebih tinggi [3].

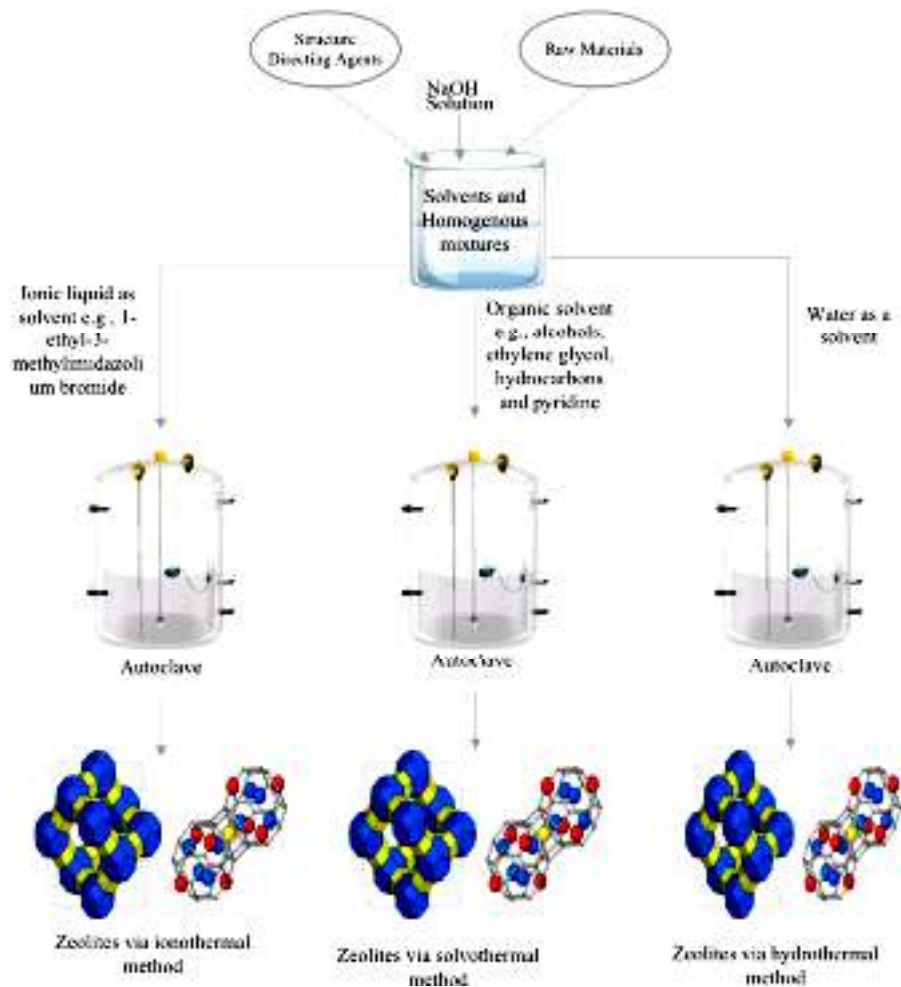
Seiring dengan perkembangan katalis dalam berbagai penggunaan dan reaksi kimia, banyak metode sintesis zeolit sintetis yang telah dihasilkan. Banyaknya metode ini disebabkan oleh perbedaan sifat dasar kimia dan fisika dari material dasar zeolit dan kondisi penggunaannya. Beberapa metode sintesis meliputi sol-gel, hidrotermal, alkali-*fusion* dan lain sebagainya. Berbagai metode sintesis zeolit serta kelebihan ditunjukkan pada tabel 2. Sehingga dalam merencanakan mensintesis zeolit harus menggunakan metode yang tepat. Keberhasilan dalam pemilihan metode dibuktikan dengan hasil karakterisasi.

Tabel 2. Perbandingan Metode Sintesis Zeolit

Metode sintesis	Struktur Zeolit	Rasio Si/Al	Kelebihan metode	Ref
Sol-Gel	MCM-22 Zeolite	26	Metode yang serbaguna, konsumsi energi yang rendah, dan tidak memerlukan peralatan khusus dan mahal.	[18]
	MCM-22	36 dan 16		

