

DISERTASI

**LIKUIFAKSI BATUBARA LIGNIT DENGAN PELARUT
BIFUNGSIONAL DAN KATALIS PERENGGAHAN GANDA
MENGHASILKAN BENSIN**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Doktor Bidang Kajian Utama Teknik Kimia



**AMBO INTANG
NIM. 03013682126015**

**PROGRAM DOKTOR ILMU TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2024**

RINGKASAN

LIKUIFAKSI BATUBARA LIGNIT DENGAN PELARUT BIFUNGSIONAL DAN KATALIS PERENKAHAN GANDA MENGHASILKAN BENSIN

Karya Tulis Ilmiah berupa Disertasi, 21 Agustus 2024

Ambo Intang, M. Djoni Bustan dan Sri Haryati.

Liquefaction of Lignite Coal with Bifunctional Solvent and Couple Cracking Catalyst to Produce Gasoline

xxix + 239 halaman, 101 gambar, 19 tabel

Teknik pencairan batubara yang digunakan pada penelitian ini adalah pencairan langsung turunan pelarut menjadi produk hasil DCL (*Direct liquefaction of solvent derivatives into DCL yield product*) yang merupakan analogi dari penggabungan proses *solvent extraction* dan *catalytic liquefaction*). Metode ini mampu menyelesaikan masalah teknologi pengolahan batubara tingkat rendah (lignit) menjadi bahan bakar cair dengan menggunakan bahan dan material yang tersedia di pasaran dan lingkungan sekitar. Penelitian ini memodifikasi Natural Zeolit Lampung (NZL) dengan metode sintesis swelling solvent menjadi Zeolit hirarkis melalui proses dealuminasi dan desilikasi sekaligus, yang diikuti dengan tereduksinya senyawa logam alkali dan alkali tanah dalam zeolite yang menghambat aktivasi katalis, kemudian diimpregnasi dengan logam transisi dan logam alkali yang menghasilkan katalis zeolite yang aktif yang mampu bekerja efektif pada temperatur rendah dan tinggi dan tidak mudah untuk terjadinya deaktivasi katalis karena keasaman lewis dan bronsted yang saling menguatkan, hal ini diketahui dari hasil karakterisasi katalis melalui analisis XRD, FTIR, SEM-EDX, BET, NH₃TPD, dan TGA. Solvent Bifungsional digunakan sebagai pelarut dalam penelitian ini, dengan memperhatikan kenon-polaran dan kepolaran solvent pada saat proses DCL. Metode ini mampu beroperasi pada suhu rendah, tekanan rendah, yang didukung oleh waktu proses, rasio katalis batubara yang tepat serta pada volume solvent yang tetap. Pada operasi DCL dengan volume solvent 100 ml, suhu 147 °C dan pada tekanan atmosfer dengan variasi waktu operasi 30, 40, 50, 60 dan 70 menit, serta variasi massa batubara 1, 2, dan 3gr terhadap variasi massa katalis 0.1, 0.2, dan 0.3 gr sehingga didapatkan rasio katalis batubara pada masing-masing massa batubara; 1gr (R10, R20, R30), 2gr (R5, R10, R15) dan 3gr (R3.33, R6.66, R10) dan terjadi 45 proses. Penelitian ini menghasilkan produk DCL dengan berpatokan gugus PONA atau gugus Alifatik dan Aromatik pada hasil spectra FTIR solven bifungsional dan komposisi bensin yang ditentukan oleh analisis GC-MS. Pada R6.66 di waktu operasi proses 60 menit gugus alifatik jauh lebih rendah dari gugus alifatik solven bifungsional dan bensin sebaliknya gugus aromatik jauh lebih tinggi dari bensin apalagi dengan solven bifungsional. Pada R3.33 dan R10 di waktu operasi proses 60 menit gugus alifatik lebih rendah dari gugus alifatik solven bifungsional dan bensin sebaliknya gugus aromatik mendekati bensin dan lebih tinggi dari solven bifungsional. Terdapat beberapa proses yang lain dengan gugus alifatik yang lebih rendah dan gugus aromatik lebih tinggi solvent bifungsional dan mendekati gugus bensin, yang terjadi pada proses 50 menit pada R3.33, proses 30 menit dan 70 menit pada R6.66, dan proses 30, 50 dan 70 menit pada R15.

Kata kunci : DCL, Natural Zeolit, Swelling Solvent, dealuminasi, desilikasi, sintesis zolit hirarkis.

Kepustakaan : 419 (1960-2024)

RINGKASAN

LIQUEFACTION OF LIGNITE COAL WITH BIFUNCTIONAL SOLVENT AND COUPLE CRACKING CATALYST TO PRODUCE GASOLINE

Scientific Paper in the form of Dissertation, August 21, 2024

Ambo Intang, M. Djoni Bustan dan Sri Haryati.

Pencairan Batubara Lignit dengan Pelarut Bifungsional dan Katalis Perengkahan Ganda Menghasilkan Bensin

xxix + 239 pages, 101 figures, 19 tables

The *coalliquefaction* technique used in this research is direct liquefaction of *solvent derivatives* into DCL *yield* product, which is an analogy of combining *solvent extraction* and *catalytic liquefaction* processes. This method is able to solve the technological problems of processing low-grade coal (lignite) into liquid fuels using materials and materials available in the market and the surrounding environment. This research modifies Natural Zeolite Lampung (NZL) with swelling solvent synthesis method into hierarchical zeolite through dealumination and desilication process at the same time, followed by the reduction of alkali and alkaline earth metal compounds in zeolite which inhibit catalyst activation, then impregnated with transition metals and alkali metals that produce active zeolite catalysts that are able to work effectively at low and high temperatures and are not easy to deactivate catalysts due to the acidity of Lewis and Bronsted which strengthen each other, this is known from the results of catalyst characterization through XRD, FTIR, SEM-EDX, BET, NH_3TPD , and TGA analysis. Bifunctional solvent was used as the solvent in this study, by considering the solvent's nonsolubility and polarity during the DCL process. This method is able to operate at low temperature, low pressure, which is supported by the process time, the right coal catalyst ratio and at a fixed solvent volume. In DCL operation with solvent volume of 100 ml, temperature of 147 °C and at atmospheric pressure with operating time variations of 30, 40, 50, 60 and 70 minutes, as well as coal mass variations of 1, 2, and 3gr against catalyst mass variations of 0.1, 0.2, and 0.3 gr so that the coal catalyst ratio is obtained for each coal mass; 1gr (R10, R20, R30), 2gr (R5, R10, R15) and 3gr (R3.33, R6.66, R10) and 45 processes occurred. This research produces DCL products based on PONA groups or Aliphatic and Aromatic groups on the results of FTIR spectra of bifunctional solvents and gasoline composition determined by GC-MS analysis. At R6.66 in the 60-minute process operating time, the aliphatic group is much lower than the aliphatic group of bifunctional solvent and gasoline, while the aromatic group is much higher than gasoline, especially with bifunctional solvent. At R3.33 and R10 in the process operating time of 60 minutes the aliphatic group is lower than the aliphatic group of bifunctional solvent and gasoline while the aromatic group is close to gasoline and higher than bifunctional solvent. There were several other processes with lower aliphatic groups and higher aromatic groups of bifunctional solvent and close to gasoline groups, which occurred in the 50-minute process at R3.33, 30-minute and 70-minute processes at R6.66, and 30, 50 and 70-minute processes at R15.

Keywords: DCL, Natural Zeolite, Swelling Solvent, dealumination, desilication, hierarchical zeolite synthesis.

Citations : 419 (1960-2024)

HALAMAN PENGESAHAN

LIKUIFAKSI BATUBARA LIGNIT DENGAN PELARUT BIFUNGSIONAL DAN KATALIS PERENKAHAN GANDA MENGHASILKAN BENSIN

DISERTASI

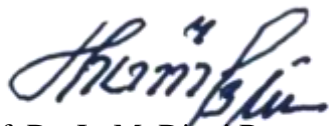
Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Doktor
Bidang Kajian Utama Teknik Kimia

Oleh :

AMBO INTANG
03013682126015

Promotor

Palembang, Agustus 2024
Ko-Promotor



Prof. Dr. Ir. M. Djoni Bustan, M.Eng, IPU
NIP. 195603071981031010



Prof. Dr. Ir. Sri Haryati, DEA, IPU
NIP. 195610241981032001

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik



Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM
NIP. 197502112003121002

Koordinator Program Studi
Doktor Ilmu Teknik



Prof. Dr. Ir. Sukman, M.T.
NIP. 195903211987031001

HALAMAN PERSETUJUAN

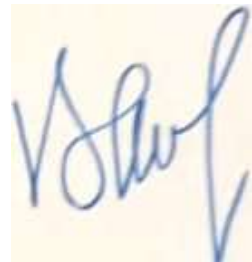
Karya tulis ilmiah berupa disertasi ini dengan judul “Likuiifikasi Batubara Lignit dengan Pelarut Bifungsional dan Katalis Perengkahan Ganda Menghasilkan Bensin” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji karya tulis ilmiah Program Doktor Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 21 Agustus 2024.

Palembang, 21 Agustus 2024

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Disertasi

Ketua :

1. Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM
NIP. 197502112003121002



Anggota :

2. Prof. Dr. Ir. Muhammad Said, M.Sc.
NIP. 196108121987031003
3. Prof. Ir. Erna Yuliwati, M.T., Ph.D., IPU., ASEAN. Eng. (NIDN. 0228076701
4. Prof. Dr. Yohandri Bow, S.T., M.S.
NIP. 197110231994031002



HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ambo Intang

NIM : 03013682126015

Judul : Likuifaksi Batubara Lignit dengan Pelarut Bifungsional dan Katalis
Perengkahan Ganda Menghasilkan Bensin

Menyatakan bahwa Disertasi saya merupakan hasil karya sendiri didampingi Promotor dan Ko-Promotor dan bukan hasil penjiplakan / plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan / plagiat dalam Disertasi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, 6 Agustus 2024



(Ambo Intang)

RIWAYAT HIDUP

Ambo Intang, Sungsang Banyuasin, 04 April 1975, anak dari ayah H. Beddu Hami dan Ibu Hj. Indo Masusungeng. Pendidikan SD sampai SMP di Makarti Jaya Banyuasin Sumsel dan SMA 4 di Kota Palembang lulus tahun 1995. Melanjutkan S1 Teknik Mesin Universitas Sriwijaya lulus tahun 2000. Tahun 2008 menempuh S2 Teknik Kimia BKU Teknologi Energi di Pps Universitas Sriwijaya lulus tahun 2011. Kemudian, pada tahun 2021 masuk di Program Doktor Ilmu Teknik Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Pengalaman kerja sebagai dosen PNS Dpk LLDIKTI Wilayah II pada Fakultas Teknik Universitas Tamansiswa Palembang dari tahun 2005 sampai sekarang.

Palembang, Agustus 2024

Penulis

HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmaanirrahiim...

Alhamdulillah Robbil'aalamiin..., tidak ada kekuatan dan kemampuan kecuali atas Ridha dan Rahmat Allah SWT, oleh karenanya Disertasi ini dapat diselesaikan dengan baik dan lancar sehingga bisa diselesaikan tepat waktu. Dengan demikian Disertasi ini juga kami persembahkan kepada:

Kedua orang tuaku yang kami junjung tinggi, Ambokku **H. Beddu Hami** (Almarhum) dan Indokku **Hj. Indo Massusngeng** semoga panjang umur dan dalam Ridha Allha SWT, terimakasih atas do'anya yang alhamdulillah tetap menyertai di setiap langkah Anandamu. Juga kepada Bapakku **H. Amirullah** dan Ibuku **Hj. Sri Naidu** (Almarhum), yang telah mempercayakan anaknya menjadi pendampingku, terimakasih atas do'a dan dukungannya selama ini.

Istriku **Eka Apriana, S.Si**, yang rela hanya menjadi ibu rumahtangga, padahal punya banyak peluang untuk berkarier, terimakasih telah mau berjuang bersama dari nol dan melahirkan anak-anakku, **Muhammad Mafaza** dan **Fatimah Dilara** semoga kalian menjadi gologan orang sholeh dan sholehah disisi Alah SWT, mohon maaf atas kurangnya waktu untuk kalian, semoga Ayah bisa menjadi kebanggan kalian.

Kepada adik-adikku, **Hj. Rugaya, H. Sulaeman** dan **Ambo Tuwo**, saya mohon maaf kepada keluarganya masing-masing bahwa sebagai kakak tidak mampu memotivasi adik-adiknya untuk bersekolah, semoga kalian Ridha atas capaian kakak mu ini.

Kepada Yuk **Desi Arisanti, S.K.M**, Kak **Jon Sukwan, S.T.**, Adinda **Dodi Firtiansyah, S.Kom., M.Kom.**, dan **Heny Yulianti, S.ST**, terimakasih atas do'a dan dukungannya.

Sumber inspirasi ku dua sejoli, **Prof. Dr. Ir . H. Muhammad Djoni Bustan, M.Eng.**, dan **Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA.**, atas bimbingannya dari S2 sampai dengan S3, begitu banyak bekal keilmuan dan bekal kehidupan, yang berbasis Ilahiyah yang kami dapat dan rasakan oleh karenanya kami sangat bersyukur atas takhdir yang baik ini, kami bersaksi bahwa kebanggaan kami dua sejoli ini adalah insan yang konsisten berdedikasi sebagai ilmuwan dan pendidik yang mumpuni, sangat berharap untuk bisa mengikuti jejakmu, semoga sukses fiddun'ya_wal'akhirat Guruku.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat, taufik dan hidayah hingga penulis dapat menyelesaikan disertasi ini. Disertasi ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Doktor pada Prodi Ilmu Teknik BKU Teknik Kimia Universitas Sriwijaya, Palembang. Judul yang diangkat dalam disertasi ini adalah *Likuifaksi Batubara Lignit dengan Pelarut Bifungsional dan Katalis Perengkahan Ganda Menghasilkan Bensin*, yang merupakan konsep baru dalam sistem Pencairan Batubara Langsung.

Penyusunan disertasi ini telah dibimbing dan diarahkan oleh promotor dan ko-promotor kami. Oleh karena itu kami mengucapkan terimakasih kepada :

1. Prof. Dr. Ir. M. Djoni Bustan, M.Eng,IPU selaku promotor,
2. Prof. Dr. Ir. Sri Haryati, DEA, IPU selaku Ko-Promotor.

Ucapan terimakasih terutama disampaikan kepada:

1. Prof. Dr. Taufiq Marwa, SE. M.Si, selaku Rektor Universitas Sriwijaya,
2. Prof. Dr. Iskhaq Iskandar, M.Sc., selaku Kepala LLDikti Wilayah II,
3. Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM, selaku Dekan FT. Universitas Sriwijaya,
4. Prof. Dr. Ir. Muhammad Said, M.Sc, selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Srwijaya,
5. Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T. Koordinator Program Studi Ilmu Teknik Program Doktor FT. Universitas Sriwijaya beserta Staf yang telah memberi kesempatan dan fasilitas untuk studi dan memberikan dukungan adimintratif yang baik;
6. Ki Yuli Rohbianto, M.Pd., selaku Ketua BPPTS Unitas Palembang dan Ki Dr. Azwar Agus, S.H.,M.Hum., selaku Rektor Universitas Tamansiswa Palembang yang mengijinkan untuk studi lanjut dan memberikan dukungan moril;
7. Para editor dan para reviewer South African Jurnal of Chemecal Engineering (SAJCE) yang telah membantu dalam penerbitan Publikasi Internasional Bereputasi Q1;
8. Laboran dan asisten Laboratorium Integrasi Energi dan Lingkungan Universitas Sriwijaya dan dari Jurusan Teknik Mesin Unitas Palembang (Bro Rusnadi, Bry Boni Junita, Bro Rahmat ES, Rangga, Bombom, Maria Agustina dll) yang telah membantu proses administrasi dan peralatan pendukung penelitian ;
9. Laboran dan operator Alat Laboratorium dari segenap mitra yang telah memberikan hasil analisis sampel penelitian;
10. Keluarga Hj.Indo Masusungeng (Ibu), H. Beddu Hami (Alm. Bapak), Eka Apriana, S.Si (Istri), Muhammad Mafaza dan Fatimah Dilara (anak kandung) sebagai sumber motifasi dan supporting nomor satu;
11. Rekan mahasiswa seperjuangan baik yang S1, S2 dan S3 dibawah naungan Bengkel Prof. Dr. Ir. H.M. Djoni Bustan, M.Eng,IPU Pasacasarjana Unsri Padang Selasa yang telah memberikan dukungan selama studi dan pengambilan data, ada Prahady Susmanto, Selviana, Lety, Qy Zu, Dino Dewantara, Valentino, Qy Cay, Mathius, Ismail Anwar, dll.
12. Para pihak yang juga telah membantu penyelesaian studi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan disertasi ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan masukan, koreksi dan saran untuk melengkapi kekurangan tersebut. Semoga disertasi ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu dan memberikan petunjuk untuk melakukan penelitian-penelitian berikutnya.



Palembang, Agustus 2024
Penulis

DAFTAR TUGAS / PERBAIKAN

UJIAN DISERTASI TERTUTUP

Tanggal 21 Agustus 2024

Nama : Ambo Intang
NIM : 03013682126015
BKU : Teknik Kimia
Judul : Likuifaksi Batubara Lignit dengan Pelarut Bifungsional dan Katalis Perengkahan Ganda Menghasilkan Bensin
Dosen Penguji : Prof. Dr. Ir. Muhammad Said, M.Sc.

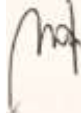
No	Tugas / Perbaikan	Hasil Koreksi	Paraf
1.	Tambahkan mekanisme reaksi DCL	Mekanisme reaksi sudah kami tambahkan di halaman: 14, 36, dan 51	
2.	Tambahkan komposisi alifatik dan aromatik dari bensin	Komposisi Alifatik dan Aromatik Bensin sudah kami tambahkan di halaman : 155,156, 165 , 175, 176, 177, 179, 181, 183, 194, 195 dan 201 Khusus di halaman 165 lengkap dengan tabulasi dan persentasenya	

DAFTAR TUGAS / PERBAIKAN

UJIAN DISERTASI TERTUTUP

Tanggal 21 Agustus 2024

Nama : Ambo Intang
NIM : 03013682126015
BKU : Teknik Kimia
Judul : Likuifaksi Batubara Lignit dengan Pelarut Bifungsional dan Katalis Perengkahan Ganda Menghasilkan Bensin
Dosen Penguji : Prof. Ir. Erna Yuliwati, M.T.,Ph.D.,IPU.,ASEAN.Eng.


No	Tugas / Perbaikan	Hasil Koreksi	Paraf
1.	Perbaiki Gambar yang kurang jelas, tata letak dalam manuskrip dan beberapa table yang penampilannya kecil dapat diperbesar.	Gambar yang kurang jelas, tata letak dalam manuskrip dan beberapa table yang penampilannya kecil dapat diperbesar sudah diperbaiki, pada halaman-halaman berikut ini: 97,98, 109, 110,114,115,116, 121,122, 138,139, 148,149, 150,152,153,156, 164, dan 165.	

DAFTAR TUGAS / PERBAIKAN

UJIAN DISERTASI TERTUTUP


Tanggal 21 Agustus 2024

Nama : Ambo Intang
NIM : 03013682126015
BKU : Teknik Kimia
Judul : Likuifaksi Batubara Lignit dengan Pelarut Bifungsional dan Katalis Perengkahan Ganda Menghasilkan Bensin
Dosen Penguji : Prof. Dr. Yohandri Bow, S.T., M.S.

No	Tugas / Perbaikan	Hasil Koreksi	Paraf
1.	Review jurnal Q1	<p>Reviewer #1:</p> <p>1. Revise the title as it is not clearly understandable about the topic Response: We have changed the title from "Analysis of Hierarchical Zeolite Synthesis Process of Lampung Natural Zeolite by Swelling Method" to "Determination of Swelling Operation Parameters to Improve the Hierarchy of Natural Zeolite Lampung after Synthesis".</p> <p>2. Highlights should be bullet points that capture the novel result of the research Response: The new Highlights section has explained the highlights of this article: The novelty contained in this article is obvious: with the selection of operating parameters, in this case, a short time and low process temperature with the use of suitable solvents, the dealumination and desilication processes in natural zeolite synthesis can be carried out in a one-time process with a low-pressure and low-rotation stirring mechanism as shown in the characterization results.</p> <p>3. Full form of NZL should be use instead of abbreviation in keywords Response: We have changed the keyword "NZL" to the keyword "Natural Zeolite Lampung".</p> <p>4. Spelling and grammar should be checked thoroughly. Response: Based on a thorough check of the spelling and grammar of this article, we realize that there are many flaws. Therefore, we have amended it; hopefully, it will be well received.</p> <p>5. Use the international system of units (SI)</p>	

		<p>Response: We have changed units that are not in accordance with the International System of Units (SI)</p> <p>6. The author should recheck the Fig 3. as it is not correct. The typical behaviour is for adsorption curve to lie below the desorption curve due to hysteresis. Responded: We have modified Figure 3 according to the stipulation that the adsorption curve is below the desorption curve due to hysteresis.</p> <p>7. It is advisable to the author to rewrite the abstract as it is not delivered clear description of the overall work. Response: We have rewritten the abstract, clearly describing our overall work.</p> <p>8. Therefore, in overall, there is no significant contribution of new knowledge. The manuscript succeeds by a small amount Unless significant additional experiments are conducted, this paper is not suitable for publication. Response: We have added significant additional experiments to this article to be considered for publication in the "South African Journal of Chemical Engineering" in the form of NH₃-TPD analysis results.</p> <p>Reviewer #2</p> <p>1. The novelty statement must be strong for the present research work. This is very important. Response: We have stated this in the new Highlights Section.</p> <p>2. Research gap needs to be defined very precisely. Response: The research gap, in this case, is that this study is able to simplify the dealumination and desilication processes in the synthesis of natural zeolites into one process and one stage. This is different from previous studies that carried out the two processes with two separate treatments, even if some did it in one process but through several stages. In addition, previous studies required a long time with high operating temperatures and pressures. In contrast, in this study, the process runs in a short time, with relatively low temperatures and pressures.</p> <p>3. From figure 1 the authors claimed secondary porosity which is not conclusive. Figures must be more clear for the conclusive statements. Response: We have tried to provide a new image to show that there is a new growth/shift of substance due to the formation of the secondary porosity seen in Figure 1.</p> <p>4. The image quality is must be improved. Response: We have improved the quality of all images in our articles. Hopefully, this will be acceptable.</p> <p>5. The conclusion needs more scientific discussion. Its very superficial currently Response: In order to improve the scientific quality and to provide more depth, we have modified the conclusions.</p>	
--	--	--	--

		<p>Reviewer #3</p> <p>1. Please write all units according to the SI system Response: We have changed units that are not in accordance with the International System of Units (SI).</p> <p>2. Please improve the quality of Figure 1. The images are not very clear. Response: We have tried to provide a new image to show that there is a new growth/shift of substance due to the formation of the secondary porosity seen in Figure 1.</p> <p>3. Figure captions are not very legible, they should be corrected. Response: Image captions have been improved so that they are more legible and have better readability.</p> <p>4. In Figure 4, degrees Celsius are missing, please add them. Response: Figure 4 has been corrected with the addition of degrees Celsius.</p> <p>5. Please unify the notation in Figure 5. Response: We arrange the notations based on the respective contours of the two groups, namely the comparison group and the result group; each group has two units, namely magnitude_nm_Al_ppm and magnitude_nm_Si_ppm, where each magnitude has four contours. The contours of magnitude_nm_Al_ppm are black, red, yellow, and green, but the black contour is not visible due to 0nm_Al_ppm. The contours of magnitude_nm_Si_ppm are brown, dark blue, gray, and magenta.</p> <p>6. Please add the labels of the peaks described on the diffractograms. Response: More specifically, in Figure 5, we have added peak labels to the diffractogram.</p> <p>7. FTIR spectrum (7b), in my opinion, shows the dependence of absorbance of radiation on wavenumber and not transmittance on wavenumber. Please correct. Response: We have corrected the FTIR spectrum (7b), changing it from transmittance versus wave number to absorbance versus wave number.</p> <p>Reviewer #4:</p> <p>1. Language</p> <p>Language should be checked for :</p> <p>- spelling errors,</p> <p>Response:</p> <p>e.g. about NZL, this means Lampung Natural Zeolite should be written Natural Zeolite Lampung, because this spelling has already been used in several articles, so the spelling in this article has some irregularities.</p> <p>- grammatical errors,</p>	
--	--	--	--

		<p>Response:</p> <p>The English language applied in this article is American English, to homogenize the vocabulary and spelling of words, but we admit that in terms of grammar regarding subjects, verbs, adverbs and adjectives to fulfill the basic S-V sentence, we often use compound sentences with the addition of objects, adverbs and adjectives that are nested to avoid similarity.</p> <p>- text type and size, and</p> <p>Response:</p> <p>We have adjusted the type and size of the text as appropriate.</p> <p>- proper spacing between words</p> <p>Response:</p> <p>There are many errors in the spacing between words and we have tried to correct them.</p> <p>2. All References Must Be Checked (author name, style, journal name, etc). We impute the references from Mendeley according to the writing style of the South African Journal of Chemical Engineering, so that the reference list contains the author's name, journal name, etc. as recommended. However, we acknowledge that there are many reference errors in the body of the article, which we have tried to correct as appropriate. We hope and are very grateful that our article can be published.</p>	
2.	Sistematika sintesis katalis	Sistematika sintesis katalis dapat pada Halaman 68,70 dan 71.	

SERTIFIKAT
REVISI SIDANG DISERTASI

Dosen Penguji Ujian Disertasi Program Studi Doktor Ilmu Teknik Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya :

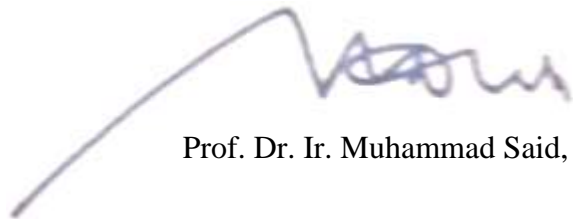
Nama : Prof. Dr. Ir. Muhammad Said, M.Sc.
Institusi : Universitas Sriwijaya

Menyatakan bahwa mahasiswa berikut ini :

Nama : Ambo Intang
NIM : 03013682126015
BKU : Teknik Kimia
Judul : Likuifaksi Batubara Lignit dengan Pelarut Bifungsional dan Katalis
Perengkahan Ganda Menghasilkan Bensin

Telah merevisi disertasi sesuai arahan Dosen Penguji dalam Berita Acara Sidang Disertasi.
Pernyataan ini telah dikeluarkan untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Palembang, Agustus 2024
Dosen Penguji,



Prof. Dr. Ir. Muhammad Said, M.Sc.