Hydrothermal	Zeolite X Zeolite Y	2,93 dan 1,13 15	Reaktivitas tinggi, rendah polusi, rendah konsumsi energi, dan menghasilkan kristal dengan kualitas baik	[19]
Alkali-fusion	NaY Zeolite Zeolite A	2,5 0,5 – 3,2	Mampu menghasilkan zeolit anhidrat kualitas baik dari bahan baku mentah kualitas rendah	[20]
Solvothermal	ZSM-22	91,4	Dapat dengan mudah mengontrol ukuran partikel, distribusi bentuk, dan komposisi kristal	[21]
Alkali leaching	A-X Zeolite	2,1	Dapat menggunakan bahan baku yang tidak murni, namun tetap dapat menghasilkan produk yang cukup.	[3]
Ultrasound Energy method	Zeolite A LTA type Zeolite	5	Simpel, reaksinya cepat, tidak memerlukan fasilitas yang kompleks, laju pertumbuhan kristal yang tinggi, distribusi ukuran partikel dan morfologi yang seragam, dan laju nukleasinya dapat dikontrol	[22]
Microwave	NaY Zeolite Zeolite Beta	10 dan 25	Reaksinya cepat, pemanasan yang selektif, dan temperatur tinggi	[23]
Ionothermal	NaY Zeolite	17	Produksi kristal yang besar dan komposisi kristalnya dapat dikendalikan dengan mudah	[24]

Zeolit sintetis jenis A, zeolit P, zeolit X dan zeolit Y berbeda terutama karena kandungan aluminium (sebagai alumina) dapat mempengaruhi struktur kristal dan selektivitas pertukaran ion dari molekul zeolit. Umumnya kapasitas pertukaran ion serta laju disolusi meningkat dengan meningkatnya kandungan alumina serta kandungan natrium. Selain itu zeolit dapat terhidrolisis pada pH yang lebih rendah (di bawah 4), sehingga struktur kristalnya dapat rusak dengan melepaskan ion natrium, asam silikat, dan garam aluminium. Namun, suspensi berair zeolit ditemukan berada di daerah basa (pada pH 10-10,5). Zeolit A terdiri dari sangkar sodalit yang dihubungkan dengan kristal ganda berbentuk kubus 4 cincin. Zeolit tipe P memiliki karakteristik unik yang termasuk dalam keluarga gismondin. Zeolit jenis X dan Y termasuk dalam keluarga struktur tipe faujasit (FAU). Berbeda dengan zeolit tipe X, Y memiliki rasio Si/Al lebih tinggi > 1-1,5. Namun, zeolit ini lebih bulat. Mereka memiliki blok bangunan kuboktahedron yang terkait dengan struktur faujasite melalui prisma heksagonal. Mereka memiliki diameter pori yang lebih besar (~0.74 nm) dan luas permukaan yang tinggi. Oleh karena itu, mereka mampu menukar lebih banyak ion seperti kalsium dan magnesium. Kesemuanya memiliki berbagai aplikasi dalam industri [3]. Salah satu metode sintesis zeolit dapat dilihat gambar berikut:



Gambar 3. Sintesis Zeolit Dengan Metode Ionotermal, Solvotermal Dan Hidrotermal [3]

Zeolit memiliki muatan struktural bersih negatif seperti *clay* yang dapat menggantikan kation dari kisi kristal. Karena muatan negatif ini, zeolit memiliki sedikit atau tidak ada afinitas untuk spesies anionik. Pertukaran ion amina kuaterner dan kation struktural tambahan (yaitu, Na, Ca, K) pada permukaan luar zeolit dapat menetralkan muatan negatif tetapi tidak boleh membalikkannya. Oleh karena itu, sedikit atau tidak ada afinitas penyerapan telah dilaporkan untuk pertukaran anion oleh zeolit.

Meskipun banyak penelitian telah dilakukan dalam penyisihan kation, namun masih perlu penelitian lebih lanjut untuk menggali informasi lebih lanjut tentang mekanisme aksi dan perlu menyiapkan zeolit sintesis yang lebih cocok dengan kemampuan pertukaran ion yang lebih tinggi. Modifikasi permukaan zeolit menggunakan surfaktan yang berbeda dapat meningkatkan sifat adsorpsi zeolit secara signifikan. Baru-baru ini, zeolit Y termodifikasi disintesis dari bentonit oleh surfaktan heksadesiltrimetil amonium bromida dan diuji untuk menghilangkan kontaminan organik dari air limbah pabrik olefin. Hasilnya ternyata menunjukkan fakta bahwa zeolit dapat menghilangkan 89% kandungan organik dari air limbah industri [3].

C. Modifikasi Katalis Zeolit

Modifikasi katalis dilakukan dengan cara mendispersikan bahan aktif dalam pembawa zeolit. Banyak metode yang dapat digunakan untuk mendispersikan logam aktif dalam penyangga. Metode yang paling umum adalah impregnasi, injeksi katalis logam ke dalam rongga pendukung, pertukaran ion, kopresipitasi, dan deposisi. Dispersi komponen aktif pada zeolit adalah salah satu alternatif yang meningkatkan kinerja

dan mengatasi kekurangan katalis logam murni. Kekurangan katalis logam murni biasanya stabilitas termal yang buruk, luas permukaan berkurang, menggumpal saat dipanaskan, dan harganya mahal. Dimana logam yang diresap kedalam padatan zeolit dapat membuat logam menjadi katalis bifungsional [25].

Penelitian sebelumnya telah mensintesis katalis dengan mengikat logam Sn dan Pd ke SiO_2 dan Al_2O_3 dalam pelarut yang berbeda. Studi lain juga mensintesis Sn-beta dan Sn-MCM 41, yang digunakan untuk isomerisasi glukosa menjadi fruktosa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa katalis Sn-beta memiliki aktivitas katalitik 80% dan selektivitas 30%, sedangkan katalis Sn-MCM 41 memiliki aktivitas katalitik 31% dan selektivitas 41% [26].

Mengacu pada penelitian sebelumnya, dalam penelitian yang dilakukan oleh [26] katalis bifungsional dibuat dengan impregnasi logam tertanam dalam padatan zeolit. Zeolit yang digunakan adalah zeolit alam yang berasal dari daerah Turen Malang Selatan dan logam yang terimpregnasi adalah Sn mengingat Sn dapat digunakan sebagai katalis aktif dalam reaksi isomerisasi glukosa menjadi fruktosa [27]. Proses pembuatan dan modifikasi katalis zeolit alam Malang bersifat bifungsional dengan sifat yang sangat baik (keasaman dan kristalinitas yang tepat) dan selektif sebagai katalis aktif dalam isomerisasi glukosa menjadi fruktosa [25].

Menurut [28] proses modifikasi katalis dilakukan dengan proses perendaman partikel zeolit dari pacitan dalam larutan kalium hidroksida dengan berbagai konsentrasi. Dengan perbandingan massa antara zeolit dan larutan KOH adalah 1:4. Dan dilakukan proses impregnasi zeolit dengan larutan KOH. Katalis termodifikasi yang tertahan pada kertas saring kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 24 jam untuk menghilangkan uap air. [29]. Modifikasi katalitik dilakukan untuk memaksimalkan kinerja katalitik zeolit alam. Dimana keberhasilan modifikasi, zeolit dapat dikarakterisasi menggunakan *Surface Area Analyzer* (SAA), *Temperature Program Desorption* (TPD), dan *X-Ray Diffraction* (XRD) dengan mengkonfirmasi reaksi esterifikasi senyawa monogliserida [30]. Metode preparasi katalis berbasis zeolit telah banyak dilakukan dengan memvariasikan komponen aktif dan material pendukung zeolite seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Metode Preparasi

Metode Preparasi	Jenis Zeolit	Komponen Aktif	Kelebihan metode	Ref
Presipitasi	Zeolite Y	La	Dapat mendispersi logam dengan baik.	[31]
Impregnasi	HZSM-5	Pt, Pd, Au	Menghasilkan jumlah produk katalis lebih banyak	[32]
Sol-Gel	Zeolite-4A	TiO ₂	Katalis yang di gunakan dapat digunakan kembali serta menunjukkan permukaan yang stabil dari bahan yang digunakan.	[33]
Pertukaran Ion	Zeolit Alam	Zr ⁴⁺ , H	Mengembangkan zeolit pada suatu logam sehingga menghasilkan aktivitas dan selektivitas tinggi.	[34]
Adsorpsi	Zeolite ETS-2	Cu, Mn, Mo	Memiliki rasio permukaan-volume yang tinggi yang merupakan salah satu faktor terpenting dalam adsorpsi.	[35]
Dekomposisi-Presipitasi	HZSM-5 Zeolite	Ni	Menyediakan dispersi serta pemuatan logam yang tinggi	[36]