SERTIFIKAT
REVISI SIDANG DISERTASI

Dosen Penguji Ujian Disertasi Program Studi Doktor Ilmu Teknik Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya :

Nama : Prof. Ir. Erna Yuliwati, M.T.,Ph.D.,IPU.,ASEAN.Eng.
Institusi : Universitas Muhammadiyah Palembang

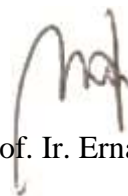
Menyatakan bahwa mahasiswa berikut ini :

Nama : Ambo Intang
NIM : 03013682126015
BKU : Teknik Kimia
Judul : Likuifaksi Batubara Lignit dengan Pelarut Bifungsional dan Katalis
Perengkahan Ganda Menghasilkan Bensin

Telah merevisi disertasi sesuai arahan Dosen Penguji dalam Berita Acara Sidang Disertasi.
Pernyataan ini telah dikeluarkan untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Palembang, Agustus 2024

Dosen Penguji,



Prof. Ir. Erna Yuliwati, M.T.,Ph.D.,IPU.,ASEAN.Eng.

SERTIFIKAT
REVISI SIDANG DISERTASI

Dosen Penguji Ujian Disertasi Program Studi Doktor Ilmu Teknik Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya :

Nama : Prof. Dr. Yohandri Bow, S.T., M.S.
Institusi : Politeknik Negeri Sriwijaya

Menyatakan bahwa mahasiswa berikut ini :

Nama : Ambo Intang
NIM : 03013682126015
BKU : Teknik Kimia
Judul : Likuifaksi Batubara Lignit dengan Pelarut Bifungsional dan Katalis
Perengkahan Ganda Menghasilkan Bensin

Telah merevisi disertasi sesuai arahan Dosen Penguji dalam Berita Acara Sidang Disertasi.
Pernyataan ini telah dikeluarkan untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Palembang, Agustus 2024

Dosen Penguji,



Prof. Dr. Yohandri Bow, S.T., M.S.

SERTIFIKAT
REVISI SIDANG DISERTASI

Dosen Penguji Ujian Disertasi Program Studi Doktor Ilmu Teknik Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya :

Nama : Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM
Institusi : Universitas Sriwijaya

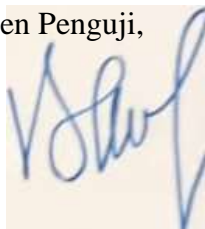
Menyatakan bahwa mahasiswa berikut ini :

Nama : Ambo Intang
NIM : 03013682126015
BKU : Teknik Kimia
Judul : Likuifaksi Batubara Lignit dengan Pelarut Bifungsional dan Katalis
Perengkahan Ganda Menghasilkan Bensin

Telah merevisi disertasi sesuai arahan Dosen Penguji dalam Berita Acara Sidang Disertasi.
Pernyataan ini telah dikeluarkan untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Palembang, Agustus 2024

Dosen Penguji,



Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM

DAFTAR ISI

RINGKASAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN.....	vi
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	v
RIWAYAT HIDUP.....	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR TUGAS / PERBAIKAN UJIAN DISERTASI TERTUTUP.....	x
SERTIFIKAT REVISI SIDANG DISERTASI.....	xvi
DAFTAR ISI.....	xx
DAFTAR GAMBAR.....	xxiii
DAFTAR TABEL.....	xxix
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Permasalahan Penelitian.....	18
1.3. Tujuan Penelitian.....	18
1.4. Manfaat Penelitian.....	19
BAB 2. STUDI ANALITIK TENTANG PENELITIAN SEBELUMNYA PADA PROSES DCL BATUBARA LIGNIT DAN PERLAKUAN TERHADAP BATUBARA, PELARUT DAN KATALIS.....	20
2.1 Batubara.....	20
2.2 Pencairan Batubara Langsung.....	21
2.2.1 Temperatur Operasi DCL.....	25
2.2.2 Pelarut (Solvent).....	26
2.2.3 Tekanan dan Atmosfer.....	29
2.2.4 Katalis DCL.....	31
BAB 3. KONSEP DISAIN PENELITIAN.....	53
3.1. Metode dan Parameter Penelitian.....	53
3.2. Langkah –langkah Penelitian.....	54
3.2.1 Swelling Natural Zeolit Lampung (NZL).....	54
3.2.1.1 Proses Swelling NZL.....	68
3.2.1.2 Metode pemilihan hasil swelling NZL untuk dijadikan pengemban.....	69
3.2.2 Impregnasi logam alkali dan logam transisi pada Natural Zeolit Lampung Swelling.....	72
3.2.2.1 Prosedur impregnasi katalis logam Alkali dan logam transisi/NZL.....	76

3.2.2.2 Karakterisasi katalis logam Alkali dan logam transisi/NZL_Swelling	78
3.3. Proses DCL katalis kreking ganda dan pelarut bifungsional.....	80
3.3.1 Perengkahan (Cracking)	87
3.3.1.1 Perengkahan Termal (thermal cracking).....	88
3.3.1.2 Perengkahan Katalitik (catalytic cracking).....	88
3.3.2 Analisis gasoline (bensin).....	90
3.3.3 Analisa hasil DCL katalis perengkahan ganda dan solven bifungsional	90
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	91
4.1 Swelling NZL.....	91
4.1.1 Pemilihan NZL Swelling sebagai pengembangan berdasarkan Tahanan Mesh	92
4.1.2 Pemilihan NZL Swelling sebagai pengembangan berdasarkan kandungan Al dalam NZL Swelling.....	96
4.1.3 Penyerapan pelarut terhadap Al dan Si pada Waktu Operasi NZL Swelling 30 menit dan 80 °C	99
4.2 Karakterisasi katalis logam Alkali dan logam transisi/NZL.....	103
4.2.1 Difraksi X-ray (XRD).....	104
4.2.2 Transmisi Fourier Infra-merah (FTIR).....	109
4.2.3 Pemindaian mikroskopy elektron (SEM).....	114
4.2.4 Brunauer – Emmet – Teller (BET)	118
4.2.5 NH ₃ TPD	127
4.2.6 Analisis Termogravimetri (TGA).....	133
4.3 Analisa hasil DCL katalis perengkahan ganda dan solven bifungsional.....	137
4.3.1 Analisis Gugus Fungsi Pada Sampel Uji, Bensin Menggunakan Metode Spektroskopi FTIR.....	137
4.3.2 Gugus Hidrokarbon Bensin kaitannya dengan Bilangan Oktan/ ON (Octane Number).....	141
4.3.2.1 Gugus CH ₃ parafinik	141
4.3.2.2 Gugus CH ₂ parafinik	142
4.3.2.3 Gugus CH parafinik	142
4.3.2.4 Gugus Olefinik -CH = CH ₂	143
4.3.2.5 Gugus naftenat -CH-CH ₂	143
4.3.2.6 Gugus C-CH aromatik	144
4.3.3 Klasifikasi kualitas sampel bensin berdasarkan rasio alifatik terhadap aromatik dan analisis kandungan PONA menggunakan teknik multivariat berbasis algoritme genetik dan spektroskopi ATR-FTIR	146

4.3.4 Spektrum inframerah hasil DCL katalis perengkahan ganda dan solven bifungsional menggunakan teknik multivariat berbasis algoritme genetik dan spektroskopi FTIR.....	155
4.4 Analisa Hasil Proses DCL katalis perengkahan ganda dan solven bifungsional	165
4.4.1 Gugus PONA hasil DCL katalis perengkahan ganda dan solven bifungsional terhadap PONA solven bifungsional.....	165
4.4.2 Gugus Aromatik_Alifatik hasil DCL katalis perengkahan ganda dan solven bifungsional terhadap Gugus Aromatik_Alifatik Komposisi bensin yang ditentukan oleh analisis GC-MS.....	175
4.4.3 Pengaruh variasi rasio massa katalis-batubara umpan dan waktu proses terhadap konversi Batubara ke Bensin dengan Proses DCL berdasarkan spektra FTIR solven bifungsional.....	183
4.4.4 Pengaruh variasi rasio massa katalis-batubara umpan dan waktu proses terhadap konversi Batubara ke Bensin dengan Proses DCL berdasarkan Komposisi bensin yang ditentukan oleh analisis GC-MS	193
 BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	 204
5.1 Kesimpulan.....	204
5.2 Saran.....	213
 Daftar Pustaka.....	 215

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Pendekatan "bottom-up" dan "top-down" untuk zeolit mesopori seperti yang dikategorikan di sini.....	55
Gambar 3.2	Gambar skematik struktur zeolit yang paling sering digunakan dalam katalis hirarkis berbasis zeolite.....	56
Gambar 3.3	'Pohon keluarga' MCM-22 yang telah diperbarui mengilustrasikan pengaturan lapisan yang diusulkan dan jalur sintesis.....	58
Gambar 3.4	Skema dengan Representasi skematik MCM-22 (P) dan turunannya.....	60
Gambar 3.5	Representasi dari prosedur pascasintetik untuk mendapatkan interlayer zeolit yang diperluas IEZ-MWW, membengkak, terpillar (MCM-36), dan material tipe MWW yang terdelaminasi (ITQ-).....	63
Gambar 3.6	Skema pengurangan spesies platinum dalam struktur MCM-22 dengan membengkakkan prekursor MWW dengan surfaktan dan spesies platinum dan kalsinasi berikutnya.....	63
Gambar 3.7	Skema klinoptilolit hirarkis lite dengan perlakuan tandem dealuminasi-desilikasi.....	67
Gambar 3.8	Pengaturan percobaan pada proses Swelling NZL.....	70
Gambar 3.9	Diagram Alir Proses swelling Natural Zeolit Lampung.....	71
Gambar 3.10	Pengukuran tegangan permukaan air.....	76
Gambar 3.11	Diagram Proses Pembentukan Larutan Logam.....	77
Gambar 3.12	Diagram Proses Pembentukan Katalis Li_Ni_Fe/NZL_Swelling.....	78
Gambar 3.13	Konsep Dasar Proses Perengkahan Batubara dalam Sistem DOE dan yang ada sampai sekarang.....	82
Gambar 3.14	Rekayasa Proses DCL.....	82
Gambar 3.15	Model struktur kimiawi dari Lignit.....	84
Gambar 3.16	Mekanisme Kerja Solven.....	85
Gambar 3.17	Pengaturan percobaan pada proses DCL.....	87
Gambar 3.18	Diagram Proses DCL.....	87
Gambar 4.1	(a) SEM-EDX NZL dan (b) SEM-EDX NZL Swelling.....	94
Gambar 4.2	Proses NZL swelling terhadap Tahanan Mesh.....	94
Gambar 4.3	Isoterm adsorpsi nitrogen dari NZL & NZL Swelling yang menggabungkan fitur mikro dan mesopori.....	95
Gambar 4.4	Persentase Kandungan Al dalam NZL Swelling.....	98
Gambar 4.5	Penyerapan pelarut terhadap Al dan Si pada Waktu Operasi	

	NZL Swelling 30 menit dan 80 °C	100
Gambar 4.6	XRD Analysis on NZL & NZL Swelling.....	101
Gambar 4.7	Spektrum FTIR: a) NZL b) NZL Swelling.....	102
Gambar 4.8	Analisis XRD pada NZL	105
Gambar 4.9	Analisis XRD pada NZL Swelling	106
Gambar 4.10	Analisis XRD pada LiNiFe-NZL	107
Gambar 4.11	Analisis XRD pada NZL, NZL Swelling dan LiNiFe-NZL.....	108
Gambar 4.12	Spektrum FTIR (A) NZL (B) NZL Swelling dan (C) LiNiFe-NZL	110
Gambar 4.13	Morfologi yang Dihasilkan Melalui Analisis SEM (a) NZL (b) NZL Swelling (c) LiNiFe-NZL	115
Gambar 4.14	Kurva Isoterm Adsorpsi Nitrogen - Desorpsi pada Zeolit (a) NZL (b) NZL Swelling (c) LiNiFe-NZL	119
Gambar 4.15	Jenis-jenis histeresis loops (A) dan Jenis isoterm fisisorpsi dari adsorpsi-desorpsi nitrogen (B) (Kinashi et al. 2012).....	120
Gambar 4.16	Distribusi ukuran pori dari cabang adsorpsi (A) dan desorpsi (B) oleh model BJH	121
Gambar 4.17	Volume pori kumulatif dari adsorpsi oleh model BJH.....	124
Gambar 4.18	Isoterm adsorpsi/desorpsi N ₂ dari sampel klinoptilolit; (a) NZL, (b) NZL Swelling, (c) LiNiFe-NZL	126
Gambar 4.19	Kurva NH ₃ -TPD yang diperoleh pada NZL, NZL_Swelling dan LiNiFe-NZL_Swelling.....	131
Gambar 4.20	Kurva DTA-TGA dari sampel klinoptilolit (NZL) Temperature (0C) DTA (uV).....	134
Gambar 4.21	(a) Hasil analisis termal diferensial dan (b) termogravimetri dari klinoptilolit mentah (NZL), NZL Swelling, dan LiNiFe-NZL_Swelling	136
Gambar 4.22	Diagram tingkat energi molekuler skematis dengan tingkat elektronik, vibrasi, dan rotasi	138
Gambar 4.23	Skema alat spektroskopi FTIR. (1) Sumber Inframerah (2) Pembagi Berkas (Beam Splitter) (3) Kaca Pemantul (4) Sensor Inframerah (5) Sampel (6) Display	141
Gambar 4.24	Spesies yang termasuk dalam dataset kami dengan kelompok fungsionalnya ditandai.....	145
Gambar 4.25	Spektrum campuran TRFE yang terdiri dari 28% n-heptana, 20% iso-oktana, 12% toluena, dan 40% etanol. Spektrum tersebut menunjukkan berbagai daerah yang signifikan. Empat daerah yang ditandai adalah daerah peregangan CO: 1020 cm ⁻¹ hingga 1120 cm ⁻¹ , daerah tekukan CH: 1200 cm ⁻¹ hingga 1600 cm ⁻¹ , daerah peregangan CH: 2800 cm ⁻¹ hingga 3000 cm ⁻¹ dan daerah peregangan OH: 3000 cm ⁻¹ hingga 3600 cm ⁻¹	146
Gambar 4.26	Spektrum ATR-FTIR mentah dari 80 sampel bensin (Khanmohammadi Khorrani, Sadrara, and Mohammadi 2022).	147

Gambar 4.27	Hasil perbandingan spektrum FTIR dari endapan yang diperoleh pada suhu yang berbeda.....	148
Gambar 4.28	Spektrum inframerah bensin.....	149
Gambar 4.29	Rumus kimia heptana (C ₇ H ₁₆) (C. Anam, Sirojudin, and Firdausi 2007).....	149
Gambar 4.30	Spektrum midinfrared representatif dari 3000 hingga 2800 cm ⁻¹ bahan bakar bensin setelah 20 menit (A), 1 jam (B), dan 2 jam (C) terpapar SMF 200 mT (Calabrò dan Magazù, 2015).....	152
Gambar 4.31	Spektrum representatif yang diperoleh dengan menggunakan analisis FSD dari 1700 hingga 1200 cm ⁻¹ bahan bakar bensin setelah 20 menit, 1 jam, dan 2jam terpapar SMF 200 mT, diwakili oleh garis oranye, merah, dan ungu, masing-masing (Calabrò and Magazù 2015).	153
Gambar 4.32	Spektra FTIR untuk peremajaan TPO yang dihasilkan dari limbah ban.....	154
Gambar 4.33	Spektroskopi FTIR Solvent bifungsional	156
Gambar 4.34	Spektroskopi FTIR B01 (Rasio Katalis-BB 10% dan waktu proses	157
Gambar 4.35	Spektroskopi FTIR B05 (Rasio Katalis-BB 20% dan waktu proses 40 menit)	157
Gambar 4.36	Spektroskopi FTIR B17 (Rasio Katalis-BB 10% dan waktu proses 30 menit)	158
Gambar 4.37	Spektroskopi FTIR B18 (Rasio Katalis-BB 15% dan waktu proses 30 menit)	158
Gambar 4.38	Spektroskopi FTIR B19 (Rasio Katalis-BB 10% dan waktu proses 40 menit)	159
Gambar 4.39	Spektroskopi FTIR B23 (Rasio Katalis-BB 10% dan waktu proses 50 menit)	159
Gambar 4.40	Spektroskopi FTIR B29 (Rasio Katalis-BB 10% dan waktu proses 70 menit)	160
Gambar 4.41	Spektroskopi FTIR B32 (Rasio Katalis-BB 6,66% dan waktu proses 30 menit).....	160
Gambar 4.42	Spektroskopi FTIR B37 (Rasio Katalis-BB 3,33% dan waktu proses 50 menit)	161
Gambar 4.43	Spektroskopi FTIR B39 (Rasio Katalis-BB 10 % dan waktu proses 50 menit)	161
Gambar 4.44	Spektroskopi FTIR B40 (Rasio Katalis-BB 3,33 % dan waktu proses 60 menit)	162
Gambar 4.45	Spektroskopi FTIR B41 (Rasio Katalis-BB 6,66 % dan waktu proses 60 menit).....	162
Gambar 4.46	Spektroskopi FTIR B42 (Rasio Katalis-BB 10 % dan waktu proses 60 menit).....	163
Gambar 4.47	Spektroskopi FTIR B45 (Rasio Katalis-BB 10 % dan waktu proses 70 menit)	163

Gambar 4.48	Gugus PONA hasil DCL katalis perengkahan ganda dan solven bifungsional terhadap PONA solven bifungsional	166
Gambar 4.49	Gugus PONA hasil DCL katalis perengkahan ganda dan solven bifungsional terhadap PONA solven bifungsional operasi 1 -15	167
Gambar 4.50	Persentase Gugus PONA hasil DCL katalis perengkahan ganda dan solven bifungsional terhadap PONA solven bifungsional operasi 1 -15.....	167
Gambar 4.51	Gugus PONA hasil DCL katalis perengkahan ganda dan solven bifungsional terhadap PONA solven bifungsional operasi 16 -30.....	168
Gambar 4.52	Persentase Gugus PONA hasil DCL katalis perengkahan ganda dan solven bifungsional terhadap PONA solven bifungsional operasi 16 -30.....	169
Gambar 4.53	Gugus PONA hasil DCL katalis perengkahan ganda dan solven bifungsional terhadap PONA solven bifungsional operasi 31 -45.....	170
Gambar 4.54	Persentase Gugus PONA hasil DCL katalis perengkahan ganda dan solven bifungsional terhadap PONA solven bifungsional operasi 31 -45.....	170
Gambar 4.55	Gugus Paraffin hasil DCL katalis perengkahan ganda dan solven bifungsional terhadap PONA solven bifungsional	171
Gambar 4.56	Gugus Olifin hasil DCL katalis perengkahan ganda dan solven bifungsional terhadap PONA solven bifungsional.....	172
Gambar 4.57	Gugus Naphten hasil DCL katalis perengkahan ganda dan solven bifungsional terhadap PONA solven bifungsional.....	173
Gambar 4.58	Gugus Aromatik hasil DCL katalis perengkahan ganda dan solven bifungsional terhadap PONA solven bifungsional.....	173
Gambar 4.59	Dominasi Posisi Gugus PONA hasil DCL katalis perengkahan ganda dan solven bifungsional	174
Gambar 4.60	Gugus Aromatik_Alifatik hasil DCL katalis perengkahan ganda dan solven bifungsional terhadap Gugus Aromatik_Alifatik Solen dan Komposisi bensin yang ditentukan oleh analisis GC-MS	175
Gambar 4.61	Gugus Alifatik_ Aromatik hasil DCL katalis perengkahan ganda dan solven bifungsional terhadap Gugus Aromatik_Alifatik Solen dan Komposisi bensin yang ditentukan oleh analisis GC-MS	176
Gambar 4.62	Persentase Gugus Aromatik_Alifatik hasil DCL katalis perengkahan ganda dan solven bifungsional terhadap Gugus Aromatik_Alifatik Solen dan Komposisi bensin yang ditentukan oleh analisis GC-MS	177
Gambar 4.63	Gugus Alifatik_Aromatik hasil DCL katalis perengkahan ganda dan solven bifungsional terhadap Gugus Aromatik_Alifatik Solen dan Komposisi bensin yang ditentukan oleh analisis GC-MS	178
Gambar 4.64	Persentase Gugus Aromatik_Alifatik hasil DCL katalis perengkahan ganda dan solven bifungsional terhadap Gugus Aromatik_Alifatik Solen dan Komposisi bensin yang ditentukan oleh analisis GC-MS	179
Gambar 4.65	Gugus Aromatik_Alifatik hasil DCL katalis perengkahan ganda dan solven bifungsional terhadap Gugus Aromatik_Alifatik Solen dan Komposisi bensin yang ditentukan oleh analisis GC-MS	180
Gambar 4.66	Persentase Gugus Aromatik_Alifatik hasil DCL katalis perengkahan ganda dan solven bifungsional terhadap Gugus Aromatik_Alifatik	

	Solen dan Komposisi bensin yang ditentukan oleh analisis GC-MS	180
Gambar 4.67	Gugus Aromatik hasil DCL katalis perengkahan ganda dan solven bifungsional terhadap PONA solven bifungsional.....	181
Gambar 4.68	Gugus Alifatik hasil DCL katalis perengkahan ganda dan solven bifungsional terhadap PONA solven bifungsional.....	182
Gambar 4.69	Dominasi Posisi Gugus Aromatik_Alifatik hasil DCL katalis perengkahan ganda dan solven bifungsional	183
Gambar 4.70	Gugus PONA pada variasi rasio massa katalis-batubara umpan dan waktu proses terhadap konversi Batubara ke Bensin dengan Proses DCL berdasarkan spektra FTIR solven bifungsional	184
Gambar 4.71	Gugus PONA pada Rasio massa katalis-batubara umpan 1 gr pada variasi massa katalis 0.1, 0.2, dan 0.3 gr pada masing – masing waktu proses 30, 40, 50, 60 dan 70 menit terhadap konversi Batubara ke Bensin dengan Proses DCL berdasarkan spektra FTIR solven bifungsional.....	185
Gambar 4.72	Persentase Gugus PONA pada Rasio massa katalis-batubara umpan 1 gr pada variasi massa katalis 0.1, 0.2, dan 0.3 gr pada masing – masing waktu proses (a)30, (b)40, (c)50, (d)60 dan (e)70 menit terhadap konversi Batubara ke Bensin dengan Proses DCL berdasarkan spektra FTIR solven Bifungsional.....	186
Gambar 4.73	Gugus PONA pada Rasio massa katalis-batubara umpan 2 gr pada variasi massa katalis 0.1, 0.2, dan 0.3 gr pada masing – masing waktu proses 30, 40, 50, 60 dan 70 menit terhadap konversi Batubara ke Bensin dengan Proses DCL berdasarkan spektra FTIR solven bifungsional	187
Gambar 4.74	Persentase Gugus PONA pada Rasio massa katalis-batubara umpan 2 gr pada variasi massa katalis 0.1, 0.2, dan 0.3 gr pada masing – masing waktu proses (a)30, (b)40, (c)50, (d)60 dan (e)70 menit terhadap konversi Batubara ke Bensin dengan Proses DCL berdasarkan spektra FTIR solven Bifungsional.....	189
Gambar 4.75	Gugus PONA pada Rasio massa katalis-batubara umpan 3 gr pada variasi massa katalis 0.1, 0.2, dan 0.3 gr pada masing – masing waktu proses 30, 40, 50, 60 dan 70 menit terhadap konversi Batubara ke Bensin dengan Proses DCL berdasarkan spektra FTIR solven bifungsional	191
Gambar 4.76	Persentase Gugus PONA pada Rasio massa katalis-batubara umpan 3 gr pada variasi massa katalis 0.1, 0.2, dan 0.3 gr pada masing – masing waktu proses (a)30, (b)40, (c)50, (d)60 dan (e)70 menit terhadap konversi Batubara ke Bensin dengan Proses DCL berdasarkan spektra FTIR solven Bifungsional.....	192
Gambar 4.77	Gugus Alifatik_Aromatik pada variasi rasio massa katalis-batubara umpan dan waktu proses terhadap konversi Batubara ke Bensin dengan Proses DCL berdasarkan spektra FTIR solven Bifungsional dan komposisi bensin yang ditentukan oleh analisis GC-MS.....	194
Gambar 4.78	Gugus Alifatik-Aromatik pada rasio massa katalis-batubara umpan 1 gr pada variasi massa katalis 0.1, 0.2, dan 0.3 gr pada masing –	

	masing waktu proses 30, 40, 50, 60 dan 70 menit terhadap konversi Batubara ke Bensin dengan Proses DCL berdasarkan spektra FTIR solven Bifungsional dan komposisi bensin yang ditentukan oleh analisis GC-MS.....	195
Gambar 4.79	Persentase Gugus Alifatik-Aromatik pada Rasio massa katalis-batubara umpan 2 gr pada variasi massa katalis 0.1, 0.2, dan 0.3 gr pada masing – masing waktu proses (a)30, (b)40, (c)50, (d)60 dan (e)70 menit terhadap konversi Batubara ke Bensin dengan Proses DCL berdasarkan spektra FTIR solven Bifungsional dan komposisi bensin yang ditentukan oleh analisis GC-MS.....	196
Gambar 4.80	Gugus Alifatik-Aromatik pada rasio massa katalis-batubara umpan 2 gr pada variasi massa katalis 0.1, 0.2, dan 0.3 gr pada masing – masing waktu proses 30, 40, 50, 60 dan 70 menit terhadap konversi Batubara ke Bensin dengan Proses DCL berdasarkan spektra FTIR solven Bifungsional dan komposisi bensin yang ditentukan oleh analisis GC-MS.....	198
Gambar 4.81	Persentase Gugus Alifatik-Aromatik pada Rasio massa katalis-batubara umpan 2 gr pada variasi massa katalis 0.1, 0.2, dan 0.3 gr pada masing – masing waktu proses (a)30, (b)40, (c)50, (d)60 dan (e)70 menit terhadap konversi Batubara ke Bensin dengan Proses DCL berdasarkan spektra FTIR solven Bifungsional dan komposisi bensin yang ditentukan oleh analisis GC-MS.....	199
Gambar 4.82	Gugus Alifatik-Aromatik pada rasio massa katalis-batubara umpan 3 gr pada variasi massa katalis 0.1, 0.2, dan 0.3 gr pada masing – masing waktu proses 30, 40, 50, 60 dan 70 menit terhadap konversi Batubara ke Bensin dengan Proses DCL berdasarkan spektra FTIR solven Bifungsional dan komposisi bensin yang ditentukan oleh analisis GC-MS.....	200
Gambar 4.83	Persentase Gugus Alifatik-Aromatik pada Rasio massa katalis-batubara umpan 3 gr pada variasi massa katalis 0.1, 0.2, dan 0.3 gr pada masing – masing waktu proses (a)30, (b)40, (c)50, (d)60 dan (e)70 menit terhadap konversi Batubara ke Bensin dengan Proses DCL berdasarkan spektra FTIR solven Bifungsional dan komposisi bensin yang ditentukan oleh analisis GC-MS.....	202