Plasma	β - Zeolite	Ni	Menyediakan dispersi yang tinggi sehingga meningkatkan laju reaksi pembentukan produk	[37]
Mikro Emulsi	H- Zeolite	Surfaktan CTAB	Menghilangkan pengotor organik, memperbesar ukuran pori, dan memperluas permukaan.	[38]
Pembakaran	H5NZA	Si	Dapat meningkatkan aktivitas dan selektivitas katalis	[39]
Elektro-spinning	Zeolite Y	polivinilpirolidon	Memberikan fleksibilitas dan control terhadap morfologi katalis yang terbentuk.	[40]
Impregnasi	Zeolite Y	BaO	Dapat menurunkan intensitas dengan semakin bertambahnya oksida logam.	[41]

D. Penggunaan Katalis Zeolit Dalam Berbagai Proses

Zeolit merupakan katalis heterogen yang banyak digunakan dalam berbagai bidang serta memiliki banyak keuntungan. Zeolit banyak digunakan sebagai katalis dalam industri penyulingan minyak dan petrokimia untuk diesel dan reformasi bensin, pemecahan katalitik fasa cair, hidroisomerisasi senyawa hidrokarbon [42], produksi etilbenzena dan kumena [43], oligomerisasi olefin, isomerisasi xilena, pemrosesan hidro minyak pelumas dan produksi olefin ringan [44]. Zeolit dikenal sebagai bahan mikropori yang banyak digunakan sebagai katalis dalam industri petrokimia karena luas permukaannya yang besar, selektivitas bentuk, dan keasaman yang dapat dikontrol [10], ukuran pori, keasaman dan dimensi zeolit mempengaruhi aktivitas serta selektivitas dalam transformasi senyawa organik. Zeolit berukuran nano menunjukkan aktivitas katalitik yang lebih tinggi daripada zeolit berukuran normal karena zeolit berukuran nano memiliki situs aktif yang lebih banyak. Selain itu, dapat meningkatkan selektivitas beberapa reaksi dan dapat mencegah pembentukan kokas sehingga umur katalis bertahan lebih lama karena lebih sedikit batasan difusi reaktan dan produk dalam kristal kecil [45].

Salah satu aplikasi katalis zeolit yaitu dalam pembuatan biodiesel (bahan bakar) yang berasal dari energi terbarukan [1]. Pembuatan biodiesel umumnya menggunakan katalis homogen asam dan basa. Pengaplikasian katalis homogen ini memiliki beberapa kelemahan yaitu mengakibatkan adanya permasalahan pada produk yang dihasilkan, yaitu produk masih mengandung katalis yang artinya harus dilakukan separasi lagi dan menimbulkan reaksi samping yaitu reaksi penyabunan sehingga mempengaruhi proses pembuatan biodiesel [46]. Berdasarkan hal tersebut peneliti melakukan inovasi terbaru yaitu pembuatan biodiesel menggunakan katalis heterogen yaitu zeolit alam. Katalis heterogen mempunyai keunggulan dari katalis homogen yaitu proses esterifikasi asam lemak bebas yang terkandung di dalam minyak goreng bekas dapat dilakukan sekaligus dengan reaksi transesterifikasi trigliserida, sehingga akan memudahkan separasi katalis dari produk. Hal inilah yang merupakan keuntungan penggunaan katalis zeolit pada pembuatan biodiesel. Tabel 4 menunjukkan beberapa contoh penggunaan katalis zeolit dalam berbagai proses serta produk yang dihasilkan.

Tabel 4. Penggunaan katalis Zeolit dalam berbagai proses

Proses	Jenis Zeolit	Produk	Ref
--------	--------------	--------	-----

Alkylation of aromatics	ZSM-5 dan Mordenite	Etilbenzena (EB), dietilbenzena (DEB) dan toluene	[43]
Cracking	ZSM-5	BioFuel	[47]
Trans-Alkylation	Mordenite	isopropil benzena (kumena) dan diisopropil benzene	[48]
Hydro-Cracking	Zeolite Y	Kreosene(minyak tanah)	[49]
Hydro- isomerization	Mordenite with Pt-Ni	n-Hexane	[50]
Xylene-isomerization	ZSM-5	p-xylene	[51]