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Ringkasan keuntungan dan keterbatasan metode yang berbeda.....57 yang digunakan untuk menyiapkan zeolit hirarkis
Tabel 3.2	Proses Pencairan Batubara Langsung Dikembangkan di Dunia Setelah Perang Dunia II*.....81
Tabel 3.3	Sifat-sifat batubara dengan peringkat yang berbeda*.....83
Tabel 3.4	Proses perengkahan katalitik89
Tabel 3.5	Komponen utama gasoline Bensin).....90
Tabel 4.1	Data Temperatur dan waktu proses NZL swelling terhadap Tahanan Mesh.....93
Tabel 4.2	Surface Area Data NZL dan NZL Swelling..... 95
Tabel 4.3	Data Temperatur dan waktu proses NZL swelling terhadap kandungan Al dalam NZL Swelling (Dengan Metode Uji Flame AAS).....97
Tabel 4.4	Hasil Uji SEM Mapping NZL dan NZL Swelling98
Tabel 4.5	Data Penyerapan pelarut terhadap Al dan Si pada Waktu Operasi NZL Swelling 30 menit dan 80 °C.....99
Tabel 4.6	Daftar fase untuk sampel NZL105
Tabel 4.7	Daftar fase untuk sampel NZL Swelling..... 106
Tabel 4.8	Daftar fase untuk sampel LiNiFe-NZL107
Tabel 4.9	Hasil Uji SEM Mapping NZL, NZL Swelling dan LiNiFe-NZL.....118
Tabel 4.10	Parameter struktur berpori klinoptilolit dengan metode adsorpsi/ desorpsi nitrogen.....122
Tabel 4.11	NH ₃ -TPD, menggunakan alat ChemiSorb 2750 Micromeritics129
Tabel 4.12	Komposisi bensin yang ditentukan oleh analisis GC-MS.....156
Tabel 4.13	Tabulasi Data variasi rasio massa katalis-batubara umpan dan waktu proses terhadap konversi Batubara ke Bensin dengan Proses DCL.....164
Tabel 4.14	Komposisi gugus PONA Solven Bifungsional dan Komposisi bensin yang ditentukan oleh analisis GC-MS165

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sejak pencairan batubara langsung (direct coal liquefaction/DCL) ditemukan, teknologi ini telah menjadi teknologi yang menjanjikan untuk pemanfaatan sumber daya batubara yang efisien dan mitigasi krisis minyak. Secara umum, batubara dianggap sebagai campuran yang terdiri dari bahan organik dan bahan mineral. Kandungan mineral dan sifat batubara sangat bervariasi dan telah terbukti secara signifikan mempengaruhi perilaku termal batubara dalam DCL. Oleh karena itu, pemahaman yang jelas dan komprehensif mengenai transformasi dan peran materi mineral yang melekat pada proses DCL sangat diperlukan untuk memandu peningkatan hasil minyak dan memoderasi kondisi reaksi. Setelah pencairan langsung, materi mineral akan diperkaya dalam residu. Investigasi tentang transformasi dan peran materi mineral yang melekat dapat bermanfaat untuk pemanfaatan residu secara efisien juga. Mengingat pentingnya materi mineral untuk DCL, disertasi ini secara singkat merangkum kemajuan penelitian tentang transformasi dan peran materi mineral yang melekat dalam proses DCL, dan terutama berfokus pada materi mineral utama dalam batubara. Sebagai bahan baku yang cocok untuk DCL, batubara peringkat rendah biasanya kaya akan spesies logam yang dapat dipertukarkan (sejenis bahan mineral) yang dapat mengurangi hasil minyak dalam DCL, oleh karena itu diskusi rinci tentang transformasi dan peran spesies logam yang dapat dipertukarkan dalam DCL diberikan di sini dan dua metode pretreatment batubara peringkat rendah untuk meningkatkan hasil minyak (Li, 2017).

Tujuan pencairan batubara secara langsung adalah untuk memecah struktur molekul hidrokarbon batubara yang besar menjadi molekul yang lebih kecil. Molekul-molekul yang lebih kecil harus dikaitkan dengan cairan hidrokarbon, selain untuk meminimalkan ukuran molekul yang terkait dengan gas hidrokarbon (misalnya gas metana dan etana). Konversi batu bara menjadi cairan melalui proses pirolisis, gasifikasi, Proses Fischer-Tropsch, Proses Solvent Extraction dan Proses catalytic liquefaction membutuhkan penambahan gas hidrogen dan beroperasi dengan temperatur tinggi antara 200 – 1400 °C.

Radikal batubara dihasilkan melalui pembelahan termal ikatan eter selama

pencairan batubara. Radikal ini bereaksi dengan struktur hidro-aromatik untuk menghasilkan radikal sikloheksadienil. Radikal sikloheksadienil juga dapat dibentuk melalui reaksi struktur aromatik dan hidroaromatik. Pembentukan radikal "siklo" akan menyebabkan terjadinya reaksi dengan berbagai sistem cincin aromatik dan fenol yang tersubstitusi. Hasil dari jalur reaksi tersebut adalah pengusiran fragmen yang mengarah pada pengurangan ukuran molekul material batubara dan pembentukan cincin aromatik dari radikal sikloheksadienil. Cincin aromatik yang baru terbentuk kemudian dapat bereaksi dengan lebih banyak cincin hidroaromatik hingga habis.

Batubara bitumen dianggap sebagai bahan baku yang paling favorit untuk pencairan, karena hasil produk hidrokarbon cairnya yang tinggi. Namun batubara dengan kandungan lignit yang lebih banyak lebih mudah dicairkan karena batubara lignit memiliki gugus hidroksil yang lebih tinggi (Nursanto dan Ilham, 2018), yaitu dengan rasio H/C lebih tinggi dan strukturnya tersusun oleh ikatan-ikatan lemah yang mudah putus serta mengandung lebih banyak grup maseral yang mudah cair seperti vitrinit dan liptinit (Talla dkk., 2014). Proses pencairan batubara secara langsung lebih hemat energi daripada proses pencairan tidak langsung, tetapi jauh lebih sulit untuk dikontrol. Katalis biasanya digunakan sebagai promotor reaksi. Katalis yang murah dan mudah dipulihkan lebih tepat pemakaiannya dalam proses DCL, tetapi pada saat yang sama, penting untuk menghasilkan produk cair yang berkualitas lebih tinggi pada kondisi tingkat deaktivasi yang lebih rendah. Untuk mengatasi hal ini maka pada penelitian ini digunakan Natural Zeolit Lampung (NZL) sebagai katalis asam-basa yang seimbang dan menjadi pengembang logam alkali dan logam transisi untuk mengaktifkan logam alkali dan mereduksi logam alkali tanah dalam Natural Zeolit Alam Lampung,

Batubara secara konvensional dianggap sebagai padatan seperti polimer dengan komposisi heterogen dan struktur yang tidak beraturan dan didominasi oleh materi karbon aromatik. Unit aromatiknya adalah terkait satu sama lain oleh berbagai ikatan silang, sebagian besar oleh eter dan hubungan metilen pendek, serta oleh banyak interaksi antarmolekul. Penting untuk dicatat bahwa kekuatan ikatan metilen dan eter telah ada ditunjukkan oleh (Grigorieva et al. 1994; Hsiang-Hui and Stock 1984) sangat bergantung pada struktur dan ukuran unit aromatik yang terikat; peningkatan ukuran menghasilkan dramatis melemahnya ikatan tersebut oleh katalis yang bersifat asam dan basa sekali gus.

Banyak artikel yang menjelaskan aplikasi yang menggunakan pelarut donor yang

bersifat non polar seperti tetralin atau decalin untuk proses DCL. Namun demikian, pelarut model tersebut mahal dan sulit untuk digunakan kembali. Untuk mengatasi kerugian yang terkait dengan aplikasi donor cair ini, penggunaan polimer terhidrogenasi sebagai donor padat dipertimbangkan. Selain itu, pemrosesan bersama batubara dan pelarut yang berasal dari minyak bumi atau limbah juga dimungkinkan. Pemrosesan bersama ini dapat memberikan keuntungan dalam hal ekonomi proses secara keseluruhan dan meningkatkan aspek ekologi DCL apalagi jika pelarut juga menjadi produk dari proses DCL. Dengan demikian, kebutuhan untuk penelitian pelarut donor yang mudah terjangkau, dan murah merupakan target yang (Alemán-Vázquez dkk., 2018, 2016). Proses DCL dapat menjadi cara yang baik untuk mengubah sumber daya yang dimiliki menjadi bahan bakar yang berguna dan menjadi mandiri secara energi untuk negara-negara yang memiliki sumber daya batu bara yang signifikan dan tidak ada atau akses yang sangat kecil ke minyak mentah atau dengan kata lain bagaimana menggandakan ketersediaan sumberdaya minyak bumi yang masih dimiliki. Selain itu, penggunaan bahan yang berasal dari limbah seperti minyak pirolisis limbah ban bekas dapat meningkatkan keamanan energi di dunia.

Pencairan batu bara secara langsung mengacu pada reaksi langsung batu bara dengan hidrogen untuk membentuk cairan. Hidrogen bereaksi dengan oksigen, sulfur, dan nitrogen dalam batubara untuk mengeluarkannya sebagai air, hidrogen sulfida, dan amonia. Hidrogen juga diperlukan untuk menghidrogenasi pelarut donor yang pada gilirannya mentransfer hidrogen ke batubara terlarut sehingga secara substansial meningkatkan rasio H/C batubara saat dicairkan. Salah satu perbedaan utama antara batubara dan minyak bumi adalah rasio atom H/C batubara yang jauh lebih rendah (0.7 vs 1.5 untuk minyak bumi, Akibatnya, konversi batubara menjadi produk seperti minyak bumi membutuhkan penambahan hidrogen secara langsung dan ini menambah biaya yang cukup besar untuk produk tersebut. Teknologi yang ideal untuk pencairan batubara secara langsung untuk produksi bensin akan hanya menghasilkan produk C₅-400 °F yang tidak mengandung gas hidrokarbon nitrogen, oksigen, atau sulfur; tidak menghasilkan cahaya karena gas-gas ini mengkonsumsi hidrogen dalam jumlah besar; menghasilkan cairan aromatik untuk kebutuhan oktan untuk mengurangi konsumsi hydrogen; menghilangkan oksigen dari batubara melalui penolakan karbon menjadi karbon oksida dan bukan hidrogenasi. Tidak satu pun dari proses pencairan batubara yang ada sekarang ini yang dapat melakukan hal ini. Proses pencairan generasi kedua yang sekarang sedang dikembangkan adalah keturunan dari teknologi Bergius klasik.

Sebagian besar melibatkan, kurang lebih, interaksi yang dikatalisis antara hidrogen molekuler dan lumpur batubara-minyak dengan tekanan dan suhu tinggi. Proses-proses baru (2.500 psi, 800-850 °F) berbeda: (1) proses-proses ini beroperasi pada kondisi yang tidak terlalu berat; (2) proses-proses ini memberikan penekanan yang sangat besar pada perpindahan H dari minyak lumpur ke batubara; (3) perhatian yang seksama diberikan pada proses produksi pelarut yang berasal dari proses untuk didaur ulang ke bagian depan proses untuk mengaduk batubara (Robinson dkk., 2009). Efisiensi energinya jauh lebih tinggi tetapi prosesnya jauh lebih sulit untuk dioperasikan karena sifat abrasif dari bubuk batu bara yang mengikis katup pelepas tekanan, kebutuhan untuk tetap berada dalam keseimbangan pelarut donor untuk mengaduk umpan batu bara, dan pemisahan padatan yang sangat sulit dari produk cair. Namun, keuntungan utama dari produk bensin dan efisiensi energi yang lebih tinggi memberikan beberapa aspek yang sangat menarik dan akan bergerak maju dalam beberapa situasi, kemungkinan besar di negara-negara seperti Cina, yang memiliki sumber daya batu bara yang besar (Robinson dkk., 2009).

Telah ditunjukkan bahwa ketika pelarut yang sesuai dengan titik didih yang cukup tinggi digunakan, batubara dapat dicairkan di bawah tekanan atmosfer, meskipun sebagian besar produknya adalah fraksi berat dan hasil minyak hanya sekitar 10% (Mochida dkk., 1990B). Tercatat bahwa batubara peringkat rendah dapat dikonversi menjadi produk yang berguna dengan hasil yang tinggi melalui reaksi dengan CO-H₂ dengan adanya katalis basa (Hata dkk., 1998). Pengembangan katalis berkinerja tinggi adalah kunci pengembangan hampir semua proses DCL, dan tidak mengherankan, hampir semua elemen logam dalam tabel periodik telah diuji untuk DCL (Gao dkk., 2017). Katalis digunakan di hampir semua proses DCL yang dikembangkan. Meskipun beberapa proses diklaim dapat berjalan tanpa katalis, sebagian besar batubara itu sendiri mengandung sejumlah besar mineral seperti pirit dan oksida besi yang dapat berperan dalam proses DCL sebagai katalis. Aktivitas katalis berbasis Fe dipengaruhi oleh jumlah pemuatan, metode preparasi, kondisi dispersi, pelarut, mineral yang mengandung batu bara, dll. Secara luas diakui bahwa katalis yang sangat terdispersi dapat lebih unggul daripada katalis yang didukung karena katalis terdispersi memiliki kontak yang erat dengan permukaan partikel batubara, yang memfasilitasi aktivasi dan transfer hidrogen ke fragmen yang berasal dari batubara dan situs reaktif. Dengan demikian, partikel yang lebih halus dan dispersi yang lebih tinggi dari spesies katalis

akan menyebabkan aktivitas katalitik yang lebih tinggi (Dadyburjor dkk., 2000; Hirano dkk., 1999; Ikenaga dkk., 1997; Liu dkk., 1996).

Pencairan batubara dengan cara katalitik (*catalytic liquefaction*) memiliki sejarah yang panjang dan telah dipraktekkan dalam skala komersial di berbagai belahan dunia. Hal ini telah memberikan pengaruh yang sangat besar dalam pengolahan minyak bumi. Pertimbangan atas berbagai batasan dan kondisi batas yang ada dalam pencairan batubara mengarah pada kesimpulan bahwa pencairan batubara paling baik dipahami sebagai pelengkap untuk pasokan minyak bumi yang sudah ada dan bahwa cairan yang diproduksi batubara akan secara bertahap masuk ke dalam industri bahan bakar secara bertahap selama bertahun-tahun. Sebagai konsekuensinya, proses dan peralatan kilang yang ada akan digunakan untuk memproses cairan batubara atau dicampur dengan minyak mentah.

Kegunaan logam-logam yang biasa digunakan dalam katalis pencairan, besi, molibdenum, dan timah, ditemukan dan digunakan di pabrik skala besar di Jerman dan Inggris jauh sebelum Perang Dunia II untuk mencapai dispersi tinggi, dan karena itu kontak antarmuka yang tinggi antara katalis dengan batubara, turunan batubara cair, dan hidrogen, ditunjukkan dalam percobaan autoklaf dan pabrik percontohan selama awal 1950-an. Penelitian sejak saat itu telah mengikuti beberapa tema. Meskipun impregnasi katalis pada batubara diakui sejak awal sebagai salah satu metode untuk mencapai dispersi tinggi, biaya impregnasi menyebabkan studi tentang metode lain. Penggunaan prekursor katalis yang larut dalam minyak (biasanya organologam) tanpa impregnasi, dan metode untuk menghasilkan katalis partikulat dengan luas permukaan tinggi, telah diupayakan dengan sukses, setidaknya dalam skala penelitian (Weller, 1994).

Aktivitas katalis dalam dehidrogenasi THN dan dalam DCL berkorelasi dengan perilaku sulfidasi yang diamati dalam pemanasan yang diprogram suhu dalam atmosfer 5% H₂S / H₂. Ditemukan bahwa katalis menunjukkan urutan aktivitas yang sama dalam dehidrogenasi THN dan DCL. Konstanta laju dehidrogenasi THN dan konversi batubara serta hasil minyak dalam DCL berkorelasi dengan baik dengan kandungan S katalis pada kondisi reaksi. Terlepas dari bentuk logam dan metode preparasi katalis, tren linier diamati: semakin tinggi kandungan S katalis, semakin rendah energi aktivasi untuk dehidrogenasi THN, dan semakin tinggi konversi batubara dan hasil minyak dalam DCL (Chen dkk., 2019). Pola aliran, distribusi konsentrasi batubara, katalis, dan hidrogen, serta laju reaksi pembentukan fragmen radikal bebas dan hidrogenasi, secara

praktis tidak diketahui sama sekali (Liu dkk., 2010).

Katalis berbasis besi merupakan katalis yang menjanjikan dalam proses pencairan batubara langsung (direct coal liquefaction/DCL) karena murah dan ramah lingkungan. Namun, sebagian besar katalis berbasis besi menunjukkan aktivitas yang relatif rendah dalam konversi batubara dan hasil minyak. Teknik umum untuk sintesis katalis ini dengan kinerja katalitik yang sangat baik masih menjadi tantangan besar. B. Liu, dkk. menyajikan strategi sintesis solid-state sederhana untuk menyiapkan nanopartikel CoFe_2O_4 dan nanopartikel CoFe_2O_4 yang didukung pada komposit batubara (CoFe_2O_4 @batubara) untuk DCL. Nanopartikel oksida bimetal CoFe_2O_4 oksida bimetal yang diperoleh menunjukkan peningkatan kinerja katalitik dalam DCL dibandingkan dengan komponen monometalik Fe_2O_3 dan nanopartikel $\text{Co}(\text{OH})_2$. Efek sinergis antara Co dan Fe dari nanopartikel CoFe_2O_4 mendorong hidrogenasi katalitik batubara selama proses DCL. Selain itu, kinerja katalitik nanopartikel CoFe_2O_4 semakin ditingkatkan ketika mereka dimuat pada batubara (Liu dkk., 2020A). Sintesis solid-state in-situ dengan batu bara sebagai pendukung menunjukkan potensi besar untuk menyiapkan katalis berbasis besi yang efektif terhadap DCL dalam praktiknya (Liu dkk., 2020A). Pengaruh katalis γ -FeOOH yang sangat terdispersi pada pencairan batubara Yallourn diperiksa dengan menggunakan autoklaf pemanasan cepat dilengkapi dengan tungku gambar sinar inframerah, dalam kaitannya dengan transformasi menjadi pirhotit (Fe_{1-x}S), dibandingkan dengan yang konvensional katalis pirit. Ditemukan bahwa katalis γ -FeOOH mendorong aktivasi hidrogen gas secara luar biasa selama tahap pemanasan hingga 450°C , karena dapat diubah menjadi pirhotit ukuran lebih kecil pada suhu yang lebih rendah sekitar 250°C . Sebagai hasilnya, efisiensi hydrogen konsumsi hidrogen pada hasil minyak meningkat secara signifikan karena hasil gas hidrokarbon yang lebih rendah, dibandingkan dengan kasus di mana katalis pirit digunakan (Kaneko dkk., 2000)

Dibandingkan dengan ICL, DCL pada dasarnya lebih efisien dan dapat menghasilkan spektrum bahan kimia yang lebih luas dan memiliki emisi gas rumah kaca yang lebih rendah (Gao, 2018; Larson dan Tingjin, 2003; Williams dan Larson, 2003). Hal ini karena DCL mengubah batubara menjadi cairan secara langsung tanpa mengalami banyak perubahan kimiawi. Efisiensi untuk DCL adalah untuk produk yang dimurnikan sebagian, sedangkan untuk teknologi ICL, produknya dimurnikan secara penuh (Hook dan Aleklett, 2010). Pencairan langsung batubara dengan dua rute konversi utama yang diselidiki. Rute-rute tersebut adalah (Huang dkk., 2020):

- i). Pencairan batubara katalitik (CCL): penggunaan pelarut non-donor dengan tambahan tekanan hidrogen. Proses ini membutuhkan katalis untuk konversi.
- ii). Pencairan batubara termal: penggunaan pelarut dengan beberapa sifat donor-H tanpa tekanan hidrogen dan katalis dalam reaktor pencairan batubara.

Secara ringkas, tantangan dalam teknologi DCL dapat mencakup (Pencairan batubara - Penilaian kebutuhan penelitian dan pengembangan, 1989) (Liu dkk., 2010):

- Mengidentifikasi struktur batubara dan perubahan struktur selama pemanasan dalam pelarutan dan menghubungkannya dengan perilaku pembentukan fragmen radikal bebas.
- Merancang katalis yang lebih baik untuk pencairan batubara dan peningkatan produk, terutama untuk umpan dengan kandungan aromatik dan nitrogen yang tinggi.
- Mengidentifikasi katalisis, mekanisme, dan kinetika untuk hidrogenasi fragmen radikal bebas batubara terutama pada kontrol reaksi retrograde, serta peran donor/transfer H.
- Memahami reaksi kompleks dan perilaku transpor dalam sistem tiga fase.
- Merancang dan memodelkan reaktor pencairan dengan kapasitas tinggi dan preheater pelarutan.
- Meningkatkan teknik pemisahan produk, terutama untuk pemisahan cair-padat dan untuk produksi bahan kimia.
- Mengembangkan rute pemrosesan residu untuk produk bernilai tambah.
- Melakukan integrasi sistem untuk mengurangi kebutuhan utilitas dan meningkatkan efisiensi secara keseluruhan.

Zeolit alam memiliki luas permukaan dan volume pori yang tinggi, yang dapat meningkatkan aktivitas katalitik katalis perengkahan. Klinoptilolit mengalami dealuminasi dan dekationisasi tanpa kerusakan yang berarti pada kisi kristal (Mansouri dkk., 2013). Secara keseluruhan, penggunaan natural zeolit sebagai pendukung katalis perengkahan dalam proses DCL telah menunjukkan harapan sebagai cara untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi biaya proses FCC (Fluid Catalytic Cracking). Namun, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengoptimalkan proses dan mengatasi beberapa tantangan yang terkait dengan penggunaan zeolit alam (Chmielewská dan Chmielewská, 2019).

Natural Zeolit Lampung terutama terdiri dari mineral clinoptilolite, yang merupakan jenis zeolit yang banyak ditemukan pada batuan vulkanik dan endapan abu.

Clinoptilolite memiliki kapasitas pertukaran kation yang tinggi, yang berarti dapat menarik dan menukar ion bermuatan positif dengan zat lain. Zeolit alam Lampung dilaporkan mengandung 78% klinoptilolit, 14% analcime, dan 8% mordenit (Darmansyah dkk., 2021).

Tidak seperti beberapa zeolit lainnya, klinoptilolit sulit untuk disintesis, itulah sebabnya sebagian besar publikasi merujuk pada zeolit ini dalam bentuk aslinya, baik secara langsung langsung dari deposit atau setelah menerapkan berbagai proses pada mineral ini untuk meningkatkan sifat-sifatnya, untuk menjaga integritas struktur di atas 600 C. Di antara metode modifikasi yang digunakan, pertukaran ion menonjol. Untuk mempelajari proses pertukaran ion dalam klinoptilolit alami dengan dua tujuan: pertama, sebagai properti strategis untuk digunakan dalam proses di mana pertukaran kation pada dasarnya diperlukan; kedua, sebagai cara untuk memodifikasinya membuat material komposit dengan sifat yang diinginkan yang telah ditentukan sebelumnya (Rodríguez-Iznaga dkk., 2022B).

Zeolit hierarkis yang memiliki porositas sekunder pada skala meso dan makro, dikenakan pada struktur mikropori primer adalah kelas asli bahan berpori yang menunjukkan keduanya kemampuan penyaringan molekuler dan transportasi massa yang cepat. Sekunder porositas zeolit hirarkis menciptakan ruang yang ideal untuk pengendalian fase katalitik aktif yang mengendalikan ukurannya dan memungkinkan tercapainya dispersi yang tinggi dan interaksi yang kuat antara zeolit dan media. Pekerjaan ini berfokus pada tinjauan metode sintesis zeolit hierarkis dan aplikasinya dalam reaksi katalitik yang dipilih (Feliczak-Guzik, 2018A).

Terdapat studi tentang reaksi perengkahan parafin termal, dengan katalis Zeolit alam aktif (ZAA) dan NiMo / zeolit alam aktif (ZAA). Variasi temperatur dilakukan untuk mempelajari temperatur optimum reaksi perengkahan parafin. Reaksi perengkahan parafin dilakukan pada temperatur 200 - 400 °C dan laju alir hydrogen dari 30 mL/menit, aktivitas katalitik optimum ditinjau berdasarkan besarnya rendemen fraksi cair adalah pada reaksi perengkahan parafin dengan katalis NiMo/ZAA pada temperatur 300 °C sebesar 31,33 % (Nugrahaningtyas dkk., 2016). Kinerja katalitik katalis nikel yang terdispersi dalam emulsi untuk pencairan bersama lignit dan residu berat, Semacam katalis nikel nanoemulsi disiapkan untuk aplikasi pencairan bersama lignit dan residu berat. Ukuran partikel dan struktur mikro dari fase terdispersi dalam emulsi dan produk belerang dicirikan oleh dinamika hamburan cahaya dan mikroskop elektron transmisi (YangT dkk., 2020).