KESIMPULAN

Zeolit merupakan material hasil isolasi dari bahan alam serta hasil sintesis dan modifikasi dari bahan alamnya yang telah banyak digunakan dan dikembangkan sebagai katalis heterogen dalam berbagai reaksi seperti pada reaksi pembuatan biodiesel, isomerisasi, cracking, maupun polimerisasi senyawa kimia, dimana katalis zeolit ini lebih unggul dari katalis lainnya karena katalis ini murah dan mudah untuk didapatkan. Beberapa jenis zeolit alam seperti ferriete, Philipsite, dan mordenite dapat diisolasi dari beberapa sumber seperti abu vulkanik, pasir dan batuan, sekam padi, hingga limbah organik industri. Sintesis zeolit terdiri dari beberapa metode antara lain metode sol-gel, hidrotermal, ionotermal, dan alkali-*fusion*. Modifikasi katalis zeolit dapat dilakukan dengan cara mendispersikan bahan aktif dalam material pendukung zeolit dengan metode seperti impregnasi, adsorpsi, pertukaran ion, plasma dan pembakaran. Berbagai produk telah dihasilkan dari reaksi dengan menggunakan katalis zeolit dimana salah satunya adalah biodiesel yang merupakan produk hasil cracking minyak nabati dengan menggunakan katalis zeolit jenis ZSM-5.

REFERENSI

- [1] I. Aziz, S. Nurbayti, and A. Rahman, "Penggunaan Zeolit Alam sebagai Katalis dalam Pembuatan Biodiesel," *J. Kim. Val.*, vol. 2, no. 4, 2012, doi: 10.15408/jkv.v2i4.268.
- [2] A. T. Saputra, M. A. Wicaksono, and I. Irsan, "Pemanfaatan Minyak Goreng Bekas untuk Pembuatan Biodiesel Menggunakan Katalis Zeolit Alat Teraktivasi," *J. Chemurg.*, vol. 1, no. 2, p. 1, 2018, doi: 10.30872/cmng.v1i2.1138.
- [3] A. Khaleque *et al.*, "Zeolite synthesis from low-cost materials and environmental applications: A review," *Environ. Adv.*, vol. 2, no. October, 2020, doi: 10.1016/j.envadv.2020.100019.
- [4] Setiadi, D. Yanes, and F. R. Melisa, "Pemanfaatan Zeolit Alam sebagai Komponen Penyangga Katalis untuk Reaksi Setiadi , Yanes Darmawan , R . Melisa Fitria Departemen Teknik Kimia , Fakultas Teknik , Universitas Indonesia Reaksi Hidrogenasi CO 2 Salah satu alternatif pemanfaatan CO 2 saat ini," vol. 6, no. 1, pp. 24–31, 2018.
- [5] A. Awaluddin, ' S., S. Nelvia, and ' W., "Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Produksi Biodiesel dari Minyak Sawit Mentah Menggunakan Katalis Padat Kalsium Karbonat yang Dipijarkan," *J. Natur Indones.*, vol. 11, no. 2, p. 129, 2012, doi: 10.31258/jnat.11.2.129-134.
- [6] R. I. Kusuma, J. P. Hadinoto, A. Ayucitra, F. E. Soetaredjo, and S. Ismadji, "Natural zeolite from Pacitan Indonesia, as catalyst support for transesterification of palm oil," *Appl. Clay Sci.*, vol. 74, pp. 121–126, 2013, doi: 10.1016/j.clay.2012.04.021.
- [7] R. N. Yanti, E. Hambali, G. Pari, and A. Suryani, "Analisis Karakteristik Fungsi Zeolit Alam Aktif Sebagai Katalis Setelah Diimpregnasi Logam Nikel," *J. Penelit. Has. Hutan*, vol. 39, no. 3, pp. 138–

- 147, 2021, doi: 10.20886/jphh.2021.39.3.138-147.
- [8] E. Catizzone, M. Migliori, A. Aloise, R. Lamberti, and G. Giordano, "Hierarchical low si/al ratio ferrierite zeolite by sequential postsynthesis treatment: Catalytic assessment in dehydration reaction of methanol," *J. Chem.*, vol. 2019, 2019, doi: 10.1155/2019/3084356.
- [9] W. Patcharin, K. Sriamporn, and A. Kanokkan, "Utilization biomass from bagasse ash for phillipsite zeolite synthesis," *Adv. Mater. Res.*, vol. 383–390, pp. 4038–4042, 2012, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.383-390.4038.
- [10] A. N. Rahbari, Z.V., Khosravan, M., Kharat, "Dealumination of mordenite zeolite and its catalytic performance evaluation in," *Bull. Chem. Soc. Ethiop*, vol. 31, no. 2, pp. 281–289, 2017.
- [11] S. N. Azizi and M. Yousefpour, "Isomorphous substitution of iron and nickel into analcime zeolite," *Zeitschrift fur Anorg. und Allg. Chemie*, vol. 637, no. 6, pp. 759–765, 2011, doi: 10.1002/zaac.201100059.
- [12] E. Estrada-Cabrera, L. R. Torres-Ferrer, G. Luna-Barcenas, and R. Ramirez-Bon, "Cellulose dialysis membrane containing raw clinoptilolite enhances the removal of Rhodamine 6G from aqueous solutions," *Microporous Mesoporous Mater.*, vol. 321, no. February, p. 111113, 2021, doi: 10.1016/j.micromeso.2021.111113.
- [13] J. R. Di Iorio and R. Gounder, "Controlling the Isolation and Pairing of Aluminum in Chabazite Zeolites Using Mixtures of Organic and Inorganic Structure-Directing Agents," *Chem. Mater.*, vol. 28, no. 7, pp. 2236–2247, 2016, doi: 10.1021/acs.chemmater.6b00181.
- [14] H. Ye *et al.*, "Milletia pachycarpa exhibits anti-inflammatory activity through the suppression of LPS-induced NO/iNOS expression," *Am. J. Chin. Med.*, vol. 42, no. 4, pp. 949–965, 2014, doi: 10.1142/S0192415X14500608.
- [15] N. Mansouri, N. Rikhtegar, H. Ahmad Panahi, F. Atabi, and B. K. Shahraki, "Porosity, characterization and structural properties of natural zeolite - Clinoptilolite - As a sorbent," *Environ. Prot. Eng.*, vol. 39, no. 1, pp. 139–152, 2013, doi: 10.5277/EPE130111.
- [16] Darmansyah, S. B. Ginting, D. A. Iryani, R. P. Sari, and D. Supriyadi, "Characterization of Modified Lampung Natural Zeolite with Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide (CTAB) for Adsorption Industrial Tapioca Wastewater," *Proc. Int. Conf. Sustain. Biomass (ICSB 2019)*, vol. 202, no. Icsb 2019, pp. 230–235, 2021, doi: 10.2991/aer.k.210603.041.
- [17] I. Petrov and T. Michalev, "Synthesis of Zeolite A: A Review," *Scientific Works Of The University Of Ruse (Proceedings - Chem. Technol.*, no. 51, Book 9.1, pp. 30–35, 2012, [Online]. Available: <http://conf.uni-ruse.bg/bg/docs/cp12/9.1/9.1-5.pdf>.
- [18] M. Tsujiguchi, T. Kobashi, M. Oki, Y. Utsumi, N. Kakimori, and A. Nakahira, "Synthesis and characterization of zeolite A from crushed particles of aluminoborosilicate glass used in LCD panels," *J. Asian Ceram. Soc.*, vol. 2, no. 1, pp. 27–32, 2014, doi: 10.1016/j.jascer.2013.12.005.
- [19] Y. Ma, C. Yan, A. Alshameri, X. Qiu, C. Zhou, and D. Li, "Synthesis and characterization of 13X zeolite from low-grade natural kaolin," *Adv. Powder Technol.*, vol. 25, no. 2, pp. 495–499, 2014, doi: 10.1016/j.appt.2013.08.002.
- [20] J. C. Kim *et al.*, "Synthesis of uniform-sized zeolite from windshield waste," *Mater. Chem. Phys.*, vol. 166, pp. 20–25, 2015, doi: 10.1016/j.matchemphys.2015.09.028.
- [21] A. K. Jamil, O. Muraza, and A. M. Al-Amer, "Microwave-assisted solvothermal synthesis of ZSM-22 zeolite with controllable crystal lengths," *Particuology*, vol. 24, pp. 138–141, 2016, doi: 10.1016/j.partic.2015.09.002.
- [22] L. Huang *et al.*, "Hierarchical ZSM-5 zeolite synthesized by an ultrasound-assisted method as a long-life catalyst for dehydration of glycerol to acrolein," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 55, no. 27, pp. 7318–7327, 2016, doi: 10.1021/acs.iecr.6b01140.
- [23] K. Bunmai *et al.*, "Extraction of silica from cogon grass and utilization for synthesis of zeolite NaY