Metode pencampuran katalis secara fisik (metode I) atau disebut dengan kondisi pencairan batubara dan metode impregnasi katalis (metode II) disebut dengan komposisi minyak produk digunakan untuk pencairan lignit Beypazari dan Tunçbilek. Fe_2O_3 dan $\text{Mo}(\text{CO})_6$ digunakan sebagai katalis. Waktu retensi senyawa yang diperoleh dengan metode II lebih tinggi dibandingkan dengan senyawa yang diperoleh dengan metode I. Masing-masing, senyawa dalam minyak yang diperoleh dengan metode II ditemukan telah disusun oleh jumlah yang tinggi alkana rantai lurus molekul tinggi dan senyawa polisiklik aromatik. Minyak dari kedua lignit disusun oleh alkana rantai lurus dan senyawa polisiklik aromatik (tetralin, naftalena dan turunannya, fenol, xylenol, bifenil, naftol, dan lain-lain). Komposisi minyak sangat dipengaruhi oleh kondisi pencairan (Karaca, 2006).

Telah diketahui bahwa katalis pendispersi untuk mendapatkan kontak yang baik dengan partikel batubara meningkatkan pencairan batubara. Hal ini sering dilakukan dengan menggunakan prekursor katalis yang dapat larut yang kemudian diubah menjadi bentuk aktif. Dalam penelitian ini, ditunjukkan bahwa cairan ionik tertentu dapat digunakan untuk memecah, mendispersi, dan melarutkan sebagian batu bara sedemikian rupa sehingga kontak yang baik dapat dilakukan dengan batu bara yang diperoleh secara komersial, partikel molibdenum disulfida ukuran mikrometer hanya dengan mencampurkan partikel-partikel ini dengan cairan ionik / batubara disperse (Painter dkk., 2010).

Situs Logam yang sangat terdispersi (highly dispersed metallic sites (HDMS)) meniru fungsi mutagenesis yang diarahkan pada situs dalam enzimologi, tidak hanya memaksimalkan efisiensi atom logam yang diminati, tetapi juga menawarkan kemungkinan untuk mencapai aktivitas katalitik tertinggi dan selektivitas dan membuat kesenjangan antara katalisis heterogen dan homogen. Namun, itu tantangan yang berat terletak pada kenyataan bahwa dengan berkurangnya ukuran partikel logam atau berkurangnya koordinasi atom logam, energi bebas permukaan logam meningkat secara signifikan, yang akan mengarah ke agregasi serius dari katalis terdispersi atom tunggal yang dimaksudkan. Oleh karena itu, pendekatan yang tepat untuk membangun HDMS dan mengontrol HDMS dalam homogenitas yang baik sangat penting untuk mewujudkannya aktivitas katalitik HDMS yang fantastis. Masalahnya terletak pada bagaimana mensintesis secara tepat situs yang didukung terisolasi logam dan bagaimana memastikan logam terikat secara selektif ke situs permukaan pendukung tertentu (Zhao dkk., 2018).

Strategi ligan biner untuk mensintesis kerangka imidazolat zeolit yang didoping Fe₈ (ZIF-8) prekursor katalis dengan menggabungkan 2-methylimidazole (mIm) tradisional dan imidazolat sekunder atau yang mengandung triazol ligan. Dibandingkan dengan ligan sekunder berbasis triazol, ligan berbasis imidazolat mampu mempertahankan bentuk dan ukuran partikel kristal dari prekursor ke katalis selama aktivasi termal, memberikan kelayakan yang besar untuk mengontrol morfologi katalis. Di antara ligan yang dipelajari, mengintegrasikan 2-undecylimidazole (uIm) sebagai ligan sekunder dengan mIm yang diaktifkan secara atomic Katalis Fe-N-C dengan aktivitas ORR yang tinggi dan jelas meningkatkan daya tahan dalam elektrolit asam. Tidak seperti prekursor mIm tunggal, menggunakan sintesis ligan biner mIm-uIm, peningkatan kandungan doping Fe tidak menghasilkan pembentukan agregat kaya Fe. Morfologi partikel karbon berongga yang unik yang diamati dengan katalis turunan mIm-uIm menyebabkan peningkatan luas permukaan yang memungkinkan untuk mengakomodasi lebih banyak situs aktif atom FeN₄. Peningkatan urutan struktur karbon dalam katalis turunan mIm-uIm kemungkinan besar bermanfaat untuk peningkatan stabilitas katalis (Zhang dkk., 2019).

Kemajuan dalam ilmu katalis terdispersi secara atomik mendorong kemajuan dalam sintesis bahan kimia, teknik karakterisasi permukaan, dan ilmu permukaan kristal tunggal. Bidang ini adalah ilmu katalisis terkemuka untuk meningkatkan keanggunan dan ketelitian, mengukuhkannya lebih kuat di jantung ilmu kimia (Gates, 2019). Reaksi yang dikatalisis Cu dari α -diazoester tersubstitusi dengan fluorida menghasilkan α -fluoroesters dengan nilai ee hingga 95%, asalkan ligan bis (oxazoline) turunan kiral indana digunakan yang membawa substituen benzil besar di jembatan dan gugus isopropil yang cukup besar pada intinya (Buchsteiner dkk., 2020). Katalis katalis heteroleptik dirhodium dayung 7 dengan bola ligan kiral karboksilat / asetamida secara unik efektif dalam sikloaddisi asimetris [2 + 1] dengan α -diazo-atrimetilstannil (silil, germil) asetat, yang menunjukkan untuk pertama kalinya bahwa bahkan kiral pusat karbon kuartener dapat dibuat oleh Stille-Migita reaksi. Artinya, keberhasilan bergantung pada ligan yang memainkan peran aktif daripada hanya menjadi pembatas pasif ruang (kiral) (Boruta dkk., 2012; DeAngelis dkk., 2016). Gagasan ini memandu penyelidikan kami di masa depan di lapangan (Caló dan Fürstner, 2020).

Desain Ligan Baru Berdasarkan Dispersi London Memberdayakan Katalis Kiral Bismut-Rhodium Paddlewheel, Kompleks katalis heterobimetalik bismut-rhodium paddlewheel dengan ligan fenilglisin yang membawa gugus TIPS di posisi meta dari

cincin aromatik menunjukkan tingkat selektivitas yang luar biasa dalam reaksi donor / akseptor dan donor / donor karbena; pada saat yang sama, laju reaksi jauh lebih cepat dan cakupan substrat jauh lebih luas daripada yang sebelumnya generasi katalis kiral [BiRh]. Seperti yang ditunjukkan oleh studi eksperimental, kristalografi, dan komputasi gabungan, yang baru katalis menarik profil aplikasi yang sangat baik sebagian besar dari stabilisasi bola ligan kiral oleh dispersi London (LD) interaksi dari substituen silil perifer. kelas baru dari roda dayung heterobimetalik kompleks disajikan, yang memanfaatkan LD untuk menstabilkan bentuk dan arah kelopak yang membentuk kantong pengikat kiral. 3a, b sebagai kompleks induk dari kompleks ini seri unggul dalam siklopropanasi, siklopropenasi, dan tertentu reaksi penyisipan; karena banyak variasi dari yang baru secara konseptual desain dapat dibayangkan, orang mungkin memiliki harapan yang tinggi untuk generasi katalis masa depan dari jenis ini. Peluang bersama ini dan jalur terkait (Caló and Fürstner 2020; Buchsteiner et al. 2020) secara aktif dikejar di laboratorium (Singha dkk., 2021).

Teori yang relatif modern dikembangkan untuk menjelaskan perilaku kompleks anorganik telah ditemukan untuk menawarkan deskripsi yang baik kemisorpsi dan katalisis: ini termasuk medan kristal dan medan ligan teori. Dasar dari teori-teori tersebut terletak pada fakta bahwa orbital d adalah diketahui memiliki sifat terarah dan, jika ion logam transisi dikaitkan dengan ligan, energi yang terkait dengan orbital ini dapat bervariasi. Sifatnya ligan dan sifat kompleks (spin tinggi atau spin rendah) jelas dapat mempengaruhi energi, tetapi geometri kompleks, seperti yang ditentukan oleh koordinasi, sangat penting. Sekarang kemisorpsi reaktan pada pusat ion logam dapat juga digambarkan sebagai pembentukan kompleks, apakah ion diisolasi (katakanlah dalam larutan) atau terletak di permukaan matriks kristal. Jelas sekali geometri akan lebih dibatasi oleh bentuk umum matriks, tetapi prinsipnya sama. Perubahan energi yang terjadi pada pembentukan "kompleks" semacam itu bergantung pada banyak hal faktor, di mana energi stabilisasi medan kristal adalah salah satunya. Jika katalisis melibatkan transfer elektron, penataan ulang koordinasi ke kompleks yang berbeda (yang memiliki elektron yang didistribusikan ke memberikan energi yang lebih rendah secara keseluruhan) bisa menjadi kekuatan pendorong yang penting untuk reaksi. Sehingga menjadi pertimbangan, bagaimana aktivitas / selektivitas katalitik dapat ditingkatkan dengan penambahan komponen kecil (TRIMM, 1978).

Anomali yang diinduksi medan dari spektrum polariton dari kristal terikat dengan dispersi spasial kristal semi-tak terbatas, kondisi ditentukan di mana medan magnet

eksternal mengarah ke mekanisme pembentukan baru polariton TM permukaan dalam kristal yang memiliki interaksi magnetoelektrik dinamis dan dispersi spasial secara bersamaan (Tarasenko, 2002).

Kristalisasi dari larutan elektrolit yang sedikit larut dipercepat oleh medan magnet jika fase kristalisasi adalah garam diamagnetik dari asam lemah, dan kristalisasi berasal dari larutan netral atau asam dalam air biasa (tidak berat). Karena efek dari Gaya Lorentz dapat diabaikan, jika tidak ada, sifat kuncinya kemungkinan besar adalah putaran proton yang, berdasarkan putaran setengah integral mereka, adalah fermion. Efek pada kinetika pertumbuhan kristal telah ditunjukkan, dan efek nyata pada nukleasi berkaitan dengan laju pertumbuhan inti. Dengan demikian, kita berurusan dengan fenomena permukaan. Dasar dari teori ini adalah model kristal dari garam yang sedikit larut dengan NaCl dengan struktur NaCl, di mana ion-ionnya bersifat divalen, dan anionnya adalah basa. Diasumsikan bahwa hampir semua anion di lapisan permukaan terprotonisasi, dan bahwa ion logam yang mendekat mendorong proton menjauh ke anion tetangga, yang kemudian menjadi terprotonisasi ganda. Jika keduanya proton berada dalam keadaan spin yang sama, prinsip Pauli mengharuskan salah satu dari mereka memasuki keadaan energi yang lebih tinggi, yang meningkatkan energi aktivasi dan mengurangi laju proses, tetapi bahkan dengan putaran yang berlawanan, proton yang masuk harus memasuki keadaan tereksitasi karena momentumnya. Relaksasi spin dalam medan magnet dapat menghilangkan hambatan transfer proton. Teori ini didukung oleh hasil numerik dari perhitungan model (Madsen, 2007).

Model sederhana untuk prediksi pemisahan Orbital 3d dari ion logam di lingkungan ligan. Elektron dianggap independen dan interaksinya dengan ligan adalah diwakili oleh fungsi delta Dirac dalam tiga dimensi. Beberapa kasus di mana model ini berhasil dan beberapa kasus di mana model ini tidak berhasil. Model yang telah dikembangkan untuk pemisahan orbital 3d dari logam ion dalam lingkungan ligan, sangat sederhana dan mudah diterapkan karena hanya membutuhkan perhitungan nilai orbital d pada posisi ligan dalam ruang. Ini memberikan urutan tingkat energi yang terkenal di sebagian besar kasus dan bahkan menghasilkan besaran relatif dari pemisahan. Meskipun gagal memprediksi pemisahan orbital dalam kompleks oktahedral yang terdistorsi, model ini yang menarik untuk diskusi kualitatif (dan bahkan semi kuantitatif) dari molekul tersebut, terutama karena pendekatan standar jauh lebih sulit untuk diterapkan (Fernández, 2016).

Multimetall yang terdispersi secara homogeny katalis pengevolusi oksigen, katalis

berbasis logam transisi baris pertama (3d) yang melimpah di bumi telah dikembangkan untuk reaksi evolusi oksigen (OER); Namun, mereka beroperasi pada potensi berlebih secara substansial di atas persyaratan termodinamika. suhu ruangan sintesis untuk menghasilkan bahan oksihidroksida gel dengan logam yang homogen secara atomic distribusi oksihidroksida FeCoW gel ini menunjukkan potensi berlebih terendah (191 milivolt) dilaporkan pada 10 miliampere per sentimeter persegi dalam elektrolit basa (Zhang dkk., 2016).

Katalis atom tunggal (SAC), yang terdiri dari logam yang terdispersi secara atomik pada penyangga, dianggap sebagai bahan canggih yang menjembatani katalisis homogen dan heterogen, mewakili katalisis pada batasnya. Peningkatan kinerja katalis ini disebabkan oleh kombinasi faktor-faktor yang berbeda seperti situs aktif yang terdefinisi dengan baik, yang terdiri dari atom tunggal logam dalam lingkungan koordinasi yang berbeda juga memvariasikan keadaan valensinya dan sangat berinteraksi dengan pendukung, dalam hal ini karbon berpori, sehingga memaksimalkan efisiensi logam dibandingkan dengan permukaan logam lain yang terdiri dari kelompok logam dan / atau partikel nano logam (Bernardo, 2018).

Katalis atom tunggal (SAC) adalah bahan katalitik baru yang menjanjikan menggabungkan skalabilitas katalis heterogen dengan aktivitas tinggi dan atom ekonomi katalis homogen. Pemodelan komputasi dan prinsip pertama dapat memberikan wawasan penting tentang mekanisme SAC dan konfigurasi situs aktif, di mana lingkungan skala sub-nm dapat menantang bahkan eksperimental dengan resolusi tertinggi teknik spektroskopi. Namun demikian, sifat-sifat yang membuat SAC menarik dalam katalisis, seperti elektron d terlokalisasi dari pusat logam transisi yang terisolasi (Liu dkk., 2019).

Sintesis katalis terdispersi secara atomik dengan pemuatan logam dan stabilitas termal yang tinggi merupakan tantangan tetapi sangat berharga untuk aplikasi industri dalam katalisis heterogen. Sebagai contoh, katalis Ir / α -MoC yang terdispersi secara atomik ini menunjukkan reaktivitas, selektivitas, dan stabilitas yang luar biasa, yang mana keberadaan atom Ir terisolasi dengan kepadatan tinggi adalah kunci untuk mencapai aktivitas normalisasi logam yang tinggi dan aktivitas spesifik massa (Li dkk., 2022).

Nano material (NM) telah membuat kemajuan besar di bidang persiapan dan katalisis. Namun, variasi NM saat ini menghadapi banyak tantangan: a) secara rasional merancang komposit NMs dengan sangat terkontrol cara untuk mencapai kinerja yang

sangat baik untuk aplikasi tertentu; b) membuat NM secara terkendali dengan permukaan terbuka yang berbeda adalah dari sangat penting untuk mengatur aktivitas katalitiknya; c) mengembangkan metode yang mudah untuk meningkatkan hasil NM untuk memenuhi standar untuk aplikasi industri (WangL dkk., 2022).

Pekerjaan di masa depan di bidang harus fokus pada masalah ini dan mempromosikan industri aplikasi cluster. Meskipun upaya besar telah dilakukan di bidang penelitian ini, tantangan masih harus diselesaikan: a) masalah utama yang perlu dipecahkan adalah meningkatkan stabilitas dan menghindari penonaktifan gugus dengan energi permukaan tinggi untuk aplikasi katalitik; b) secara akurat mengkarakterisasi dan mengevaluasi yang dominan situs aktif gugus dalam kondisi reaksi sangat penting untuk memahami dan mengembangkan lebih lanjut katalis gugus canggih (WangL dkk., 2022).

Peluang dan tantangan untuk katalitik tingkat atom bahan: a) perlu untuk mengeksplorasi metode baru untuk mensintesis dan menyiapkan SAC baru, untuk mempelajari fisik dan kimia baru sifat SAC dalam skala yang lebih besar, dan untuk mengeksplorasi kemungkinan aplikasi mereka; b) sangat penting untuk meningkatkan pemuatan atom tunggal bahan katalitik untuk memenuhi kebutuhan aplikasi industri; c) katalis atom tunggal digunakan sebagai sistem model untuk mengamati dan melacak proses reaksi dengan bantuan elektron in situ mikroskop atau radiasi sinkrotron in situ dan metode karakterisasi in situ lainnya, dan kemudian menggabungkan perhitungan teoritis untuk mempelajari hubungan struktur-aktivitas antara struktur dan kinerja katalitik, dan selanjutnya mengeksplorasi kemungkinan mekanisme reaksi katalitik; d) karena struktur elektronik lokal sangat bagus pengaruhnya terhadap kinerja material, itu juga sangat penting untuk secara tepat mengontrol lingkungan koordinasi, seperti mengatur nomor koordinasi dan atom koordinasi dari pusat aktif. Sangat penting untuk menyesuaikan dan mengkarakterisasi secara rasional ukuran bahan dan sangat memahami hubungan antara makroskopis sifat katalitik dan struktur kecil (WangL dkk., 2022).

Partikel Dalam ilmu material, "partikel" adalah istilah umum untuk benda padat kecil dengan berbagai ukuran dari skala atomik (10^{-10} m) hingga skala makroskopik (10^3 m); Namun, sering kali sesuai dengan kisaran ukuran 10^{-9} - 10^{-5} m sejauh menyangkut katalis. Semakin besar partikel yang lebih besar ($> 10^{-6}$ m) biasanya disebut butiran (zeolit, karbon, logam Raney) dan partikel yang lebih kecil (< 2 nm) sering disebut nanopartikel, agregat (logam) atau cluster (logam, oksida). Istilah kristalit

menggambarkan a kristal tunggal kecil; partikel dapat dibentuk oleh satu atau lebih kristalit. Ukuran Partikel Selain dari logam molekuler cluster (misalnya karbonil logam polinuklear) atau molekul gugus oksida (misalnya heteropolianion), partikel katalis menyajikan distribusi ukuran yang bisa sangat sempit, seperti seperti partikel logam yang pas di sangkar zeolit, atau sangat luas, mungkin dengan dua atau lebih maksima. Komplikasi lebih lanjut timbul karena partikel biasanya tidak bulat dan mereka bentuknya tidak homogen. Kombinasi dari dua atau lebih metode fisik dalam kasus tertentu dapat memberikan perkiraan deskripsi ukuran dan bentuk partikel, khususnya dalam kasus yang menguntungkan, seperti untuk partikel seperti pelat. Akan tetapi, hal itu umumnya tidak mungkin untuk menetapkan ukuran dan distribusi bentuk sehingga untuk menetapkan ukuran distribusi dan / atau ukuran rata-rata, partikel diasumsikan berbentuk bulat (Bergeret dkk., 2021).

Lima jenis nanopartikel Ru, Pd dan nanopartikel Pt dipertimbangkan, termasuk icosahedral, decahedral, cuboctahedral, cubic dan partikel bulat dengan ukuran berbeda. Perhitungan bulk, permukaan dan nanopartikel menunjukkan bahwa Metode teori fungsional densitas untuk Pt melebih-lebihkan korelasi pertukaran, yang mengarah ke nilai energi yang lebih tinggi dapat dikontribusikan secara keliru ke struktur yang lebih stabil. Perhitungan menunjukkan bahwa segera setelah rasio permukaan-ke-curah > 1 , energi per atom menyerupai nilai energi curah (Ungerer dan De Leeuw, 2022).

Zeolit adalah kelas penting dari katalis heterogen karena karakteristik intrinsiknya, seperti aktivitas katalitik, stabilitas hidrotermal dan termal, luas permukaan yang tinggi, dan kesesuaian dan/atau kemampuan pori-pori struktural untuk reaksi katalitik (C. Fyfe dkk., 1982; Haag dkk., 1984; Saravanamurugan dkk., 2013) Aktivitas katalitiknya berasal dari struktur kristal aluminosilikat, yang menghasilkan situs asam Brønsted (BAS) dan cacat dapat menimbulkan situs asam Lewis (LAS) (C. Fyfe dkk., 1982; Haag dkk., 1984). Spesies ini, bagaimanapun, tidak menghasilkan ion aluminium yang mengkompensasi muatan; melainkan membentuk gugus kerangka ekstra netral. Dengan demikian, situs asam Lewis kemungkinan besar hadir sebagai gugus $\text{Al}(\text{OH})_3\text{H}_2\text{O}$ netral dan / atau Al_2O_3 berukuran nano. Selanjutnya, pertukaran ion lebih lanjut setelah kalsinasi pada sampel yang telah ditukar sebelumnya memaksimalkan keasaman Lewis (Batool dkk., 2022).

Kandungan Al^{3+} yang tinggi membuat zeolit sangat rentan untuk mengembangkan EFAL, menghasilkan situs asam Lewis. Keasaman Brønsted dari zeolit juga dipengaruhi oleh adanya keasaman Lewis. Sinergi antara EFAL dan situs asam

Brønsted yang menghasilkan peningkatan kekuatan asam mirip dengan yang ditemukan dalam asam cair di mana gabungan asam Brønsted dan asam Lewis dapat menghasilkan asam super dengan kekuatan yang sangat meningkat. Selain komposisi, keasaman zeolit juga tergantung pada strukturnya. Telah ditemukan bahwa untuk komposisi kimia yang sama, kekuatan situs asam pada zeolit ukuran pori sedang lebih tinggi daripada yang ditemukan pada zeolit ukuran pori besar (Corma dkk., 1994; Huang dkk., 2009).

Telah diusulkan bahwa peningkatan yang jelas dalam Keasaman pada zeolit ukuran pori sedang seperti ZSM-5 berasal dari apa yang disebut "efek pengurungan" (Corma, 2003, 1995; Márquez dkk., 2000). "Efek pengurungan" ini harus diamati, menurut perhitungan teoritis, ketika dimensi pori-pori zeolit sama dengan dimensi molekul basa yang teradsorpsi dalam ruang internal (Sastre dkk., 1997). Dalam hal ini, pengurungan menyebabkan peningkatan energi orbital HOMO dan LUMO, yang berarti bahwa pasangan elektron tunggal basa sedang diaktifkan dalam ruang terbatas. Menurut konsep ini, keasaman situs tertentu tidak hanya bergantung pada lingkungan lokal dan komposisi pusat tetapi juga pada susunan jarak jauh dan dimensi rongga. Selain itu, keasaman suatu situs akan berbeda tergantung pada ukuran molekul probe, yang memiliki kekuatan maksimum ketika ukuran molekul sangat pas di dalam bagian dalam rongga. Secara umum, efek pengurungan ini, khususnya diterapkan pada kasus katalis asam untuk pemurnian, mengarah pada kesimpulan bahwa zeolit dengan ukuran pori sedang adalah zeolit yang menunjukkan situs asam terkuat.

Salah satu masalah utama dalam padatan berpori yang reaksinya sebagian besar terjadi di dalam pori-pori adalah difusi intrakristalin. Pori-pori yang didefinisikan oleh kerangka terbuka ke permukaan luar memungkinkan transfer massa dari bagian luar ke bagian dalam partikel, asalkan ukuran molekul lebih kecil dari dimensi pori-pori. Seperti yang telah dijelaskan di atas, zeolit merupakan material mikropori (ukuran pori 2 nm), awalan "mikro" yang berarti pori-porinya lebih kecil daripada material dengan pori-pori "meso" (dari 2 hingga 10 nm) atau "makro" (lebih besar dari 10 nm). Difusi pada zeolit monodirectional yang memiliki saluran paralel, seperti mordenit, umumnya lebih sulit dibandingkan dengan zeolit dua dan tiga arah. Dalam kasus pori-pori monodirectional, molekul yang berdifusi dalam saluran harus bergerak satu demi satu mengikuti arah yang sama dan dapat dengan mudah diblokir oleh satu molekul. Sebaliknya, difusi pada zeolit tiga arah terbuka, seperti faujasit X dan Y, lebih mudah, karena rongga-rongga tersebut dapat diakses melalui empat jendela yang independen.

Lebih lanjut, zeolit monodirectional cenderung dinonaktifkan oleh sebagian kecil racun yang menghalangi pintu masuk saluran, sedangkan zeolit dua arah dan tiga arah dapat mentolerir persentase racun yang lebih besar sebelum mengalami penonaktifan. Mengenai reaktivitas, ukuran pori dapat bertanggung jawab atas kontrol distribusi produk. Istilah "selektivitas bentuk" telah diciptakan untuk menunjukkan kasus-kasus yang menggunakan zeolit atau padatan berpori mikro lainnya sebagai katalis di mana alasan mengapa suatu produk sebagian besar terbentuk secara eksklusif adalah bentuk dan dimensi molekuler (Degnan, 2003).

Karena keterbatasan difusi dan kemungkinan penonaktifan yang cepat ketika molekul besar memasuki zeolit mikropori, beberapa penelitian terbaru berfokus pada perolehan hierarki zeolit untuk meningkatkan aksesibilitas dan efisiensi katalitik bahan zeolit (Oliveira dkk., 2023). Untuk lebih memahami keuntungan dan penggunaan zeolit hierarkis, perlu dipahami komposisi strukturalnya dalam kaitannya dengan porositas. Zeolit hirarkis menunjukkan mikroporositas intrinsik dan porositas sekunder, yang dapat berada dalam kisaran supermikropori (0,7-2 nm), mesopori (2-50 nm), dan makropori (>50 nm). Porositas sekunder ini dapat diklasifikasikan ke dalam porositas dengan kisaran ukuran pori yang sempit atau lebar. Oleh karena itu, zeolit hierarkis menunjukkan selektivitas yang timbul dari mikroporositas intrinsiknya, bersama dengan peningkatan transportasi massa yang timbul dari pengenalan supermikroporos, mesopori, atau makropori ke dalam struktur zeolit (Wang dkk., 2005).