- by conventional and microwave-assisted hydrothermal methods,” *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 83, pp. 152–158, 2018, doi: 10.1016/j.jtice.2017.11.024.
- [24] M. G. Lee, J. W. Park, S. K. Kam, and C. H. Lee, “Synthesis of Na-A zeolite from Jeju Island scoria using fusion/hydrothermal method,” *Chemosphere*, vol. 207, pp. 203–208, 2018, doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.05.080.
- [25] A. Erlynata, S. Amalia, T. K. Adi, and S. N. Khalifah, “Pemanfaatan zeolit alam, h-zeolit alam dan ti-h-zeolit alam malang sebagai katalis reaksi isomerisasi glukosa,” *Alchemy*, vol. 3, no. 1, 2014, doi: 10.18860/al.v0i0.2898.
- [26] N. O. Erlina, S. Amalia, and S. N. Khalifah, “Preparasi, modifikasi dan karakterisasi katalis bifungsional sn-h-zeolit alam malang,” *Alchemy*, vol. 2, no. 3, 2013, doi: 10.18860/al.v0i0.2888.
- [27] M. Yuniwati and A. A. Karim, “Kinetika Reaksi Pembuatan Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas (Jelantah) dan Metanol dengan Katalisator KOH,” *J. Teknol.*, vol. 2 (2), pp. 130–136, 2009.
- [28] R. I. Kusuma, J. Hadinoto, A. Ayucitra, and S. Ismadji, “Pemanfaatan zeolit alam sebagai katalis murah dalam proses pembuatan biodiesel dari minyak kelapa sawit,” *Semin. Nas. Fundam. dan Apl. Tek. Kim. 2011*, pp. 1–8, 2012.
- [29] S. Ulfayana, S. Bahri, and Z. Helwani, “Pemanfaatan zeolit alam sebagai katalis pada tahap transesterifikasi pembuatan biodiesel dari sawit off grade,” *Jom FTEKNIK*, vol. 1, no. 2, pp. 1–12, 2014.
- [30] R. A. Fauzi, “Modifikasi katalis berbasis hierarchical zeolite untuk reaksi esterifikasi dalam pembuatan surfaktan berbasis gliserol,” pp. 1–74, 2019.
- [31] S. Oruji, R. Khoshbin, and R. Karimzadeh, “Combination of precipitation and ultrasound irradiation methods for preparation of lanthanum-modified Y zeolite nano-catalysts used in catalytic cracking of bulky hydrocarbons,” *Mater. Chem. Phys.*, vol. 230, no. March, pp. 131–144, 2019, doi: 10.1016/j.matchemphys.2019.03.038.
- [32] N. Haryani, H. Harahap, Taslim, and Irvan, “Biogasoline production via catalytic cracking process using zeolite and zeolite catalyst modified with metals: A review,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 801, no. 1, pp. 0–10, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/801/1/012051.
- [33] R. Nagarjuna, S. Roy, and R. Ganesan, “Polymerizable sol-gel precursor mediated synthesis of TiO₂ supported zeolite-4A and its photodegradation of methylene blue,” *Microporous Mesoporous Mater.*, vol. 211, pp. 1–8, 2015, doi: 10.1016/j.micromeso.2015.02.044.
- [34] F. Mudhofir, I. Yulianti1, and Sujarwata, “Modifikasi Zeolit Alam dan Uji Aktivitas Katalitiknya pada Reaksi Asetilasi 1,3- Dihidroksibenzena A,” *J. MIPA*, vol. 41, no. 1, pp. 1–5, 2018, [Online]. Available: <https://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/JM/article/view/15813>.
- [35] M. Ozekmekci, G. Salkic, and M. F. Fellah, “Use of zeolites for the removal of H₂S: A mini-review,” *Fuel Process. Technol.*, vol. 139, pp. 49–60, 2015, doi: 10.1016/j.fuproc.2015.08.015.
- [36] B.-H. Chen *et al.*, “Towards a full understanding of the nature of Ni(II) species and hydroxyl groups over highly siliceous HZSM-5 zeolite supported nickel catalysts prepared by a deposition–precipitation method,” *Dalt. Trans.*, vol. 45, no. 6, pp. 2720–2739, 2016, doi: 10.1039/C4DT00399C.
- [37] E. Jwa, S. B. Lee, H. W. Lee, and Y. S. Mok, “Plasma-assisted catalytic methanation of CO and CO₂ over Ni-zeolite catalysts,” *Fuel Process. Technol.*, vol. 108, pp. 89–93, 2013, doi: 10.1016/j.fuproc.2012.03.008.
- [38] A. Komariah, S. Sriatun, and P. Pardoyo, “Adsorpsi Alkil Benzene Sulfonat Menggunakan Zeolit Termodifikasi Cetyltrimethylammonium,” *J. Kim. Sains dan Apl.*, vol. 20, no. 1, pp. 13–18, 2017, doi: 10.14710/jksa.20.1.13-18.
- [39] K. Aprillia, “Digital Digital Repository Repository Universitas Universitas Jember Jember Digital Digital Repository Repository Universitas Universitas Jember Jember,” pp. 1–45, 2016.
- [40] S. F. Anis and R. Hashaikah, “Electrospun zeolite-Y fibers: Fabrication and morphology analysis,”