Pengenalan porositas sekunder ke dalam zeolit tergantung pada aplikasi bahan yang diinginkan. Umumnya, porositas sekunder berada dalam kisaran mesopori. Namun, kisaran ukuran pori yang dihasilkan dapat dikontrol dan / atau dipengaruhi oleh metode sintesis hierarki yang dipilih. Porositas sekunder ini dapat dipahami dengan dua mekanisme yang berbeda. Supermikropori tambahan, mesopori atau makropori dapat dihasilkan dalam kristal zeolit, menghasilkan porositas intrakristalin, atau mereka juga dapat dihasilkan oleh aglomerasi kristal zeolit nanometrik, yang menghasilkan porositas interkristalin. Dalam kedua kasus tersebut, zeolit hirarkis yang diperoleh menunjukkan peningkatan perpindahan massa karena aksesibilitas yang lebih besar yang disebabkan oleh porositas tambahan. Karena manfaat dari peningkatan aksesibilitas, minat yang besar telah dicurahkan untuk mendapatkan bahan zeolit hirarkis (Wei et al. 2015; K. Zhang and Ostraat 2016).

Zeolit hirarkis yang diperoleh dengan metode sintesis yang berbeda menunjukkan keuntungan aksesibilitas untuk berbagai reaksi katalitik jika

dibandingkan dengan zeolit konvensional. Keuntungan ini berkontribusi pada peningkatan perpindahan massa, meminimalkan deaktivasi katalitik dan meningkatkan aktivitas sehubungan dengan substrat besar dalam beberapa reaksi kimia (Oliveira dkk., 2023).

Terdapat dua jenis dispersi dalam hal ini yaitu Dispersi biasa dan dispersi London. Dispersi biasa terjadi karena komponen terikat secara ionik misalnya HCl yang sejatinya terdiri dari H^+ dan Cl^- yang jika dalam pelarut maka terjadi gaya coulomb. Dispersi London terjadi karena komponen terikat secara logam dan kovalen misalnya logam alkali dan logam transisi dimpregnasi pada zeolite alam, yang apabila dalam pelarut maka terjadi gaya vander wals, dengan kata lain bahwa katalis terdispersi dalam pelarut.

1.2 Permasalahan Penelitian

Berdasarkan hal-hal tersebut diatas maka yang menjadi permasalahan dalam penelitian ini adalah :

1. Proses DCL masih beroperasi pada temperatur dan tekanan yang tinggi
2. Proses DCL masih menggunakan pelarut yang mahal dan sulit untuk digunakan kembali berupa pelarut donor yang bersifat non polar seperti tetralin atau decalin.
3. Proses DCL masih memerlukan proses lanjutan untuk memisahkan pelarut dengan produk pencairan

1.3 Tujuan Penelitian

Secara umum, Penelitian ini bertujuan untuk mempersiapkan teknologi yang efektif dalam proses Direct Coal Liquefaction (DCL) dengan mengaplikasikan katalis krekung ganda yang terdispersi dalam pelarut anorganik yang bersifat non polar dan polar (*catalyst dispersed in solvent*) karena mampu mengkreking pelarut (*crecking solvent*) sekaligus mengkreking batubara (*cracking coal*) lignit, sehingga mampu mengatasi permasalahan pada proses DCL pada sub bab 1.2. Oleh karena itu tujuan khusus pada penelitian ini adalah :

1. Merencanakan proses DCL dengan menggunakan katalis krekung ganda dan pelarut bifungsional, sehingga proses DCL hanya berlangsung dalam satu proses.
2. Merencanakan katalis yang mampu terdispersi dalam solven dan mengkreking solven pada temperatur dibawah titik didih solven., sehingga pelarut bisa

dikonversi menjadi produk diakhir proses DCL yang diinginkan.

3. Merekayasa Natural Zeolit Lampung menjadi katalis hirarkis melalui proses sintesis swelling solvent.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat kepada berbagai pihak, terutama bagi praktisi industri bahwa informasi ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan atau acuan dalam peningkatan efektivitas proses DCL menjadi teknologi yang efektif, bagi masyarakat dunia pendidikan sebagai informasi dalam memanfaatkan teknologi ini, dan sebagai sumber informasi untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam menyelesaikan masalah teknologi pengolahan batubara tingkat rendah menjadi bahan bakar cair dengan menggunakan bahan dan material yang tersedia di pasaran dan lingkungan sekitar.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, O., Rebufa, C., Dupuy, N., Permanyer, A., dan Kister, J. 2012. PLS regression on spectroscopic data for the prediction of crude oil quality: API gravity and aliphatic/aromatic ratio. *Fuel*. 98: 5–14.
- Abdul Jameel, A.G., Naser, N., Issayev, G., Touitou, J., Ghosh, M.K., Emwas, A.H., Farooq, A., Dooley, S., dan Sarathy, S.M. 2018A. A minimalist functional group (MFG) approach for surrogate fuel formulation. *Combustion and Flame*. 192: 250–271.
- Abdul Jameel, A.G., Oudenhoven, V. Van, Emwas, A.H., dan Sarathy, S.M. 2018B. Predicting Octane Number Using Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy and Artificial Neural Networks. *Energy and Fuels*. 32:5: 6309–6329.
- Abdullaev, S., Abomughaid, M.M., Jasim, D.J., Al-Rubaye, A.H., Jeddoa, Z.M.A., Majdi, H., Jabir, M.S., Hejazi, A., dan Albayati, T. i M. 2023. Synthesis and Characterization of Fullerene Modified with Copper Nanoparticles Catalyzed C-H Bond Activation as a Sustainable and Green Catalyst for Electro Synthesis of Benzothiazole Derivatives. *Journal of Molecular Structure*. 1302:November 2023: 137413.
- Aguilar-Armenta, G., Hernandez-Ramirez, G., Flores-Loyola, E., Ugarte-Castaneda, A., Silva-Gonzalez, R., Tabares-Munoz, C., Jimenez-Lopez, A., dan Rodriguez-Castellon, E. 2001. Adsorption kinetics of CO₂, O₂, N₂, and CH₄ in cation-exchanged clinoptilolite. *Journal of Physical Chemistry B*. 105:7: 1313–1319.
- Aguilar-armenta, G., Investigación, Á.R.C. De, dan Ciencias, F. De. 2009. Adsorption of C₂H₄, C₂H₆ and CO₂ on Cation-exchanged Clinoptilolite. :Eldridge 1993: 523–536.
- Akgül, M., dan Karabakan, A. 2011. Promoted dye adsorption performance over desilicated natural zeolite. *Microporous and Mesoporous Materials*. 145:1–3: 157–164.
- Al Ibrahim, E., Rekik, H.E., dan Farooq, A. 2023. Characterization of non-ideal blending in infrared spectra of gasoline surrogates. *Fuel*. 344:January: 128134.
- Al Rashidi, M.J., Mármol, J.C., Banyon, C., Sajid, M.B., Mehl, M., Pitz, W.J., Mohamed, S., Alfazazi, A., Lu, T., Curran, H.J., Farooq, A., dan Sarathy, S.M. 2017A. Cyclopentane combustion. Part II. Ignition delay measurements and mechanism validation. *Combustion and Flame*. 183: 372–385.
- Al Rashidi, M.J., Mehl, M., Pitz, W.J., Mohamed, S., dan Sarathy, S.M. 2017B. Cyclopentane combustion chemistry. Part I: Mechanism development and computational kinetics. *Combustion and Flame*. 183: 358–371.
- Alberti, A. 1997. Location of Brønsted sites in mordenite. *Zeolites*. 19:5–6: 411–415.
- Alberto, F., Ortíz, Q., Valenzuela, J.T., Alberto, C., dan Reyes, R. 2011. Zeolitisation of Neogene sedimentary and pyroclastic rocks exposed in Paipa (Boyacá), in the Colombian Andes : simulating their natural formation conditions. *EARTH SCIENCES RESEARCH JOURNAL*. 15:2: 89–100.
- Alemán-Vázquez, L.O., Cano-Domínguez, J.L., Torres-Mancera, P., dan Ancheyta, J. 2018. Organic polymers as solid hydrogen donors in the hydrogenation of cyclohexene. *Catalysis Today*. 305: 143–151.
- Alemán-Vázquez, L.O., Torres-Mancera, P., Ancheyta, J., dan Ramírez-Salgado, J. 2016. Use of Hydrogen Donors for Partial Upgrading of Heavy Petroleum. *Energy and Fuels*. 30:11: 9050–9060.

- Alsace, H., Cedex, M., dan Republic, C. 2007. Micro/mesoporous composites.
- Ambroz, F., Macdonald, T.J., Martis, V., dan Parkin, I.P. 2018. Evaluation of the BET theory for the characterization of meso and microporous MOFs. *Small Methods*. 2:11: 1–17.
- Ambrozova, P., Kynicky, J., Urubek, T., dan Nguyen, V.D. 2017. Synthesis and modification of clinoptilolite. *Molecules*. 22:7: 1–13.
- Anam, C., Sirojudin, dan Firdausi, K.S. 2007. Analisis Gugus Fungsi pada Sampel Uji, Bensin, dan Spiritus Menggunakan Metode Spektroskopi FTIR. *Berkala Fisika*. 10:1410–9662: 79–85.
- Apelian, M.R., Fung, A.S., Kennedy, G.J., dan Degnan, T.F. 1996. Dealumination of zeolite β via dicarboxylic acid treatment. *Journal of Physical Chemistry*. 100:41: 16577–16583.
- Armbruster, T. 2001. Zeolites and Mesoporous Materials at the dawn of the 21st century, Proceedings of the 13th International Zeolite Conference., *Studies in Surface Science and Catalysis*. 135: 13–27.
- Arun, N., Sharma, R. V., dan Dalai, A.K. 2015. Green diesel synthesis by hydrodeoxygenation of bio-based feedstocks: Strategies for catalyst design and development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 48: 240–255.
- Asaro, M., Smith, R.M., dan Davis, B.H. 2020. *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*, Encyclopedia of Sustainability Science and Technology.
- Ates, A. 2014. Role of modification of natural zeolite in removal of manganese from aqueous solutions. *Powder Technology*. 264: 86–95.
- Ates, A., dan Akgül, G. 2015. Modification of natural zeolite with NaOH for removal of manganese in drinking water. *Powder Technology*.
- Ates, A., Reitzmann, A., Hardacre, C., dan Yalcin, H. 2011. Abatement of nitrous oxide over natural and iron modified natural zeolites. *Applied Catalysis A: General*. 407:1–2: 67–75.
- Aysan, H., Edebali, S., Ozdemir, C., Celik Karakaya, M., dan Karakaya, N. 2016. Use of chabazite, a naturally abundant zeolite, for the investigation of the adsorption kinetics and mechanism of methylene blue dye. *Microporous and Mesoporous Materials*. 235: 78–86.
- Bailey, B.K., Stavinoha, L.L., dan Present, D.L. 1989. Gasoline deposit mechanism on aluminum at various temperatures. *SAE Technical Papers*.
- Bajpai, S.K., Mohan, Y.M., Bajpai, M., Tankhiwale, R., dan Thomas, V. 2007. Synthesis of polymer stabilized silver and gold nanostructures. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. 7:9: 2994–3010.
- Barrer, R.M., dan Makki, M.B. 1964. Molecular Sieve Sorbents From Clinoptilolite. *Canadian Journal of Chemistry*. 42:6: 1481–1487.
- Barthos, R., Lónyi, F., Onyestyák, G.Y., dan Valyon, J. 2001. An NH₃-TPD and -FR study on the acidity of sulfated zirconia. *Solid State Ionics*. 141–142: 253–258.
- Batdemberel, G., dan Dinnebier, R. 2015. Crystal Structural Study of Mongolian Natural Zeolite Crystal Structural Study of Mongolian Natural Zeolite. :November: 1–9.
- Batool, S.R., Sushkevich, V.L., dan van Bokhoven, J.A. 2022. Correlating Lewis acid activity to extra-framework aluminum species in zeolite Y introduced by Ion-exchange. *Journal of Catalysis*. 408: 24–35.
- Bedard, R.L. 2010. Synthesis of Zeolites and Manufacture of Zeolitic Catalysts and Adsorbents. *Zeolites in Industrial Separation and Catalysis*. 61–83.
- Bellussi, G., Carati, A., dan Millini, R. 2010. *Industrial Potential of Zeolites, Zeolites and Catalysis: Synthesis, Reactions and Applications*.

- Bergeret, G., Gallezot, P., Bergeret, G., Gallezot, P., Size, P., dan Measurements, D. 2021. Particle Size and Dispersion Measurements To cite this version : HAL Id : hal-00308909. 738–765.
- Bernardo, M. 2018. Highly Dispersed Metal Catalysts. *Nanoscience, Subjects*.
- Bernath, P.F. 2021. Comment on erratum to “Infrared absorption cross sections of isobutane with hydrogen and nitrogen as broadening gases J Quant Spectrosc Radiat Transf 227 (2019) 226-229”, J Quant Spectrosc Radiat Transf 242 (2020) 106771. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*. 273: 107840.
- Bertero, N.M., Trasarti, A.F., Acevedo, M.C., Marchi, A.J., dan Apesteguía, C.R. 2020. Solvent effects in solid acid-catalyzed reactions: The case of the liquid-phase isomerization/cyclization of citronellal over SiO₂-Al₂O₃. *Molecular Catalysis*. 481:September 2018: 110192.
- Borah, D., Barua, M., dan Baruah, M.K. 2005. Dependence of pyrite concentration on kinetics and thermodynamics of coal pyrolysis in non-isothermal systems. *Fuel Processing Technology*. 86:9: 977–993.
- Boruta, D.T., Dmitrenko, O., Yap, G.P.A., dan Fox, J.M. 2012. Rh₂(S-PTTL)₂TPA - A mixed-ligand dirhodium(ii) catalyst for enantioselective reactions of α -alkyl- α -diazoesters. *Chemical Science*. 3:5: 1589–1593.
- Buchsteiner, M., Martinez-Rodriguez, L., Jerabek, P., Pozo, I., Patzer, M., Nöthling, N., Lehmann, C.W., dan Fürstner, A. 2020. Catalytic Asymmetric Fluorination of Copper Carbene Complexes: Preparative Advances and a Mechanistic Rationale. *Chemistry - A European Journal*. 26:11: 2509–2515.
- C. Fyfe, G., Gobbi, J., Klinowski, J., Thomas, S., dan Ramdas, R. 1982. Resolving crystallographically distinct tetrahedral sites in silicalite and ZSM-5 by solid-state NMR. *Nature*.
- C. Song; A.K. Saini, P.G.H.H.H.S. 1992. Effects of Low-Temperature Catalytic Pretreatments on Coal Structure and Reactivity in Liquefaction.
- C, S., Schobert, H., dan Hatcher, P.. 1992. Temperature-programmed liquefaction of a low-rank coal. *Energy & Fuels*. :9: 326–328.
- Cai, J., Wang, Y., dan Huang, Q. 2008. Rapid liquefaction of Longkou lignite coal by using a tubular reactor under methane atmosphere. *Fuel*. 87:15–16: 3388–3392.
- Cakicioglu-Ozkan, F., dan Ulku, S. 2005. The effect of HCl treatment on water vapor adsorption characteristics of clinoptilolite rich natural zeolite. *Microporous and Mesoporous Materials*. 77:1: 47–53.
- Calabrò, E., dan Magazù, S. 2015. FTIR Spectroscopy Analysis of Molecular Vibrations in Gasoline Fuel Under 200 mT Static Magnetic Field Highlighted Structural Changes of Hydrocarbons Chains. *Petroleum Science and Technology*. 33:19: 1676–1684.
- Caló, F.P., dan Fürstner, A. 2020. A Heteroleptic Dirhodium Catalyst for Asymmetric Cyclopropanation with α -Stannyl α -Diazoacetate. “Stereoretentive” Stille Coupling with Formation of Chiral Quarternary Carbon Centers. *Angewandte Chemie - International Edition*. 59:33: 13900–13907.
- Chal, R., Cacciaguerra, T., Van Donk, S., dan Gérardin, C. 2010. Pseudomorphic synthesis of mesoporous zeolite y crystals. *Chemical Communications*. 46:41: 7840–7842.
- Chal, R., Gérardin, C., Bulut, M., dan VanDonk, S. 2011. Overview and Industrial Assessment of Synthesis Strategies towards Zeolites with Mesopores. *ChemCatChem*. 3:1: 67–81.
- Che, C., Glotch, T.D., Bish, D.L., Michalski, J.R., dan Xu, W. 2011. Spectroscopic

- study of the dehydration and/or dehydroxylation of phyllosilicate and zeolite minerals. *Journal of Geophysical Research: Planets*. 116:5: 1–23.
- Chen, L.H., Li, X.Y., Rooke, J.C., Zhang, Y.H., Yang, X.Y., Tang, Y., Xiao, F.S., dan Su, B.L. 2012. Hierarchically structured zeolites: Synthesis, mass transport properties and applications. *Journal of Materials Chemistry*. 22:34: 17381–17403.
- Chen, Q., Zhang, H., Liu, H., Yuan, J., Gao, Y., Wu, C., Wang, Q., Zhao, G., dan Liu, Y. 2024. Improved mechanical properties of carbon fiber/epoxy composites via fiber surface grafting of rigid-flexible chain structure. *Diamond and Related Materials*. 142:October 2023: 110739.
- Chen, Z., Xie, J., Liu, Q., Wang, H., Gao, S., Shi, L., dan Liu, Z. 2019. Characterization of direct coal liquefaction catalysts by their sulfidation behavior and tetralin dehydrogenation activity. *Journal of the Energy Institute*. :4.
- Chiba, K., Tagaya, H., dan Saito, N. 1987. Liquefaction of Yallourn Coal by Binary System Solvent. *Energy and Fuels*. 1:4: 338–343.
- Chmielewská, E., dan Chmielewská, E. 2019. Natural Zeolites as Sustainable and Environmental Inorganic Resources over the History to Present. *General Chemistry*. 5:3: 190001–190001.
- Choi, M., Na, K., Kim, J., Sakamoto, Y., Terasaki, O., dan Ryoo, R. 2009. Stable single-unit-cell nanosheets of zeolite MFI as active and long-lived catalysts. *Nature*. 461:7261: 246–249.
- Chowdhury, S., dan Bhattacharyya, K.G. 2019. Use of Cu(II)-incorporated zeolite Y for decolourization of dyes in water: a case study with aqueous methylene blue and Congo red. *SN Applied Sciences*. 1:1.
- Chunshan, S., Kirby, S., dan Schmidt, E. 1992. Novel bimetallic dispersed catalysts for temperature-programmed coal liquefaction. *Coal liquefaction and gas conversion contractor review meeting, Pittsburgh, PA (United States), 29-31 Aug 1995*.
- Čižmek, A., Subotić, B., Šmit, I., Tonejc, A., Aiello, R., Crea, F., dan Nastro, A. 1997. Dissolution of high-silica zeolites in alkaline solutions II. Dissolution of “activated” silicate-1 and ZSM-5 with different aluminum content. *Microporous Mater*. 8:159.
- Colella, C. 2005. Natural zeolites. *Studies in Surface Science and Catalysis*. 157: 13–40.
- Comolli, A.G., Lee, T.L.K., Popper, G.A., dan Zhou, P. 1999. The Shenhua coal direct liquefaction plant. *Fuel Processing Technology*. 59:2–3: 207–215.
- Coombs, D.S., Alberti, A., Armbruster, T., Artioli, G., Colella, C., Galli, E., Grice, J.D., Liebau, F., Mandarino, J.A., Minato, H., Nickel, E.H., Passaglia, E., Peacor, D.R., Quartieri, S., Rinaldi, R., Ross, M., Sheppard, R.A., Tillmanns, E., dan Vezzalini, G. 1997. Recommended nomenclature for zeolite minerals: report of the subcommittee on zeolites of the International Mineralogical Association, Commission on new Minerals and Mineral names. *Canadian Mineralogist*. 35:6: 1571–1606.
- Corma, A. 2003. State of the art and future challenges of zeolites as catalysts. *Journal of Catalysis*. 216:1–2: 298–312.
- Corma, A. 1997. From microporous to mesoporous molecular sieve materials and their use in catalysis. *Chemical Reviews*. 97:6: 2373–2419.
- Corma, A. 1995. Inorganic Solid Acids and Their Use in Acid-Catalyzed Hydrocarbon Reactions. *Chemical Reviews*. 95:3: 559–614.
- Corma, A., Diaz, U., Fornés, V., Guil, J.M., Martínez-Triguero, J., dan Creyghton, E.J. 2000. Characterization and catalytic activity of MCM-22 and MCM-56 compared with ITQ-2. *Journal of Catalysis*. 191:1: 218–224.

- Corma, A., Díaz, U., García, T., Sastre, G., dan Velty, A. 2010. Multifunctional hybrid organic-inorganic catalytic materials with a hierarchical system of well-defined micro- and mesopores. *Journal of the American Chemical Society*. 132:42: 15011–15021.
- Corma, A., Fornés, V., Navarro, M.T., dan Pérez-Pariente, J. 1994. Acidity and stability of MCM-41 crystalline aluminosilicates. *Journal of Catalysis*.
- Corma, A., Fornes, V., Pergher, S.B., Maesen, T.L.M., dan Buglass, J.G. 1998. Delaminated zeolite precursors as selective acidic catalysts. *Nature*. 396:6709: 353–356.
- Corma, A., Martínez, A., Fernandes, L.D., Monteiro, J.L.F., dan Sousa-Aguiar, E.F. 1995. Short chain paraffins isomerization on Pt/beta catalysts. Influence of framework and extraframework zeolite composition. *Studies in Surface Science and Catalysis*. 94:C: 456–463.
- Corsetti, S., Zehentbauer, F.M., McGloin, D., dan Kiefer, J. 2015. Characterization of gasoline/ethanol blends by infrared and excess infrared spectroscopy. *Fuel*. 141: 136–142.
- Dadyburjor, D.B., Fout, T.E., dan Zondlo, J.W. 2000. Ferric-sulfide-based catalysts made using reverse micelles: Effect of preparation on performance in coal liquefaction. *Catalysis Today*. 63:1: 33–41.
- Darmansyah, Ginting, S.B., Iryani, D.A., Sari, R.P., dan Supriyadi, D. 2021. Characterization of Modified Lampung Natural Zeolite with Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide (CTAB) for Adsorption Industrial Tapioca Wastewater . *Proceedings of the International Conference on Sustainable Biomass (ICSB 2019)*. 202:Icsb 2019: 230–235.
- Davis, E. 1993. New Vistas in Zeolite and Molecular Sieve Catalysis. :7: 111–115.
- De Rodriguez, I.M., Chomón, M.J., Caballero, B., Arias, P.L., dan Legarreta, J.A. 1998. Liquefaction behaviour of a Spanish subbituminous A coal under different conditions of hydrogen availability. *Fuel Processing Technology*. 58:1: 17–24.
- DeAngelis, A., Panish, R., dan Fox, J.M. 2016. Rh-Catalyzed Intermolecular Reactions of α -Alkyl- α -Diazo Carbonyl Compounds with Selectivity over β -Hydride Migration. *Accounts of Chemical Research*. 49:1: 115–127.
- Degnan, T.F. 2003. The implications of the fundamentals of shape selectivity for the development of catalysts for the petroleum and petrochemical industries. *Journal of Catalysis*. 216:1–2: 32–46.
- Deng, C., Zhang, J., Dong, L., Huang, M., Li, B., Jin, G., Gao, J., Zhang, F., Fan, M., Zhang, L., dan Gong, Y. 2016. The effect of positioning cations on acidity and stability of the framework structure of γ zeolite. *Scientific Reports*. 6:March: 1–13.
- Dessau, R.M., Valyocsik, E.W., dan Goeke, N.H. 1992. Aluminum zoning in ZSM-5 as revealed by selective silica removal. *Zeolites*. 12:7: 776–779.
- Díaz, U., dan Corma, A. 2014. Layered zeolitic materials: An approach to designing versatile functional solids. *Dalton Transactions*. 43:27: 10292–10316.
- Donath, E.E. 1982. History of Catalysis in Coal Liquefaction BT - Catalysis: Science and Technology., in: Anderson, J.R., dan Boudart, M. (Ed.), . Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg, hal. 1–38.
- Doula, M.K. 2007. Synthesis of a clinoptilolite-Fe system with high Cu sorption capacity. *Chemosphere*. 67:4: 731–740.
- Egeblad, K., Christensen, Christina H., Kustova, M., dan Christensen, Claus H. 2008. Templating mesoporous zeolites. *Chemistry of Materials*. 20:3: 946–960.
- Ejka, J., Krejčí, A., Ilková, N., Kotrla, J., Ernst, S., dan Weber, A. 2002. Activity and