- Microporous Mesoporous Mater.*, vol. 233, pp. 78–86, 2016, doi: 10.1016/j.micromeso.2015.11.022.
- [41] D. Anwaristiawan and N. Widiarti, “Modifikasi Katalis BaO/Zeolit Y pada Reaksi Transesterifikasi Minyak Biji Jarak (*Jatropha Curcas* L.) menjadi Biodiesel,” *Indones. J. Chem. Sci.*, vol. 7, no. 3, pp. 292–298, 2018.
- [42] U. A. Al-Rawi *et al.*, “Catalytic activity of Pt loaded zeolites for hydroisomerization of n-hexane using supercritical CO₂,” *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 59, no. 51, pp. 22092–22106, 2020, doi: 10.1021/acs.iecr.0c05184.
- [43] T. Odedairo and S. Al-Khattaf, “Comparative study of zeolite catalyzed alkylation of benzene with alcohols of different chain length: H-ZSM-5 versus mordenite,” *Catal. Today*, vol. 204, pp. 73–84, 2013, doi: 10.1016/j.cattod.2012.05.052.
- [44] E. Buzetzi, K. Sidorová, Z. Cvengrošová, A. Kaszonyi, and J. Cvengroš, “The influence of zeolite catalysts on the products of rapeseed oil cracking,” *Fuel Process. Technol.*, vol. 92, no. 8, pp. 1623–1631, 2011, doi: 10.1016/j.fuproc.2011.04.009.
- [45] X. Mu, D. Wang, Y. Wang, M. Lin, S. Cheng, and X. Shu, “Nanosized molecular sieves as petroleum refining and petrochemical catalysts,” *Cuihua Xuebao/Chinese J. Catal.*, vol. 34, no. 1, pp. 69–79, 2013, doi: 10.1016/s1872-2067(11)60462-2.
- [46] N. Musyoka and L. Petrik, “Novel zeolite Na-X synthesized from fly ash as a heterogeneous catalyst in biodiesel production,” 2012.
- [47] R. Tambun, R. P. Saptawaldi, M. A. Nasution, and O. N. Gusti, “Pembuatan Biofuel dari Palm Stearin dengan Proses Perengkahan Katalitik Menggunakan Katalis ZSM-5,” *J. Rekayasa Kim. Lingkungan*, vol. 11, no. 1, pp. 46–52, Jun. 2016, doi: 10.23955/rkl.v11i1.4902.
- [48] Y. K. Vyawahare, V. R. Chumbhale, and A. S. Aswar, “Alkylation of benzene to cumene over mor zeolite catalysts,” *Rev. Roum. Chim.*, vol. 57, no. 2, pp. 107–113, 2012.
- [49] K. P. De Jong *et al.*, “Zeolite y crystals with trimodal porosity as ideal hydrocracking catalysts,” *Angew. Chemie - Int. Ed.*, vol. 49, no. 52, pp. 10074–10078, 2010, doi: 10.1002/anie.201004360.
- [50] G. S. V. Martins, E. R. F. dos Santos, M. G. F. Rodrigues, G. Pecchi, C. M. N. Yoshioka, and D. Cardoso, “N-Hexane Isomerization on Ni-Pt/Catalysts Supported on Mordenite,” *Mod. Res. Catal.*, vol. 02, no. 04, pp. 119–126, 2013, doi: 10.4236/mrc.2013.24017.
- [51] Y. Liu *et al.*, “Improved para-Xylene Selectivity in meta-Xylene Isomerization Over ZSM-5 Crystals with Relatively Long b-Axis Length,” *ChemCatChem*, vol. 5, no. 6, pp. 1517–1523, 2013, doi: 10.1002/cctc.201200691.