- selectivity of zeolites MCM-22 and MCM-58 in the alkylation of toluene with propylene. *Microporous and Mesoporous Materials*. 53:1–3: 121–133.
- ELLIS, A.J. 1960. Mordenite synthesis in a natural hydrothermal solution. *Geochim.* 1957–1958.
- Fajdek-Bieda, A., Wróblewska, A., Miądlicki, P., Tołpa, J., dan Michalkiewicz, B. 2021. Clinoptilolite as a natural, active zeolite catalyst for the chemical transformations of geraniol. *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*. 133:2: 997–1011.
- Fajriani, I.Y., Syaiful, A.Z., dan Ariani, F. 2022. PEMANFAATAN ZEOLIT YANG TERAKTIVASI ASAM KLOORIDA (HCl) SEBAGAI ADSORBEN LOGAM BERAT TIMBAL (Pb). *Saintis*. 3:1.
- Fatimah, D. 2009. MODIFIKASI ZEOLIT ALAM MELALUI PENANAMAN INHIBITOR Cu. 8:2: 66–75.
- Feliczak-Guzik, A. 2018A. Hierarchical zeolites: Synthesis and catalytic properties. *Microporous and Mesoporous Materials*. 259: 33–45.
- Feliczak-Guzik, A. 2018B. Hierarchical zeolites: Synthesis and catalytic properties. *Microporous and Mesoporous Materials*. 259: 33–45.
- Feng, Z., Bai, Z., Hou, R., Guo, Z., Kong, L., Bai, J., dan Li, W. 2021. Co-pyrolysis of mild liquefaction solid product and low rank coals: Products distributions, products properties and interactions. *Fuel*. 306:April: 121719.
- Feng, Z., Bai, Z., Zheng, H., Zheng, K., Hou, R., Guo, Z., Kong, L., Bai, J., dan Li, W. 2019. Study on the pyrolysis characteristic of mild liquefaction solid product of Hami coal and CO₂ gasification of its char. *Fuel*. 253:February: 1034–1041.
- Fernández, F.M. 2016. Simple model for Crystal Field Theory. 1–10.
- Filippidis, A., Godelitsas, A., Charistos, D., Misaelides, P., dan Kassoli-Fournaraki, A. 1996. The chemical behavior of natural zeolites in aqueous environments: Interactions between low-silica zeolites and 1 M NaCl solutions of different initial pH-values. *Applied Clay Science*. 11:2–4: 199–209.
- Flatman-Fairs, D.P., dan Harrison, G. 1999. Suitability of UK bituminous and Spanish lignitous coals, and their blends for two stage liquefaction. *Fuel*. 78:14: 1711–1717.
- Frączak, J., Hidalgo Herrador, J.M., Lederer, J., Stevens, L., Uguna, C., Snape, C., Gómez de la Fuente, J.L., Anděl, L., Svoboda, P., dan Pinto, F. 2018. Direct primary brown coal liquefaction via non-catalytic and catalytic co-processing with model, waste and petroleum-derived hydrogen donors. *Fuel*. 234:June: 364–370.
- Gackowski, M., Tarach, K., Kuterasiński, Podobiński, J., Jarczewski, S., Kuśtrowski, P., dan Datka, J. 2018. Hierarchical zeolites Y obtained by desilication: Porosity, acidity and catalytic properties. *Microporous and Mesoporous Materials*. 263: 282–288.
- Gao, D. 2018. Life cycle analysis of direct and indirect coal liquefaction for vehicle power in China. *Fuel Processing Technology*. 169: 42–49.
- Gao, D., Zhang, B., Xu, X., dan Wu, C.G. 2017. Scenario object model based on-line safety analysis for chemical process. *Kemija u industriji/Journal of Chemists and Chemical Engineers*. 66:11–12: 601–610.
- Gao, Y., Zheng, B., Wu, G., Ma, F., dan Liu, C. 2016. Effect of the Si/Al ratio on the performance of hierarchical ZSM-5 zeolites for methanol aromatization. *RSC Advances*. 6:87: 83581–83588.
- Garcia-Basabe, Y., Rodriguez-Iznaga, I., De Menorval, L.C., Llewellyn, P., Maurin, G., Lewis, D.W., Binions, R., Autie, M., dan Ruiz-Salvador, A.R. 2010. Step-wise dealumination of natural clinoptilolite: Structural and physicochemical

- characterization. *Microporous and Mesoporous Materials*. 135:1–3: 187–196.
- Garcia-Valles, M. 2021. Editorial for special issue “industrial minerals.” *Minerals*. 11:2: 1–4.
- Gates, B.C. 2019. Atomically Dispersed Supported Metal Catalysts: Seeing Is Believing. *Trends in Chemistry*. 1:1: 99–110.
- Gates, B.C., Katzer, J.R., Olson, J.H., dan Schuit, G.C.A. 1974. Chemistry of Catalytic Processes. *Chemical Engineering Education*. 8:4: 172–175.
- Ghosh, A.K., Prasad, G.N., dan Sridhar, T. 1987. Generalized Kinetic Model of Catalyzed Hydroliquefaction of Coal Incorporating Tetralin Dehydrogenation Reaction. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 26:9: 1825–1831.
- Gibbs, G. V., Breck, D.W., dan Meagher, E.P. 1968. Structural refinement of hydrous and anhydrous synthetic beryl, $\text{Al}_2(\text{Be}_3\text{Si}_6)\text{O}_{18}$ and emerald, $\text{Al}_{1.9}\text{Cr}_{0.1}(\text{Be}_3\text{Si}_6)\text{O}_{18}$. *Lithos*. 1:3: 275–285.
- Giudici, R. 1999. adsorption behavior of mordenite extrudates.
- Glasser, D., Hildebrandt, D., Liu, X., Lu, X., dan Masuku, C.M. 2012. Recent advances in understanding the Fischer-Tropsch synthesis (FTS) reaction. *Current Opinion in Chemical Engineering*. 1:3: 296–302.
- Godo, M., Saito, M., Ishihara, A., dan Kabe, T. 1998. Elucidation of coal liquefaction mechanisms using a tritium tracer method: Hydrogen exchange reaction of solvents with tritiated molecular hydrogen in the presence and absence of H_2S . *Fuel*. 77:9–10: 947–952.
- González, J.F., Encinar, J.M., Canito, J.L., dan Rodríguez, J.J. 2001. Pyrolysis of automobile tyre waste. Influence of operating variables and kinetics study. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 58:59: 667–683.
- Grigorieva, E.N., Panchenko, S.S., Korobkov, V.Y., dan Kalechitz, I.V. 1994. Correlation between structure and reactivity of diarylmethanes as coal-related model substances. *FUEL PROCESSING TECHNOLOGY*. 41: 39–53.
- Groen, J.C., Bach, T., Ziese, U., Paulaime-Van Donk, A.M., De Jong, K.P., Moulijn, J.A., dan Pérez-Ramírez, J. 2005A. Creation of hollow zeolite architectures by controlled desilication of Al-zoned ZSM-5 crystals. *Journal of the American Chemical Society*. 127:31: 10792–10793.
- Groen, J.C., Moulijn, J.A., dan Pérez-Ramírez, J. 2005B. Decoupling mesoporosity formation and acidity modification in ZSM-5 zeolites by sequential desilication-dealumination. *Microporous and Mesoporous Materials*. 87:2: 153–161.
- Groen, J.C., Peffer, L.A.A., Moulijn, J.A., dan Pérez-Ramírez, J. 2005C. Mechanism of hierarchical porosity development in MFI zeolites by desilication: The role of aluminium as a pore-directing agent. *Chemistry - A European Journal*. 11:17: 4983–4994.
- Haag, W., R.Lago, dan Weisz, P. 1984. The active site of acidic aluminosilicate catalysts. *Nature Chemistry*.
- Haddad, B., Boumediene, M., Khalili, B., Ghauri, K., Paolone, A., Taibi, S., Yazid, W., Assenine, M.A., Villemin, D., Rahmouni, M., dan Bresson, S. 2024. Synthesis, vibrational and thermal studies of new 3,3'-dibutyl-1,1'-(1,4-phenylenedimethylene)-bis (1H-imidazolium) ionic liquids: An experimental and quantum computational investigation. *Journal of Molecular Structure*. 1300:September 2023: 137325.
- Haenel, M.W. 2002. 3023 13.18.
- Hartmann, M., Machoke, A.G., dan Schwieger, W. 2016. Catalytic test reactions for the evaluation of hierarchical zeolites. *Chemical Society Reviews*. 45:12: 3313–3330.
- Hata, K.A., Watanabe, Y., Wada, K., dan Mitsudo, T.A. 1998. Iron sulfate/sulfur-

- catalyzed liquefaction of Wandoan coal using syngas-water as a hydrogen source. *Fuel Processing Technology*. 56:3: 291–304.
- He, W., Liu, Z., Liu, Q., Shi, L., Shi, X., Wu, J., dan Guo, X. 2017. Behavior of radicals during solvent extraction of three low rank bituminous coals. *Fuel Processing Technology*. 156: 221–227.
- He, Y.J., Nivarthi, G.S., Eder, F., Seshan, K., dan Lercher, J.A. 1998. Synthesis, characterization and catalytic activity of the pillared molecular sieve MCM-36. *Microporous and Mesoporous Materials*. 25:1–3: 207–224.
- Hernández-Huesca, R., Díaz, L., dan Aguilar-Armenta, G. 1999. Adsorption equilibria and kinetics of CO₂, CH₄ and N₂ in natural zeolites. *Separation and Purification Technology*. 15:2: 163–173.
- Hernández, M.A., Rojas, F., dan Lara, V.H. 2000. Nitrogen-sorption characterization of the microporous structure of clinoptilolite-type zeolites. *Journal of Porous Materials*. 7:4: 443–454.
- Hernawan, Wahono, S.K., Maryana, R., dan Pratiwi, D. 2015. Modification of Gunungkidul Natural Zeolite as Bioethanol Dehydrating Agents. *Energy Procedia*. 65: 116–120.
- Hidalgo, C. V., Kato, M., Hattori, T., Niwa, M., dan Murakami, Y. 1984. Modification of mordenite by chemical vapour deposition of metal chloride. *Zeolites*. 4:2: 175–180.
- Hieu, D.T., Kosslick, H., Riaz, M., Schulz, A., Springer, A., Frank, M., Jaeger, C., Thu, N.T.M., dan Son, L.T. 2022. Acidity and Stability of Brønsted Acid Sites in Green Clinoptilolite Catalysts and Catalytic Performance in the Etherification of Glycerol. *Catalysts*. 12:3: 1–24.
- Hirano, K. 1999. Outline of NEDOL coal liquefaction process development - Pilot plant program -. *Nihon Enerugi Gakkaishi/Journal of the Japan Institute of Energy*. 78:10: 851.
- Hirano, K., Kouzu, M., Okada, T., Kobayashi, M., Ikenaga, N., dan Suzuki, T. 1999. Catalytic activity of iron compounds for coal liquefaction. *Fuel*. 78:15: 1867–1873.
- Hoff, T.C., Gardner, D.W., Thilakarathne, R., Proano-Aviles, J., Brown, R.C., dan Tessonnier, J.P. 2017. Elucidating the effect of desilication on aluminum-rich ZSM-5 zeolite and its consequences on biomass catalytic fast pyrolysis. *Applied Catalysis A: General*. 529: 68–78.
- Holm, M.S., Taarning, E., Egeblad, K., dan Christensen, C.H. 2011. Catalysis with hierarchical zeolites. *Catalysis Today*. 168:1: 3–16.
- Hong, S., dan Um, W. 2021. Top-down synthesis of nap zeolite from natural zeolite for the higher removal efficiency of cs, sr, and ni. *Minerals*. 11:3: 1–15.
- Hook, M., dan Aleklett, K. 2010. A review on coal-to-liquid fuels and its coal consumption. *Archives of Thermodynamics*. 34:4: 848–864.
- Hou, J., Yuan, J., dan Shang, R. 2012. Synthesis and characterization of zeolite W and its ion-exchange properties to K⁺ in seawater. *Powder Technology*. 226: 222–224.
- Hsiang-Hui, K., dan Stock, L.M. 1984. Aspects of the chemistry of donor solvent coal dissolution. Promotion of the bond cleavage reactions of diphenylalkanes and the related ethers and amines. *Fuel*. 63:6: 810–815.
- Huang, J., Jiang, Y., Marthala, V.R.R., Bressel, A., Frey, J., dan Hunger, M. 2009. Effect of pore size and acidity on the coke formation during ethylbenzene conversion on zeolite catalysts. *Journal of Catalysis*. 263:2: 277–283.
- Huang, L., dan Schobert, H.H. 2005. Comparison of temperature conditions in direct

- liquefaction of selected low-rank coals. *Energy and Fuels*. 19:1: 200–207.
- Huang, Y., Rolfe, A., Rezvani, S., Herrador, J.M.H., Franco, F., Pinto, F., Snape, C., dan Hewitt, N. 2020. Converting brown coal to synthetic liquid fuels through direct coal liquefaction technology: Techno-economic evaluation. *International Journal of Energy Research*. 44:14: 11827–11839.
- Hulston, C.K.J., Redlich, P.J., Jackson, W.R., Larkins, F.P., dan Marshall, M. 1996. Nickel molybdate-catalysed hydrogenation of brown coal without solvent or added sulfur. *Fuel*. 75:12: 1387–1392.
- Hulston, C.K.J., Redlich, P.J., Jackson, W.R., Larkins, F.P., dan Marshall, M. 1995. Reactions of coals of different ranks with COH₂ mixtures with and without sodium aluminate. *Fuel*. 74:12: 1870–1874.
- Huo, H., Lin, H., Dong, Y., Cheng, H., Wang, H., dan Cao, L. 2012. Ammonia-nitrogen and phosphates sorption from simulated reclaimed waters by modified clinoptilolite. *Journal of Hazardous Materials*. 229–230: 292–297.
- IJIMA, A., dan UTADA, M. 1966. Zeolites in Sedimentary Rocks, With Reference To the Depositional Environments and Zonal Distribution. *Sedimentology*. 7:4: 327–357.
- Ikenaga, N., Kan-Nan, S., Sakoda, T., dan Suzuki, T. 1997. Coal hydroliquefaction using highly dispersed catalyst precursors. *Catalysis Today*. 39:1–2: 99–109.
- Ilias, S., dan Bhan, A. 2013. Mechanism of the catalytic conversion of methanol to hydrocarbons. *ACS Catalysis*. 3:1: 18–31.
- Inokawa, H., Nishimoto, S., Kameshima, Y., dan Miyake, M. 2010. Difference in the catalytic activity of transition metals and their cations loaded in zeolite y for ethanol steam reforming. *International Journal of Hydrogen Energy*. 35:21: 11719–11724.
- Ivanova, I.I., dan Knyazeva, E.E. 2013. Micro-mesoporous materials obtained by zeolite recrystallization: Synthesis, characterization and catalytic applications. *Chemical Society Reviews*. 42:9: 3671–3688.
- Jentoft, R.E., Tsapatsis, M., Davis, M.E., dan Gates, B.C. 1998. Platinum clusters supported in zeolite LTL: Influence of catalyst morphology on performance in n-hexane reforming. *Journal of Catalysis*. 179:2: 565–580.
- Ji, Y., Yang, H., dan Yan, W. 2019. Effect of alkali metal cations modification on the acid/basic properties and catalytic activity of ZSM-5 in cracking of supercritical n-dodecane. *Fuel*. 243:June 2018: 155–161.
- Jin, D., Zhu, B., Hou, Z., Fei, J., Lou, H., dan Zheng, X. 2007. Dimethyl ether synthesis via methanol and syngas over rare earth metals modified zeolite Y and dual Cu-Mn-Zn catalysts. *Fuel*. 86:17–18: 2707–2713.
- Johan, E., Yamada, T., Munthali, M.W., Kabwadza-Corner, P., Aono, H., dan Matsue, N. 2015. Natural Zeolites as Potential Materials for Decontamination of Radioactive Cesium. *Procedia Environmental Sciences*. 28:Sustain 2014: 52–56.
- Joshi, U.D., Joshi, P.N., Tamhankar, S.S., Joshi, V.P., Idage, B.B., Joshi, V. V., dan Shiralkar, V.P. 2002. Influence of the size of extraframework monovalent cations in X-type zeolite on their thermal behavior. *Thermochimica Acta*. 387:2: 121–130.
- Jung, J., Jo, C., Mota, F.M., Cho, J., dan Ryoo, R. 2015. Acid catalytic function of Mesopore walls generated by MFI zeolite desilication in comparison with external surfaces of MFI zeolite nanosheet. *Applied Catalysis A: General*. 492: 68–75.
- Kadirbekov, K., Zhambakin, D., Kadirbekov, A., dan Imanbekov, K. 2017. Acid Activation of Natural Zeolite with High Content of Iron Oxides in Creation of Selective Sorbents and Catalysts. *MATEC Web of Conferences*. 96: 1–6.
- Kaneko, T., Tazawa, K., Koyama, T., Satou, K., Shimasaki, K., dan Kageyama, Y. 1998.

- Transformation of iron catalyst to the active phase in coal liquefaction. *Energ. Fuel.* 0624:8: 897–904.
- Kaneko, T., Tazawa, K., Okuyama, N., Tamura, M., dan Shimasaki, K. 2000. Effect of highly dispersed iron catalyst on direct liquefaction of coal. *Fuel.* 79:3–4: 263–271.
- Kapustin, G.I., Brueva, T.R., Klyachko, A.L., Beran, S., dan Wichterlova, B. 1988. Determination of the number and acid strength of acid sites in zeolites by ammonia adsorption. Comparison of calorimetry and temperature-programmed desorption of ammonia. *Applied Catalysis.* 42:2: 239–246.
- Karaca, H. 2006. Effect of coal liquefaction conditions on the composition of the product oil. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects.* 28:16: 1483–1492.
- Karge, H.G. 1991. Chapter 14 Coke Formation on Zeolites. *Studies in Surface Science and Catalysis.* 58:C: 531–570.
- Karsenty, F., Sarathy, S.M., Togbé, C., Westbrook, C.K., Dayma, G., Dagaut, P., Mehl, M., dan Pitz, W.J. 2012. Experimental and kinetic modeling study of 3-methylheptane in a jet-stirred reactor. *Energy and Fuels.* 26:8: 4680–4689.
- Katada, N., Igi, H., Kim, J.H., dan Niwa, M. 1997. Determination of the acidic properties of zeolite by theoretical analysis of temperature-programmed desorption of ammonia based on adsorption equilibrium. *Journal of Physical Chemistry B.* 101:31: 5969–5977.
- Katranas, T.K., Vlessidis, A.G., Tsiatouras, V.A., Triantafyllidis, K.S., dan Evmiridis, N.P. 2003. Dehydrogenation of propane over natural clinoptilolite zeolites. *Microporous and Mesoporous Materials.* 61:1–3: 189–198.
- Kauppinen, J.K., Moffatt, D.J., Cameron, D.G., dan Mantsch, H.H. 1981. Noise in Fourier self-deconvolution. *Applied Optics.* 20:10: 1866.
- Keboletse, K.P., Ntuli, F., dan Oladijo, O.P. 2021. Influence of coal properties on coal conversion processes-coal carbonization, carbon fiber production, gasification and liquefaction technologies: a review. *International Journal of Coal Science & Technology.* 8: 817+.
- Khanmohammadi Khorrani, M., Sadrara, M., dan Mohammadi, M. 2022. Quality classification of gasoline samples based on their aliphatic to aromatic ratio and analysis of PONA content using genetic algorithm based multivariate techniques and ATR-FTIR spectroscopy. *Infrared Physics and Technology.* 126:September: 104354.
- Kim, D., Robinson, K., Gutberlet, L., dan Bertolacini, R. 1979. Catalyst Development for Coal Liquefaction. *Electr Power Res Inst Rep EPRI AF.* :1084.
- Kim, K.N., Kang, S.C., dan Kwak, G. 2023. The Effect of Structure and Acidity of Fluorinated HZSM-5 on Ethylene Aromatization. *Applied Chemistry for Engineering.* 34:1: 15–22.
- Kinashi, K., Kambe, Y., Misaki, M., Koshiba, Y., Ishida, K., dan Ueda, Y. 2012. Synthesis, characterization, photo-induced alignment, and surface orientation of poly(9,9-dioctylfluorene-alt-azobenzene)s. *Journal of Polymer Science, Part A: Polymer Chemistry.* 50:24: 5107–5114.
- Kohli, S., Rithner, C.D., dan Dorhout, P.K. 2002. X-ray characterization of annealed iridium films. *Journal of Applied Physics.* 91:3: 1149–1154.
- Kondru, A.K., Kumar, P., dan Chand, S. 2009. Catalytic wet peroxide oxidation of azo dye (Congo red) using modified Y zeolite as catalyst. *Journal of Hazardous Materials.* 166:1: 342–347.
- Kong, X., Bai, Y., Yan, L., dan Li, F. 2016. Catalytic upgrading of coal gaseous tar over

- Y-type zeolites. *Fuel*. 180:April: 205–210.
- Korkuna, O., Leboda, R., Skubiszewska-Zięba, J., Vrublevs'ka, T., Gun'ko, V.M., dan Ryczkowski, J. 2006. Structural and physicochemical properties of natural zeolites: Clinoptilolite and mordenite. *Microporous and Mesoporous Materials*. 87:3: 243–254.
- Kosinov, N., Liu, C., Hensen, E.J.M., dan Pidko, E.A. 2018. Engineering of Transition Metal Catalysts Confined in Zeolites. *Chemistry of Materials*. 30:10: 3177–3198.
- Kouzu, M., Koyama, K., Oneyama, M., Aramaki, T., Hayashi, T., Kobayashi, M., Itoh, H., dan Hattori, H. 2000. Catalytic hydrogenation of recycle solvent in a 150 t/d pilot plant of the NEDOL coal liquefaction process. *Fuel*. 79:3–4: 365–371.
- Kouzu, M., Kuriki, Y., Uchida, K., Sakanishi, K., Sugimoto, Y., Saito, I., Fujii, D., dan Hirano, K. 2005. Catalytic hydrocracking of petroleum residue over carbon-supported nickel-molybdenum sulfides. *Energy and Fuels*. 19:3: 725–730.
- Kowalczyk, P., Sprynskyy, M., Terzyk, A.P., dan Lebedynets, M. 2006. Porous structure of natural and modified clinoptilolites. 297: 77–85.
- Kristiani, A., Sudiyarmanto, S., Aulia, F., Nurul Hidayati, L., dan Abimanyu, H. 2017. Metal supported on natural zeolite as catalysts for conversion of ethanol to gasoline. *MATEC Web of Conferences*. 101.
- Kumar, V., Mohapatra, T., Dharmadhikari, S., dan Ghosh, P. 2020. A review paper on heterogeneous fenton catalyst: Types of preparation, modification techniques, factors affecting the synthesis, characterization, and application in the wastewater treatment. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*. 15:1: 1–34.
- Kurniawan, T., dan Adha Firdaus, M. 2019. Zeolite for Agriculture Intensification and Catalyst in Agroindustry ARTICLE HISTORY ABSTRACT. *World Chemical Engineering Journal*. 3:1: 14–23.
- Kusdarto. 2008. Potensi Zeolit Di Indonesia. *Jurnal Zeolit Indonesia*. 7:2: 2.
- Kuznetsov, P.N., Bimer, J., Salbut, P.D., Korniyets, E.D., Kuznetsova, L.I., dan Snape, C.E. 1997. The nature of the synergistic effect of binary tetralin-alcohol solvents in Kansk-Achinsk brown coal liquefaction. *Fuel Processing Technology*. 50:2–3: 139–152.
- Lahijani, P., Zainal, Z.A., Mohamed, A.R., dan Mohammadi, M. 2013. CO₂ gasification reactivity of biomass char: Catalytic influence of alkali, alkaline earth and transition metal salts. *Bioresource Technology*. 144: 288–295.
- Lapuerta, M., Hernández, J.J., dan Sarathy, S.M. 2016. Effects of methyl substitution on the auto-ignition of C₁₆ alkanes. *Combustion and Flame*. 164: 259–269.
- Larson, E.D., dan Tingjin, R. 2003. Synthetic fuel production by indirect coal liquefaction. *Energy for Sustainable Development*. 7:4: 79–102.
- Lawton, S.L., Fung, A.S., Kennedy, G.J., Alemany, L.B., Chang, C.D., Hatzikos, G.H., Lissy, D.N., Rubin, M.K., Timken, H.K.C., Steuernagel, S., dan Woessner, D.E. 1996. Zeolite MCM-49: A three-dimensional MCM-22 analogue synthesized by in situ crystallization. *Journal of Physical Chemistry*. 100:9: 3788–3798.
- Lee, H.C., Woo, H.C., Ryoo, R., Lee, K.H., dan Lee, J.S. 2000. Skeletal isomerization of n-butenes to isobutene over acid-treated natural clinoptilolite zeolites. *Applied Catalysis A: General*. 196:1: 135–142.
- Lee, S.H., Shin, C.H., dan Hong, S.B. 2004. Investigations into the origin of the remarkable catalytic performance of aged H-ferrierite for the skeletal isomerization of 1-butene to isobutene. *Journal of Catalysis*. 223:1: 200–211.
- Leonowicz, M.E., Lawton, J.A., Lawton, S.L., dan Rubin, M.K. 1994. MCM-22 : A Molecular Sieve with Two Independent calcined. 043: 22–25.
- Lestari, D.Y. 2010. Kajian Modifikasi dan Karakterisasi Zeolit Alam dari Berbagai

- Negara. *Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia 2010*. 6.
- Li, K., Valla, J., dan Garcia-Martinez, J. 2014. Realizing the commercial potential of hierarchical zeolites: New opportunities in catalytic cracking. *ChemCatChem*. 6:1: 46–66.
- Li, S., Cao, R., Xu, M., dan Deng, Y. 2022. Atomically dispersed Ir/ α -MoC catalyst with high metal loading and thermal stability for water-promoted hydrogenation reaction. *Natl Sci Rev*. 4:4: 527–534.
- Li, S., dan Li, J. 2016. Improvements on full-profile fitting pendant drop method used for surface tension measurement. *J. Colloid Interface Sci*. 493: 893–898.
- Li, W. 2017. Transformation and roles of inherent mineral matter in direct coal liquefaction: A mini-review. *Fuel*.
- Li, X., Bai, Z.Q., Bai, J., Han, Y.N., Li, P., Lv, D.M., Xu, J.L., Dai, X., Kong, L.X., dan Li, W. 2015. Influences of exchangeable metallic species on solvent extraction of Xiaolongtan lignite and characterization of the separated portions. *Fuel Processing Technology*. 138: 42–47.
- Li, X., Hu, S., Jin, L., dan Hu, H. 2008. Role of iron-based catalyst and hydrogen transfer in direct coal liquefaction. *Energy and Fuels*. 22:2: 1126–1129.
- Lin, H., Lian, J., Liu, Y., Xue, Y., Yan, S., Han, S., dan Wei, W. 2019. Comprehensive study of structure model, pyrolysis and liquefaction behaviour of Heidaigou lignite and its liquefied oil. *Fuel*. 240:December 2018: 84–91.
- Liu, B., Li, Y., Wu, H., Ma, F., dan Cao, Y. 2020A. Room-temperature solid-state preparation of CoFe₂O₄@coal composites and their catalytic performance in direct coal liquefaction. *Catalysts*. 10:5.
- Liu, B., Li, Y., Wu, H., Ma, F., dan Cao, Y. 2020B. Room-Temperature Solid-State Preparation of.
- Liu, F., Yang, T., Yang, J., Xu, E., Bajaj, A., dan Kulik, H.J. 2019. Bridging the homogeneous-heterogeneous divide: Modeling spin for reactivity in single atom catalysis. *Frontiers in Chemistry*. 7:MAR: 1–15.
- Liu, L., Díaz, U., Arenal, R., Agostini, G., Concepción, P., Corma, A., Ferrand, H. Le, Bouville, F., Niebel, T.P., dan Studart, A.R. 2017. Corrigendum: Generation of subnanometric platinum with high stability during transformation of a 2D zeolite into 3D (Nature Materials (2017) 16 (132-138) DOI: 10.1038/nmat4757). *Nature Materials*. 16:12: 1272.
- Liu, T.L., Cao, J.P., Zhao, X.Y., Wang, J.X., Ren, X.Y., Fan, X., Zhao, Y.P., dan Wei, X.Y. 2017. In situ upgrading of Shengli lignite pyrolysis vapors over metal-loaded HZSM-5 catalyst. *Fuel Processing Technology*. 160: 19–26.
- Liu, X., Zhou, Z.J., Hu, Q.J., Dai, Z.H., dan Wang, F.C. 2011. Experimental study on co-gasification of coal liquefaction residue and petroleum coke. *Energy and Fuels*. 25:8: 3377–3381.
- Liu, Z., Shi, S., dan Li, Y. 2010. Coal liquefaction technologies-Development in China and challenges in chemical reaction engineering. *Chemical Engineering Science*. 65:1: 12–17.
- Liu, Z., Yang, J., Zondlo, J.W., Stiller, A.H., dan Dadyburjor, D.B. 1996. In situ impregnated iron-based catalysts for direct coal liquefaction. *Fuel*. 75:1: 51–57.
- Lobree, L.J., Hwang, I.C., Reimer, J.A., dan Bell, A.T. 1999. Investigations of the state of Fe in H-ZSM-5. *Journal of Catalysis*. 186:2: 242–253.
- López-Bastidas, C., Smolentseva, E., Petranovskii, V.P., dan Machorro, R. 2016. Plasmon spectra of binary Ag-Cu mixtures supported in mordenite. *Plasmonics: Design, Materials, Fabrication, Characterization, and Applications XIV*. 9921:430: 992130.

- Lopez-orozco, S., Inayat, A., Schwab, A., Selvam, T., dan Schwieger, W. 2011. Zeolitic Materials with Hierarchical Porous Structures. 2602–2615.
- Lu, J., Zhao, Z., Xu, C., Duan, A., Wang, X., dan Zhang, P. 2008. Catalytic cracking of isobutane over HZSM-5, FeHZSM-5 and CrHZSM-5 catalysts with different SiO₂/Al₂O₃ ratios. *Journal of Porous Materials*. 15:2: 213–220.
- Ma, Y., Yan, C., Alshameri, A., Qiu, X., Zhou, C., dan Li, D. 2014. Synthesis and characterization of 13X zeolite from low-grade natural kaolin. *Advanced Powder Technology*. 25:2: 495–499.
- Ma, Y.Y., Wang, H.H., Mo, W.L., Zhang, X.Y., Fan, X., Ma, J., Ma, F.Y., dan Wei, X.Y. 2021. Effect of Swelling by Organic Solvent on Structure, Pyrolysis, and Methanol Extraction Performance of Hefeng Bituminous Coal. *ACS Omega*. 6:23: 14765–14773.
- Maache, M., Janin, A., Lavalley, J.C., dan Benazzi, E. 1995. FT infrared study of Brønsted acidity of H-mordenites: Heterogeneity and effect of dealumination. *Zeolites*. 15:6: 507–516.
- Madsen, H.E.L. 2007. Theory of electrolyte crystallization in magnetic field. *Journal of Crystal Growth*. 305:1: 271–277.
- Mansouri, N., Rikhtegar, N., Ahmad Panahi, H., Atabi, F., dan Shahraki, B.K. 2013. Porosity, characterization and structural properties of natural zeolite - Clinoptilolite - As a sorbent. *Environment Protection Engineering*. 39:1: 139–152.
- Marabotti, P., Tommasini, M., Castiglioni, C., Peggiani, S., Serafini, P., Rossi, B., Li Bassi, A., Russo, V., dan Casari, C.S. 2024. Synchrotron-based UV resonance Raman spectroscopy probes size confinement, termination effects, and anharmonicity of carbon atomic wires. *Carbon*. 216:September 2023: 118503.
- Márquez, F., García, H., Palomares, E., Fernández, L., dan Corma, A. 2000. Spectroscopic evidence in support of the molecular orbital confinement concept: Case of anthracene incorporated in zeolites [17]. *Journal of the American Chemical Society*. 122:27: 6520–6521.
- Martens, J.A., Verboekend, D., Thomas, K., Vanbutsele, G., Pérez-Ramírez, J., dan Gilson, J.P. 2013. Hydroisomerization and hydrocracking of linear and multibranched long model alkanes on hierarchical Pt/ZSM-22 zeolite. *Catalysis Today*. 218–219: 135–142.
- Martínez, C., Verboekend, D., Pérez-Ramírez, J., dan Corma, A. 2013. STABILIZED HIERARCHICAL USY ZEOLITE CATALYSTS FOR SIMULTANEOUS INCREASE IN DIESEL AND LPG OLEFINICITY DURING CATALYTIC CRACKING. *Catal. Sci. Technol.* 3:972: 1–152.
- McMillen, D.F., Malhotra, R., dan Tse, D.S. 1991. Interactive Effects between Solvent Components: Possible Chemical Origin of Synergy in Liquefaction and Coprocessing. *Energy and Fuels*. 5:1: 179–187.
- Melián-Cabrera, I., Espinosa, S., Groen, J.C., Linden, B. V.D., Kapteijn, F., dan Moulijn, J.A. 2006. Utilizing full-exchange capacity of zeolites by alkaline leaching: Preparation of Fe-ZSM5 and application in N₂O decomposition. *Journal of Catalysis*. 238:2: 250–259.
- Melnikov, A.A., Selivanov, Y.G., dan Chekalin, S. V. 2020. Phonon-driven ultrafast symmetry lowering in a Bi₂Se₃ crystal. *Physical Review B*. 102:22: 1–9.
- Mikita, M.A., Bockrath, B.C., Davis, H.M., Friedman, S., dan Illig, E.G. 1988. Water and Nondonor-Vehicle-Assisted Liquefaction of Illinois Bituminous Coal. *Energy and Fuels*. 2:4: 534–538.
- Mochida, I. 2014. Chemicals from direct coal liquefaction. *Chemical Reviews*.

- Mochida, I., dan Sakanishi, K. 1994. Catalysis in Coal Liquefaction. *Advances in Catalysis*. 40:C: 39–85.
- Mochida, I., Sakanishi, K., Takayama, A., dan Sakata, R. 1990A. Hydrogen-Transferring Liquefaction of an Australian Brown Coal with Polyhydrogenated Condensed Aromatics: Roles of Donor in the Liquefaction. *Energy and Fuels*. 4:1: 81–84.
- Mochida, I., Takayama, A., Sakata, R., dan Sakanishi, K. 1990B. Liquefaction of Australian Brown Coal with Mixed Solvents of Different Qualities and Reactivities of Transferable Hydrogens. *Energy and Fuels*. 4:4: 398–401.
- Mohamed, S.Y., Cai, L., Khaled, F., Banyon, C., Wang, Z., Al Rashidi, M.J., Pitsch, H., Curran, H.J., Farooq, A., dan Sarathy, S.M. 2016. Modeling Ignition of a Heptane Isomer: Improved Thermodynamics, Reaction Pathways, Kinetics, and Rate Rule Optimizations for 2-Methylhexane. *Journal of Physical Chemistry A*. 120:14: 2201–2217.
- Montes Luna, A. de J., Castruita de León, G., García Rodríguez, S.P., Fuentes López, N.C., Pérez Camacho, O., dan Perera Mercado, Y.A. 2018. Na⁺/Ca²⁺ aqueous ion exchange in natural clinoptilolite zeolite for polymer-zeolite composite membranes production and their CH₄/CO₂/N₂ separation performance. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 54: 47–53.
- Mooiweer, H.H., de Jong, K.P., Kraushaar-Czarnetzki, B., Stork, W.H.J., dan Krutzen, B.C.H. 1994. Skeletal isomerisation of olefins with the zeolite Ferrierite as catalyst. *Studies in Surface Science and Catalysis*. 84:C: 2327–2334.
- Moreno-Tost, R., Santamaría-González, J., Rodríguez-Castellón, E., Jiménez-López, A., Autié, M.A., Glacial, M.C., Castro, G.A., dan Guerra, M. 2005. Selective catalytic reduction of nitric oxide by ammonia over Ag and Zn-exchanged Cuban natural zeolites. *Zeitschrift für Anorganische und Allgemeine Chemie*. 631:11: 2253–2257.
- Mori, K., dan Yamashita, H. 2011. Design of colloidal and supported metal nanoparticles: Their synthesis, Characterization, and catalytic application. *Journal of the Japan Petroleum Institute*. 54:1: 1–14.
- Morin, S., Ayrault, P., Gnep, N.S., dan Guisnet, M. 1998. Influence of the framework composition of commercial HFAU zeolites on their activity and selectivity in m-xylene transformation. *Applied Catalysis A: General*. 166:2: 281–292.
- Murugasan, P., Dhavamurthy, M., Anthoniammal, P., Antony Suresh, A., dan Mohapatra, M. 2024. Structural, optical, and thermoluminescence characterizations of 1 mol% Dy³⁺-ion-activated Fluro Boro-phosphate glass for photonic devices. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 308:July 2023: 123757.
- Mustain, A., Wibawa, G., Nais, M.F., dan Falah, M. 2014. Synthesis of zeolite NaA from low grade (high impurities) Indonesian natural zeolite. *Indonesian Journal of Chemistry*. 14:2: 138–142.
- N. F, F.F., Dhas, D.A., Joe, I.H., dan Vinitha, G. 2024. Crystal growth, structural, vibrational, spectroscopic studies of novel synthesized NLO active melaminium sulfamate single crystal: Experimental and theoretical approach. *Journal of Molecular Structure*. 1300:September 2023: 137194.
- Naimah, K., Rusnadi, I., Syarif, A., dan Thohirah, K. 2017. Pencairan Batubara Menggunakan Reaktor Catalic Thermal Cracking dengan Metode Secara Langsung. *Kinetika*. 8:November: 44–52.
- Narayanan, P., dan Janardhanan, S.K. 2024. An approach towards identification of leather from leather-like polymeric material using FTIR-ATR technique.

- Collagen and leather*. 6:1: 1–9.
- Nezamzadeh-Ejehieh, A., dan Shahriari, E. 2014. Photocatalytic decolorization of methyl green using Fe(II)-o-phenanthroline as supported onto zeolite Y. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 20:5: 2719–2726.
- Niu, B. 2017. Mechanism of hydrogen transfer and role of solvent during heating-up stage of direct coal liquefaction. *Fuel Processing Technology*. 160: 130–135.
- Norambuena-Contreras, J., Arteaga-Pérez, L.E., Concha, J.L., dan Gonzalez-Torre, I. 2021. Pyrolytic oil from waste tyres as a promising encapsulated rejuvenator for the extrinsic self-healing of bituminous materials. *Road Materials and Pavement Design*. 22:S1: S117–S133.
- Novembre, D., dan Gimeno, D. 2021. Synthesis and characterization of analcime (ANA) zeolite using a kaolinitic rock. *Scientific Reports*. 11:1: 1–11.
- Nugrahaningtyas, K.D., Cahyono, E., dan Widjonarko, D.M. 2016. THE PARAFFIN CRACKING REACTION WITH NiMo/ACTIVE NATURAL ZEOLITE CATALYST: THE EFFECT TEMPERATURE ON CATALYTIC ACTIVITY. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*. 11:2: 111.
- Nurliati, G., Krisnandi, Y.K., Sihombing, R., dan Salimin, Z. 2015. Studies of modification of zeolite by tandem acid-base treatments and its adsorptions performance towards thorium. *Atom Indonesia*. 41:2: 87–95.
- Nursanto, E., dan Ilcham, A. 2018. Characteristic of low rank coal from Warukin Formation, South Kalimantan and their implication for coal liquefaction. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 212:1.
- Oblad, A.G. 1976. Catalytic Liquefaction of Coal and Refining of Products. *Catalysis Reviews*. 14:1: 83–95.
- Oliveira, D.S., Lima, R.B., Pergher, S.B.C., dan Caldeira, V.P.S. 2023. Hierarchical Zeolite Synthesis by Alkaline Treatment: Advantages and Applications. *Catalysts*. 13:2: 1–28.
- Opanasenko, M. V., Roth, W.J., dan Čejka, J. 2016. Two-dimensional zeolites in catalysis: Current status and perspectives. *Catalysis Science and Technology*. 6:8: 2467–2484.
- Oyun, J. 2009. NANO-SIZED RAW MEDICINAL MATERIAL FROM THE NATURAL SPAR.
- Ozin, G.A., dan Ozkart, S. 1992. Zeolates: A Coordination Chemistry View of Metal-Ligand Bonding in Zeolite Guest-Host Inclusion Compounds. *Chemistry of Materials*. 4:3: 511–521.
- Painter, P., Cetiner, R., Pulati, N., Sobkowiak, M., dan Mathews, J. 2010. Dispersion of liquefaction catalysts in coal using ionic liquids. *Energy and Fuels*. 24:5: 3086–3092.
- Parker, F.S., dan Bhaskar, K.R. 1970. Infrared Studies of Hydrogen-Deuterium Exchange in Biological Molecules. *Applied Spectroscopy Reviews*. 3:1: 91–142.
- Parlett, C.M.A., Wilson, K., dan Lee, A.F. 2013. Hierarchical porous materials: Catalytic applications. *Chemical Society Reviews*. 42:9: 3876–3893.
- Pawar, R.R., Gupta, P., Lalmunsiama, Bajaj, H.C., dan Lee, S.M. 2016. Al-intercalated acid activated bentonite beads for the removal of aqueous phosphate. *Science of the Total Environment*. 572: 1222–1230.
- Pérez-Ramírez, J. 2012. Zeolite nanosystems: Imagination has no limits. *Nature Chemistry*. 4:4: 250–251.
- Pérez-Ramírez, J., Christensen, C.H., Egeblad, K., Christensen, C.H., dan Groen, J.C.

2008. Hierarchical zeolites: enhanced utilisation of microporous crystals in catalysis by advances in materials design. *Chem. Soc. Rev.* 2530–2542.
- Perraki, T., dan Orfanoudaki, A. 2004. Mineralogical study of zeolites from Pentalofos area, Thrace, Greece. *Applied Clay Science.* 25:1–2: 9–16.
- Petranovskii, V., Gurin, V., Bogdanchikova, N., dan Sugi, Y. 2003. Controlling copper reducibility in mordenites by varying the SiO₂/Al₂O₃ molar ratio. *Materials Letters.* 57:12: 1781–1785.
- Prihadiyono, F.I., Lestari, W.W., Putra, R., Aqna, A.N.L., Cahyani, I.S., dan Kadja, G.T.M. 2022. Heterogeneous Catalyst based on Nickel Modified into Indonesian Natural Zeolite in Green Diesel Production from Crude Palm Oil. *International Journal of Technology.* 13:4: 931–943.
- Primo, A., dan Garcia, H. 2014. Zeolites as catalysts in oil refining. *Chemical Society Reviews.* 43:22: 7548–7561.
- PT Bukit Asam, T. 2014. Komposisi Batubara. 1–2.
- Purova, R., Narasimharao, K., Ahmed, N.S.I., Al-Thabaiti, S., Al-Shehri, A., Mokhtar, M., dan Schwieger, W. 2015. Pillared HMC-36 zeolite catalyst for biodiesel production by esterification of palmitic acid. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical.* 406: 159–167.
- Qi, R., Fu, T., Wan, W., dan Li, Z. 2017. Pore fabrication of nano-ZSM-5 zeolite by internal desilication and its influence on the methanol to hydrocarbon reaction. *Fuel Processing Technology.* 155: 191–199.
- Qin, X., Jiao, T., Zhang, Y., Yu, J., dan Liang, P. 2018. Effect of solvent pretreatment on pyrolysis characteristic of high-sulfur bituminous coal. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis.* 135:July: 54–59.
- Quezada, G.R., Solar, C., Saavedra, J.H., Petit, K., Martin-Martínez, F.J., Arteaga-Pérez, L.E., dan Norambuena-Contreras, J. 2024. Operando FTIR-ATR with molecular dynamic simulations to understand the diffusion mechanism of waste tire-derived pyrolytic oil for asphalt self-healing. *Fuel.* 357:September 2023.
- Quiroz-estrada, K., Pacella, A., Ballirano, P., Miguel, Á., Felipe, C., dan Esparzaschulz, M. 2020. Natural and Cation-Exchanged Mexican Erionite. *Minerals.* 1–13.
- Rahman, M., Adesanwo, T., Gupta, R., dan De Klerk, A. 2015. Effect of direct coal liquefaction conditions on coal liquid quality. *Energy and Fuels.* 29:6: 3649–3657.
- Rahmani, F., Haghghi, M., dan Amini, M. 2015. The beneficial utilization of natural zeolite in preparation of Cr/clinoptilolite nanocatalyst used in CO₂-oxidative dehydrogenation of ethane to ethylene. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry.* 31: 142–155.
- Ramadhan, A.D., C.S, N.C., Nuryoto, N., dan Kurniawan, T. 2019. The Use of Natural Zeolite as A Catalyst for Esterification Reaction Between Glycerol and Oleic Acid. *Reaktor.* 19:4: 172–179.
- Ramos, F.S.O., De Pietre, M.K., dan Pastore, H.O. 2013. Lamellar zeolites: An oxymoron?. *RSC Advances.* 3:7: 2084–2111.
- Ravasio, N., Antenori, M., Babudri, F., dan Gargano, M. 1997. Intramolecular Ene reactions promoted by mixed cogels. *Studies in Surface Science and Catalysis.* 108: 625–632.
- Ren, X.Y., Cao, J.P., Zhao, X.Y., Yang, Z., Wang, Y.J., Chen, Q., Zhao, M., dan Wei, X.Y. 2019. Catalytic conversion of lignite pyrolysis volatiles to light aromatics over ZSM-5: SiO₂/Al₂O₃ ratio effects and mechanism insights. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis.* 139:September 2018: 22–30.

- Rhee, K.H., Udaya, V., Rao, S., Stencel, J.M., Melson, G.A., dan Crawford, J.E. 1983. Supported transition metal compounds. Infrared studies on the acidity of Co/ZSM-5 and Fe/ZSM-5 catalysts. *Zeolites*. 3:4: 337–343.
- Rinaldi, R., dan Schüth, F. 2009. Design of solid catalysts for the conversion of biomass. *Energy and Environmental Science*. 2:6: 610–626.
- Robert, B., dan Brown, E.B. 2004. No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title. :1: 1–14.
- Robinson, K.K., Company, M., Lane, J.J., dan Charles, S. 2009. Reaction Engineering of Direct Coal Liquefaction. 976–1006.
- Rodríguez-Iznaga, I., Petranovskii, V., Castellón-Barraza, F., dan Concepción-Rosabal, B. 2011. Copper-silver bimetallic system on natural clinoptilolite: Thermal reduction of Cu 2+ and Ag + exchanged. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. 11:6: 5580–5586.
- Rodríguez-Iznaga, I., Petranovskii, V., Chávez-Rivas, F., dan Shelyapina, M.G. 2022A. Bimetallic Copper-Silver Systems Supported on Natural Clinoptilolite: Long-Term Changes in Nanospecies' Composition and Stability. *Inorganics*. 10:3.
- Rodríguez-Iznaga, I., Shelyapina, M.G., dan Petranovskii, V. 2022B. Ion Exchange in Natural Clinoptilolite: Aspects Related to Its Structure and Applications. *Minerals*. 12:12.
- Roesyadi, W.A., dan Rachimoallah, M. 2009. The effect of time dealumination and solvent concentration in synthesis of zeolite catalyst and catalytic test for DiEthyl ether production process. *AIP Conference Proceedings*. 1169: 106–112.
- Rofiqul Islam, M., Haniu, H., dan Rafiqul Alam Beg, M. 2008. Liquid fuels and chemicals from pyrolysis of motorcycle tire waste: Product yields, compositions and related properties. *Fuel*. 87:13–14: 3112–3122.
- Roth, W.J., dan Ejka, J. 2011. Two-dimensional zeolites: Dream or reality?. *Catalysis Science and Technology*. 1:1: 43–53.
- Roth, W.J., Gil, B., Makowski, W., Marszalek, B., dan Eliášová, P. 2016. Layer like porous materials with hierarchical structure. *Chemical Society Reviews*. 45:12: 3400–3438.
- Roth, W.J., Kresge, C.T., Vartuli, J.C., Leonowicz, M.E., Fung, A.S., dan McCullen, S.B. 1995. MCM-36: The first pillared molecular sieve with zeolite properties. *Studies in Surface Science and Catalysis*. 94:C: 301–308.
- Roth, W.J., Vartuli, J.C., dan Kresge, C.T. 2000. Characterization of mesoporous molecular sieves: Differences between M41S and pillared layered zeolites. *Studies in Surface Science and Catalysis*. 129: 501–508.
- Sachse, A., dan García-Martínez, J. 2017. Surfactant-Templating of Zeolites: From Design to Application. *Chemistry of Materials*. 29:9: 3827–3853.
- Sadrara, M., dan Khorrami, M.K. 2024. *Gasoline quality prediction using the alternating conditional expectation (ACE) algorithm and ATR-FTIR*, Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy. Elsevier B.V.
- Sáez Del Bosque, I.F., Martínez-Ramírez, S., dan Blanco-Varela, M.T. 2014. FTIR study of the effect of temperature and nanosilica on the nano structure of C–S–H gel formed by hydrating tricalcium silicate. *Construction and Building Materials*. 52: 314–323.
- Saha, P.G.G. 1977. Molecular sieve zeolites. *Transactions of the Indian Ceramic Society*. 36:5: 99–123.
- Sakanishi, K., Hasuo, H.U., Kishino, M., dan Mochida, I. 1998. Solvent-free liquefaction of brown and subbituminous coals using NiMo sulfide catalyst

- supported on carbon nanoparticles. *Energy and Fuels*. 12:2: 284–288.
- Sakata, R., Takayama, A., Sakanishi, K., dan Mochida, I. 1990. Roles of Nondonor Solvent in the Hydrogen-Transferring Liquefaction of Australian Brown Coal. *Energy and Fuels*. 4:5: 585–588.
- Sakawa, M., Sakurai, Y., dan Hara, Y. 1982. Influence of coal characteristics on CO₂ gasification. *Fuel*. 61:8: 717–720.
- Saputra, O. at all. 2017. Preparation, Characterization and Methylene Blue Dye Adsorption Ability of Acid Activated-Natural Zeolite., in: *JMaterials Science and Engineering*.
- Saramok, M., Szymaszek, A., Inger, M., Antoniak-Jurak, K., Samojeden, B., dan Motak, M. 2021. Modified zeolite catalyst for a nox selective catalytic reduction process in nitric acid plants. *Catalysts*. 11:4.
- Sarathy, S.M., Farooq, A., dan Kalghatgi, G.T. 2018. Recent progress in gasoline surrogate fuels. *Progress in Energy and Combustion Science*. 65: 67–108.
- Sarathy, S.M., Javed, T., Karsenty, F., Heufer, A., Wang, W., Park, S., Elwardany, A., Farooq, A., Westbrook, C.K., Pitz, W.J., Oehlschlaeger, M.A., Dayma, G., Curran, H.J., dan Dagaut, P. 2014. A comprehensive combustion chemistry study of 2,5-dimethylhexane. *Combustion and Flame*. 161:6: 1444–1459.
- Sarathy, S.M., Kukkadapu, G., Mehl, M., Wang, W., Javed, T., Park, S., Oehlschlaeger, M.A., Farooq, A., Pitz, W.J., dan Sung, C.J. 2015. Ignition of alkane-rich FACE gasoline fuels and their surrogate mixtures. *Proceedings of the Combustion Institute*. 35:1: 249–257.
- Sarathy, S.M., Niemann, U., Yeung, C., Gehmlich, R., Westbrook, C.K., Plomer, M., Luo, Z., Mehl, M., Pitz, W.J., Seshadri, K., Thomson, M.J., dan Lu, T. 2013. A counterflow diffusion flame study of branched octane isomers. *Proceedings of the Combustion Institute*. 34:1: 1015–1023.
- Saravanamurugan, S., Paniagua, M., Melero, J.A., dan Riisager, A. 2013. Efficient isomerization of glucose to fructose over zeolites in consecutive reactions in alcohol and aqueous media. *Journal of the American Chemical Society*. 135:14: 5246–5249.
- Sarpal, A.S., Kapur, G.S., Mukherjee, S., dan Tiwari, A.K. 2001. PONA analyses of cracked gasoline by 1H NMR spectroscopy. Part II. *Fuel*. 80:4: 521–528.
- Sastre, G., Cano, M.L., Corma, A., García, H., Nicolopoulos, S., González-Calbet, J.M., dan Vallet-Regí, M. 1997. On the incorporation of buckminsterfullerene C₆₀ in the supercages of zeolite Y. *Journal of Physical Chemistry B*. 101:49: 10184–10190.
- Schwanke, A., dan Pergher, S. 2018. LamellarMWW-type zeolites: Toward elegant nanoporous materials. *Applied Sciences (Switzerland)*. 8:9.
- Schwanke, A.J., dan Pergher, S. 2019. Hierarchical MWW zeolites by soft and hard template routes. *Handbook of Ecomaterials*. 4: 2537–2559.
- Schwieger, W., Machoke, A.G., Weissenberger, T., Inayat, Amer, Selvam, T., Klumpp, M., dan Inayat, Alexandra. 2016. Hierarchy concepts: Classification and preparation strategies for zeolite containing materials with hierarchical porosity. *Chemical Society Reviews*. 45:12: 3353–3376.
- Seo, G., Kim, M.W., Kim, J.H., Ahn, B.J., Hong, S.B., dan Uh, Y.S. 1998. Skeletal isomerization of 1-butene on synthetic clinoptilolite zeolite. *Catalysis Letters*. 55:2: 105–112.
- Serrano, D.P., Escola, J.M., dan Pizarro, P. 2013. Synthesis strategies in the search for hierarchical zeolites. *Chemical Society Reviews*. 42:9: 4004–4035.
- Setiawan, Y., Mahatmanti, F.W., Harjono, dan Jumaeri. 2017. Preparasi dan

- Karakterisasi Nanozeolit dari Zeolit Alam Gunungkidul dengan Metode Top-Down. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 6:2: 1–8.
- Shelyapina, M.G., Gurgul, J., Łątka, K., Sánchez-López, P., Bogdanov, D., Kotolevich, Y., Petranovskii, V., dan Fuentes, S. 2020. Mechanism of formation of framework Fe³⁺ in bimetallic Ag-Fe mordenites - Effective catalytic centers for deNO_x reaction. *Microporous and Mesoporous Materials*. 299: 109841.
- Shui, H., Cai, Z., dan Xu, C.C. 2010A. Recent advances in direct coal liquefaction. *Energies*. 3:2: 155–170.
- Shui, H., Chen, Z., Wang, Z., dan Zhang, D. 2010B. Kinetics of Shenhua coal liquefaction catalyzed by SO₄²⁻/ZrO₂ solid acid. *Fuel*. 89:1: 67–72.
- Shui, H., Wang, Z., dan Cao, M. 2008. Effect of pre-swelling of coal on its solvent extraction and liquefaction properties. *Fuel*. 87:13–14: 2908–2913.
- Shui, H.F., Liu, J.L., Wang, Z.C., dan Zhang, D.X. 2009. Preliminary study on liquefaction properties of Xiaolongtan lignite under different atmospheres. *Ranliao Huaxue Xuebao/Journal of Fuel Chemistry and Technology*. 37:3: 257–261.
- Silalahi, L.H., Deguchi, T., dan Makino, E. 2009. Coal Upgrading Technology for Indonesian Lignite. 5:2: 77–81.
- Singh, A.K., dan Jha, M.K. 2020. Interrelation Between Mechanical and Petrographic Characteristics of Coals of Argada ‘B’ Seam: Implication To Comminution and Utilization. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*. 40:12: 824–842.
- Singha, S., Buchsteiner, M., Bistoni, G., Goddard, R., dan Fürstner, A. 2021. A New Ligand Design Based on London Dispersion Empowers Chiral Bismuth-Rhodium Paddlewheel Catalysts. *Journal of the American Chemical Society*. 143:15: 5666–5673.
- Soares, R.R., Frydman, A., dan Schmal, M. 1993. Effect of preparation method on 5% Co/Nb₂O₅ in Fischer-Tropsch Syntesis (FTS). *Catalysis Today*. 16:3–4: 361–370.
- Sobuś, N., dan Czekaj, I. 2021. Comparison of synthetic and natural zeolite catalysts’ behavior in the production of lactic acid and ethyl lactate from biomass-derived dihydroxyacetone. *Catalysts*. 11:8.
- Sobuś, N., Król, M., Piotrowski, M., Michorczyk, B., Czekaj, I., Kornaus, K., Trenczek-Zajac, A., dan Komarek, S. 2022. Conversion of dihydroxyacetone to carboxylic acids on pretreated clinoptilolite modified with iron, copper, and cobalt. *Catalysis Communications*. 171:August.
- Soehn, R.. 2019. *METAL SUBSTITUTION OF NATURAL ZEOLITES CLINOPTILOLITE AND MORDENITE VIA HYDROTHERMAL DEALUMINATION AND ATOM PLANTING FOR CATALYTIC APPLICATIONS*.
- Sonal, Kondamudi, K., Pant, K.K., dan Upadhyayula, S. 2017. Synergistic Effect of Fe-Co Bimetallic Catalyst on FTS and WGS Activity in the Fischer-Tropsch Process: A Kinetic Study. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 56:16: 4659–4671.
- Song, C., Parfitt, D.S., dan Schobert, H.H. 1994. Bimetallic Dispersed Catalysts from Molecular Precursors Containing Mo-Co-S for Coal Liquefaction. *Energy and Fuels*. 8:2: 313–319.
- Song, C., dan Saini, A.. 1995. Strong synergistic effect between dispersed Mo catalyst and H₂O for low-severity coal hydroliquefaction. *Energ. Fuel*. 188–189.
- Song, C., Saini, A.K., dan Yoneyama, Y. 2000. New process for catalytic liquefaction of coal using dispersed MoS₂ catalyst generated in situ with added H₂O. *Fuel*.

- 79:3–4: 249–261.
- Song, C., Schobert, H.H., Parfitt, D.P., Kirby, S., Martin, S., Yoneyama, Y., Ready, M.M., dan Cooke, W.S. 1997. Novel Bimetallic Dispersed Catalysts for Final .. Report.
- Song, H., Xiao, J., Yang, X., Yu, K., dan Huang, Z. 2018. The effects of surface temperature on the deposit behaviors of gasoline on a hot surface. *Fuel*. 215:November 2017: 111–122.
- Speight, J.G. 2005. Handbook of Coal Analysis. *Handbook of Coal Analysis*. 1–227.
- Sprynskyy, M., Golembiewski, R., Trykowski, G., dan Buszewski, B. 2010. Heterogeneity and hierarchy of clinoptilolite porosity. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. 71:9: 1269–1277.
- Strekalov, M.L. 2024. The thermodynamic properties of diatomic gases. A rigorous analytical approach. *Chemical Physics Impact*. 8:November 2023: 100444.
- Su, L., Liu, L., Zhuang, J., Wang, H., Li, Y., Shen, W., Å, Y.X., dan Åã, X.B. 2003. Creating mesopores in ZSM-5 zeolite by alkali treatment : a new way to enhance the catalytic performance of methane dehydroaromatization on Mo / HZSM-5 catalysts. 91:December.
- Su, S., Ma, H., dan Chuan, X. 2016. Hydrothermal synthesis of zeolite A from K-feldspar and its crystallization mechanism. *Advanced Powder Technology*. 27:1: 139–144.
- Subagiono, R., dan Biyantoro, D. 2006. Kinetika Reaksi Proses Adsorpsi Campuran Uranium dan Molibdenum dalam Zeolit [Reaction Kinetics of The Sorption Process of Uranium and Molibdenum Mixture in The Zeolite]. *Conference and Science Presentation of Basic Research and Technology of Nuclear*. ISSN 0216:1: 219–225.
- Sugimoto, Y., Aihara, Y., Matsumura, A., Ohi, A., Sato, S., Saito, I., dan Yui, S. 2006. Processing of middle east crude with Canadian oil sands bitumen-derived synthetic crude Oil. *Journal of the Japan Petroleum Institute*. 49:1: 1–12.
- Sumari, S., Fajaroh, F., Yahmin, Sholihah, N., Santoso, A., dan Budianto, A. 2019. Effect of Temperature Synthesis on Structural Behaviours of NaY Zeolite Using Local Sand as A Silica Source. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 515:1.
- Sun, C., Zhan, T., Pfeifer, P., dan Dittmeyer, R. 2017. Influence of Fischer-Tropsch synthesis (FTS) and hydrocracking (HC) conditions on the product distribution of an integrated FTS-HC process. *Chemical Engineering Journal*. 310: 272–281.
- Sun, Q., Fletcher, J.J., Zhang, Y., dan Ren, X. 2005. Comparative analysis of costs of alternative coal liquefaction processes. *Energy and Fuels*. 19:3: 1160–1164.
- SUSI, H., dan MICHAEL BYLER, D. 2022. Reprint of: Fourier Transform Infrared Study of Proteins with Parallel β -Chains. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 726: 109235.
- Suzuki, T. 1994. Development of Highly Dispersed Coal Liquefaction Catalysts. *Energy and Fuels*. 8:2: 341–347.
- Svanberg, S. 1992. *Atomic and Molecular Spectroscopy*, Atomic and Molecular Spectroscopy.
- Taffarel, S.R., dan Rubio, J. 2010. Adsorption of sodium dodecyl benzene sulfonate from aqueous solution using a modified natural zeolite with CTAB. *Minerals Engineering*. 23:10: 771–779.
- Tagaya, H., Takahashi, K., Hashimoto, K., dan Chiba, K. 1989. Coal liquefaction by binary solvent systems composed of tetralin and reducible compounds. *Energ. Fuel*. :6: 345–350.

- Taleb, D.A., Hamid, H.A., Deris, R.R.R., Zulkifli, M., Khalil, N.A., dan Ahmad Yahaya, A.N. 2020. Insights into pyrolysis of waste tire in fixed bed reactor: Thermal behavior. *Materials Today: Proceedings*. 31: 178–186.
- Talla, H., Amijaya, H., Harijoko, A., dan Huda, M. 2014. Karakteristik Batubara Dan Pengaruhnya Terhadap Proses Pencairan. *Reaktor*. 14:4: 267.
- Tanabe, K., dan Hölderich, W.F. 1999. Industrial application of solid acid-base catalysts. *Applied Catalysis A: General*. 181:2: 399–434.
- Tanaka, H., Yamasaki, N., Muratani, M., dan Hino, R. 2003. Structure and formation process of (K,Na)-clinoptilolite. *Materials Research Bulletin*. 38:4: 713–722.
- Tarasenko, S. V. 2002. Field-Induced Anomalies of the Polariton Spectrum of a Bounded Crystal with Spatial Dispersion: II. Crystal Plate. *Optics and Spectroscopy (English translation of Optika i Spektroskopiya)*. 93:4: 547–554.
- Tarasevich, Y.I., Polyakova, I.G., dan Polyakov, V.E. 2003. Microcalorimetric Study of the Interaction between Water and Cation-Substituted Clinoptilolites. *Colloid Journal of the Russian Academy of Sciences: Kolloidnyi Zhurnal*. 65:4: 493–499.
- Taylor, P., dan Mills, G.A. 2006. Catalysis Reviews : Science and Catalytic Aspects of Synthetic Fuels from Coal. :December 2012: 37–41.
- Thepgnothy, M., Eka Putra, D.P., dan Wilopo, W. 2018. Removal of Selenium (Se) and Zinc (Zn) in Water by Using Natural Zeolitic Tuff as Adsorbent from Tegalrejo Area, Gedangsari District, Gunungkidul Regency, Special Province Yogyakarta, Indonesia. *Journal of Applied Geology*. 2:2: 59.
- Thommes, M., Kaneko, K., Neimark, A. V., Olivier, J.P., Rodriguez-Reinoso, F., Rouquerol, J., dan Sing, K.S.W. 2015. Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*. 87:9–10: 1051–1069.
- Tišler, Z., Hrachovcová, K., Svobodová, E., Šafář, J., dan Pelíšková, L. 2019. Acid and thermal treatment of alkali-activated zeolite foams. *Minerals*. 9:12.
- Topsøe, N.Y., Pedersen, K., dan Derouane, E.G. 1981. Infrared and temperature-programmed desorption study of the acidic properties of ZSM-5-type zeolites. *Journal of Catalysis*. 70:1: 41–52.
- Trasarti, A.F., Marchi, A.J., dan Apesteguía, C.R. 2007. Design of catalyst systems for the one-pot synthesis of menthols from citral. *Journal of Catalysis*. 247:2: 155–165.
- TRIMM, D.L. 1978. THE DESIGN OF CATALYSTS. *Pure & AppZ. Chem.*,. 1147–1168.
- Tugsuu, T., Sugimoto, Y., dan Enkhsaruul, B. 2017. Preparation of the Natural Zeolite Based Catalyst for Hydrocracking Process of Petroleum Derived Atmospheric Residue. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*. 05:11: 14–22.
- Tumiwa, F. 2020. Dynamics of Coal Transition in Indonesia: The Economic, Power, and Climate Perspectives. *Institute for Essential Services Reform*. :August.
- Ungerer, M.J., dan De Leeuw, N.H. 2022. Computational Insights into Ru, Pd and Pt fcc Nano-Catalysts from Density Functional Theory Calculations: The Influence of Long-Range Dispersion Corrections. *Catalysts*. 12:10.
- Van Laak, A.N.C., Zhang, L., Parvulescu, A.N., Bruijninx, P.C.A., Weckhuysen, B.M., De Jong, K.P., dan De Jongh, P.E. 2011. Alkaline treatment of template containing zeolites: Introducing mesoporosity while preserving acidity. *Catalysis Today*. 168:1: 48–56.
- Van Miltenburg, A., Pawlesa, J., Bouzga, A.M., Žilková, N., Čejka, J., dan M. Stöcker. 2009. Alkaline modification of MCM-22 to a 3D interconnected pore system and its application in toluene disproportionation and alkylation. *Topics in Catalysis*.

- 52:9: 1190–1202.
- Vartuli, J.C., dan Degnan, T.. 2007. Applications of mesoporous molecular sieves in catalysis and separations. *Practice*.
- Vasireddy, S., Morreale, B., Cugini, A., Song, C., dan Spivey, J.J. 2011. Clean liquid fuels from direct coal liquefaction: Chemistry, catalysis, technological status and challenges. *Energy and Environmental Science*. 4:2: 311–345.
- Verboekend, D., Keller, T.C., Milina, M., Hauert, R., dan Pérez-Ramírez, J. 2013. Hierarchy brings function: Mesoporous clinoptilolite and L zeolite catalysts synthesized by tandem acid-base treatments. *Chemistry of Materials*. 25:9: 1947–1959.
- Verboekend, D., dan Pérez-Ramírez, J. 2011. Desilication mechanism revisited: Highly mesoporous all-silica zeolites enabled through pore-directing agents. *Chemistry - A European Journal*. 17:4: 1137–1147.
- Verboekend, D., Vilé, G., dan Pérez-Ramírez, J. 2012. Hierarchical y and USY zeolites designed by post-synthetic strategies. *Advanced Functional Materials*. 22:5: 916–928.
- Vernimmen, J., Meynen, V., dan Cool, P. 2011. Synthesis and catalytic applications of combined zeolitic/mesoporous materials. *Beilstein Journal of Nanotechnology*. 2:1: 785–801.
- Von Bacho, P.S., Galante-Fox, J., dan Sant, D.W. 2005. Development of a robust injector design for superior deposit resistance. *SAE Technical Papers*. :724.
- Von Bacho, P.S., Sofianek, J.K., Galante-Fox, J.M., dan McMahan, C.J. 2009. Engine test for accelerated fuel deposit formation on injectors used in gasoline direct injection engines. *SAE Technical Papers*.
- Wahono, S.K., Hernawan, Kristiani, A., Tursiloadi, S., dan Abimanyu, H. 2014. Characterization and utilization of gunungkidul natural zeolite for bioethanol dehydration. *Energy Procedia*. 47:March: 263–267.
- Wahono, S.K., Prasetyo, D.J., Jatmiko, T.H., Suwanto, A., Pratiwi, D., Hernawan, dan Vasilev, K. 2019. Transformation of Mordenite-Clinoptilolite Natural Zeolite at Different Calcination Temperatures. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 251:1.
- Wahono, S.K., dan Rizal, W.A. 2014. Biogas filter based on local natural zeolite materials. *International Journal of Renewable Energy Development*. 3:1: 1–5.
- Wang, Deliang, Wang, Demin, Yu, J., Chen, Z., Li, Y., dan Gao, S. 2019. Role of alkali sodium on the catalytic performance of red mud during coal pyrolysis. *Fuel Processing Technology*. 186:December 2018: 81–87.
- Wang, H., Shen, B., Chen, X., Xiong, H., Wang, Hongmei, Song, W., Cui, C., Wei, F., dan Qian, W. 2022. Modulating inherent lewis acidity at the intergrowth interface of mortise-tenon zeolite catalyst. *Nature Communications*. 13:1: 1–9.
- Wang, J., Yang, B., Li, Y., Tian, Z., Zhang, T., Qi, F., dan Nakajima, K. 2007. The tunable VUV single-photon ionization mass spectrometry for the analysis of individual components in gasoline. *International Journal of Mass Spectrometry*. 263:1: 30–37.
- Wang, L., Liu, H., Zhuang, J., dan Wang, D. 2022. Small-Scale Big Science: From Nano- to Atomically Dispersed Catalytic Materials. *Small Science*. 2:11: 2200036.
- Wang, S., Dou, T., Li, Y., Zhang, Y., Li, X., dan Yan, Z. 2005. A novel method for the preparation of MOR/MCM-41 composite molecular sieve. *Catalysis Communications*. 6:1: 87–91.
- Wang, S., dan Zhu, Z.H. 2006. Characterisation and environmental application of an Australian natural zeolite for basic dye removal from aqueous solution. *Journal*

- of Hazardous Materials*. 136:3: 946–952.
- Wang, Wenhua, Hou, Y., Wu, W., dan Niu, M. 2013. Simultaneous production of small-molecule fatty acids and benzene polycarboxylic acids from lignite by alkali-oxygen oxidation. *Fuel Processing Technology*. 112: 7–11.
- Wang, Weijing, Li, Z., Oehlschlaeger, M.A., Healy, D., Curran, H.J., Sarathy, S.M., Mehl, M., Pitz, W.J., dan Westbrook, C.K. 2013. An experimental and modeling study of the autoignition of 3-methylheptane. *Proceedings of the Combustion Institute*. 34:1: 335–343.
- Wang, W., Yu, Q., Meng, H., Han, W., Li, J., dan Zhang, J. 2018. Catalytic liquefaction of municipal sewage sludge over transition metal catalysts in ethanol-water co-solvent. *Bioresource Technology*. 249:July 2017: 361–367.
- Wang, Z., Shui, H., Zhang, D., dan Gao, J. 2007. A Comparison of FeS, FeS + S and solid superacid catalytic properties for coal hydro-liquefaction. *Fuel*. 86:5–6: 835–842.
- Wang, Z., Shui, H., Zhu, Y., dan Gao, J. 2009. Catalysis of SO₄²⁻ / ZrO₂ solid acid for the liquefaction of coal. *Fuel*. 88:5: 885–889.
- Watanabe, Y., Hata, K., Kawasaki, N., Wada, K., dan Mitsudo, T. 1994. Synthetic Pyrite-Catalyzed Coal Liquefaction in Syngas-Water Systems. 806–807.
- Watanabe, Y., Yamada, H.A., Kawasaki, N.A., Hata, K.A., Wada, K., dan Mitsudo, T.A. 1996. Fe(Co)₅-sulfur-catalysed coal liquefaction in H₂O-CO systems. *Fuel*. 75:1: 46–50.
- Wei, Y., De Jongh, P.E., Bonati, M.L.M., Law, D.J., Sunley, G.J., dan De Jong, K.P. 2015. Enhanced catalytic performance of zeolite ZSM-5 for conversion of methanol to dimethyl ether by combining alkaline treatment and partial activation. *Applied Catalysis A: General*. 504: 211–219.
- Weller, S.W. 1994. Catalysis and Catalyst Dispersion in Coal Liquefaction. *Energy and Fuels*. 8:2: 415–420.
- Welscher, J., Nowak, S., Zimmermann, J., Hahn, T., Schwieger, W., Seitz, M., Zimmermann, J., Hahn, T., dan Schwieger, W. 2014. Catalytic Cracking of Lignites. *Erdöl Ergas Kohle*. 2:130: 1–5.
- Wibowo, E., Rokhmat, M., Sutisna, Murniati, R., Khairurrijal, dan Abdullah, M. 2017. Identification of natural zeolite from Sukabumi, West Java, Indonesia: Structure, chemical composition, morphology and molecular vibration. *Materials Research Express*. 4:6.
- Widayat, W., Roesyadi, A., dan Rachimoallah, M. 2012. Diethyl Ether Production Process with Various Catalyst Type. *International Journal of Science and Engineering*. 4:1: 6–10.
- Widayat W, S.H. and S.H. 2006. Optimization Process of H-Zeolite Catalyst Preparation with Surface Response Methods. In: Green Chemistry Proceeding Of 9th Joint Conference on Chemistry:.. *Direct*.
- Widhiyanuriyawan, D., dan Hamidi, N. 2013. Variasi Temperatur Pemanasan Zeolite alam-NaOH Untuk Pemurnian Biogas. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*. 6:1: 53–63.
- Wijayati, N., dan Utomo, A.B. 2016. Natural Zeolite Catalyst for Conversion of α -Pinene. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*. 7:2: 138–141.
- Williams, R.H., dan Larson, E.D. 2003. A comparison of direct and indirect liquefaction technologies for making fluid fuels from coal. *Energy for Sustainable Development*. 7:4: 103–129.
- Winslow, J., dan Schmetz, E. 2009. Direct Coal Liquefaction Overview. *Netl*.

- Won, S.H., Dooley, S., Veloo, P.S., Wang, H., Oehlschlaeger, M.A., Dryer, F.L., dan Ju, Y. 2014. The combustion properties of 2,6,10-trimethyl dodecane and a chemical functional group analysis. *Combustion and Flame*. 161:3: 826–834.
- Wu, S. 2008. Variation of carbon crystalline structures and CO₂ gasification reactivity of Shenfu coal chars at elevated temperatures. *Energy and Fuels*.
- Xie, K. 2021. Reviews of clean coal conversion technology in China: Situations & challenges. *Chinese Journal of Chemical Engineering*. 35: 62–69.
- Xu, H., dan Wu, P. 2022. New progress in zeolite synthesis and catalysis. *National Science Review*. 9:9.
- Xu, L., Wang, Y., Yang, X., Yu, X., Guo, Y., dan Clark, J.H. 2008. Preparation of mesoporous polyoxometalate-tantalum pentoxide composite catalyst and its application for biodiesel production by esterification and transesterification. *Green Chemistry*. 10:7: 746–75.
- Yan, Y., Guo, X., Zhang, Y., dan Tang, Y. 2015. Future of nano-/hierarchical zeolites in catalysis: Gaseous phase or liquid phase system. *Catalysis Science and Technology*. 5:2: 772–785.
- Yang, C. 2006. Solvent extraction process development and on-site trial-plant for phenol removal from industrial coal-gasification wastewater. *Chemical Engineering Journal*. 117:2: 179–185.
- Yang, K., Batts, B.D., Wilson, M.A., Gorbaty, M.L., Maa, P.S., Long, M.A., He, S.X.J., dan Attalla, M.I. 1997. Reaction of methane with coal. *Fuel*. 76:12: 1105–1115.
- Yang, P., dan Armbruster, T. 1996. Na, K, Rb, and Cs exchange in heulandite single-crystals: X-ray structure refinements at 100 K. *Journal of Solid State Chemistry*. 123:1: 140–149.
- Yang, S.T., Kim, J.Y., Kim, J., dan Ahn, W.S. 2012. CO₂ capture over amine-functionalized MCM-22, MCM-36 and ITQ-2. *Fuel*. 97: 435–442.
- Yang, T., Yan, R., Liu, C., Deng, W., Jiang, Y., Hu, T., Li, C., dan Niu, Q. 2020. Catalytic performance of nickel catalyst dispersed in emulsion for the co-liquefaction of lignite and heavy residue. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 450:1.
- Yang, W., Zhou, Q., Sun, Q., Dong, Z., dan Yan, E. 2020. Vibrational-translational relaxation in nitrogen discharge plasmas: Master equation modeling and Landau-Teller model revisited. *AIP Advances*. 10:10.
- Yokono, T., Shibata, S., Sanada, Y., Hattori, H., dan Tanabe, K. 1982. Assessment of the activities of catalysts for the hydrocracking of coal by means of hydrogen evolution. 61: 199–201.
- Yu, S., Yan, J., Lin, W., Zhang, J., dan Long, J. 2021. Characterization and cracking performance of zirconium-modified Y zeolite. *Catalysis Communications*. 148:September 2020: 0–5.
- Zhang, B., Zheng, X., Voznyy, O., Comin, R., Bajdich, M., García-Melchor, M., Han, L., Xu, J., Liu, M., Zheng, L., De Arquer, F.P.G., Dinh, C.T., Fan, F., Yuan, M., Yassitepe, E., Chen, N., Regier, T., Liu, P., Li, Y., De Luna, P., Janmohamed, A., Xin, H.L., Yang, H., Vojvodic, A., dan Sargent, E.H. 2016. Homogeneously dispersed multimetal oxygen-evolving catalysts. *Science*. 352:6283: 333–337.
- Zhang, H., Ding, S., Hwang, S., Zhao, X., Su, D., Xu, H., Yang, H., dan Wu, G. 2019. Atomically Dispersed Iron Cathode Catalysts Derived from Binary Ligand-Based Zeolitic Imidazolate Frameworks with Enhanced Stability for PEM Fuel Cells. *Journal of The Electrochemical Society*. 166:7: F3116–F3122.
- Zhang, J., Huang, L., Wang, Y., Zhao, D., dan Zhang, H. 2024. Facile and controllable preparation of nanosheet hierarchical Y for enhanced adsorptive denitrogenation

- from fuels. *Separation and Purification Technology*. 328:August 2023: 125100.
- Zhang, K., dan Ostraat, M.L. 2016. Innovations in hierarchical zeolite synthesis. *Catalysis Today*. 264: 3–15.
- Zhang, X., Tang, D., dan Jiang, G. 2013. Synthesis of zeolite NaA at room temperature: The effect of synthesis parameters on crystal size and its size distribution. *Advanced Powder Technology*. 24:3: 689–696.
- Zhang, X., Zhang, K., Wu, C., Liu, K., dan Jiang, K. 2020. Preparation of bio-oil and its application in asphalt modification and rejuvenation: A review of the properties, practical application and life cycle assessment. *Construction and Building Materials*. 262: 120528.
- Zhao, G., Liu, H., dan Ye, J. 2018. Constructing and controlling of highly dispersed metallic sites for catalysis. *Nano Today*. 19: 108–125.
- Zholobenko, V., Garforth, A., dan Dwyer, J. 1997. TGA-DTA study on calcination of zeolitic catalysts. *Thermochimica Acta*. 294:1: 39–44.
- Zijun, Z., Effeney, G., Millar, G.J., dan Stephen, M. 2021. Synthesis and cation exchange capacity of zeolite W from ultra-fine natural zeolite waste. *Environmental Technology and Innovation*. 23: 101595.
- Zolzaya, T., Davaabal, B., Ochirbat, Z., Oyun-Erdene, G., Minjigmaa, A., dan Temuujin, J. 2014. The mechanochemical activation study of Tsagaan-tsav zeolite. *Mongolian Journal of Chemistry*. 12: 98–101.