



**PENGARUH KATALIS ZEOLIT ZSM-5 DAN DOLOMIT
TERHADAP PERFORMA PIROLISIS SAMPAH PLASTIK**

SKRIPSI

Skripsi ini diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar sarjana



Disusun oleh:

Adam Jordan Tampubolon

NIM. 200111201023

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS GLOBAL JAKARTA**

2024

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Depok, 22 Agustus 2024
Mahasiswa,



Adam Jordan Tampubolon
NIM. 200111201023

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Adam Jordan Tampubolon
NIM : 200111201023
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Pengaruh Katalis Zeolit ZSM-5 Dan
Dolomit Terhadap Performa Pirolisis
Sampah Plastik


Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Global Jakarta.

DEWAN PEMBIMBING

Pembimbing 1 : Adhes Gamayel, PhD.



Pembimbing 2 : Mohamad Zaenudin, S.Pd., M.Sc.Eng.






Ditetapkan di : Kota Depok
Tanggal : 26 Agustus 2024

HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PENGUJI

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Adam Jordan Tampubolon
NIM : 200111201023
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Pengaruh Katalis Zeolit ZSM-5 Dan
Dolomit Terhadap Performa Pirolisis
Sampah Plastik

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Global Jakarta.

DEWAN PENGUJI

Penguji 1 : Ir. Askar Triwiyanto, M.Sc., PhD. ()
Penguji 2 : Yasya Khalif Perdana Saleh, S.T., M.Sc. ()
Penguji 3 : Muhamad Luqman Saiful Fikri, S.T., M.T. ()
Ditetapkan di : Kota Depok
Tanggal : 26 Agustus 2024

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat- Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Adhes Gamayel, PhD., selaku dosen pembimbing satu (1) serta selaku wakil rektor 1, yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Mohamad Zaenudin, S.Pd., M.Sc.Eng., selaku dosen pembimbing dua (2) yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (3) orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
- (4) sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini. Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 22 Agustus 2024
Penulis

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Global Jakarta, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Adam Jordan Tampubolon
NPM : 200111201023
Program Studi : Teknik Mesin
Jenis Karya Ilmiah : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Global Jakarta **Hak Bebas Royalti Non-eksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

PENGARUH KATALIS ZEOLIT ZSM-5 DAN DOLOMIT TERHADAP PERFORMA PIROLISIS SAMPAH PLASTIK

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Non-eksklusif ini Universitas Global Jakarta berhak menyimpan, mengalih-media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Depok, 26 Agustus 2024



Adam Jordan Tampubolon
NIM.200111201023

ABSTRAK

Meningkatnya jumlah sampah dan masih banyaknya sampah yang tidak terolah di Indonesia membuat sampah-sampah terus menumpuk terutama sampah jenis plastik. Pengolahan sampah berjenis plastik menggunakan pirolisis dapat menjadi solusi yang bagus dibandingkan pengolahan menggunakan penimbunan dan pembakaran sampah yang dapat menyebabkan polusi. Pirolisis adalah suatu proses dekomposisi kimia dimana bahan diuraikan secara thermal dalam lingkungan yang kurang oksigen atau tanpa oksigen. Pirolisis adalah salah satu pengolahan limbah plastik yang hasil dari prosesnya dapat dijadikan bahan bakar tergantung dari jenis hasil produknya. Pirolisis menghasilkan 3 produk akhir, yaitu; gas, minyak, arang (*char*). Gas yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan bakar gas, minyak yang dihasilkan dapat dijadikan bahan bakar cair, dan arang (*char*) dapat dijadikan sebagai bahan bakar padat. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu menggunakan 1 kg bahan plastik HDPE, plastik PP, dan campuran plastik HDPE dan PP. Katalis yang digunakan adalah zeolit ZSM-5, dolomit, dan katalis campuran zeolit ZSM-5 dan dolomit dengan rasio terhadap bahan adalah 0,2:1. Pada penelitian ini, minyak yang dihasilkan paling banyak yaitu dengan pirolisis dengan katalis zeolit ZSM-5 dengan 243 ml pada plastik HDPE, 370 ml pada plastik PP, dan 380 ml pada campuran plastik HDPE dan PP. Minyak yang dihasilkan paling sedikit yaitu dengan katalis dolomit dengan 82 ml pada plastik HDPE, 20 ml pada plastik PP, dan 282 pada campuran plastik HDPE dan PP. Katalis zeolit ZSM-5 juga membuat lonjakan pada laju produksi minyak setiap 10 menitnya pada bahan plastik HDPE, PP, dan campuran plastik HDPE dan PP.

Kata kunci: *Daur ulang sampah plastik, Pengolahan limbah plastik, pirolisis sampah plastik*

ABSTRACT

The increasing amount of waste and the large volume of unprocessed waste in Indonesia have led to continuous accumulation, particularly of plastic waste. Processing plastic waste using pyrolysis can be a better solution compared to landfill and incineration, which can cause pollution. Pyrolysis is a chemical decomposition process where materials are thermally decomposed in an environment with little or no oxygen. Pyrolysis is one method of processing plastic waste, where the resulting products can be converted into fuel depending on the type of product. Pyrolysis produces three end products: gas, oil, and char. The gas produced can be used as a gaseous fuel, the oil can be used as a liquid fuel, and the char can be used as a solid fuel. The method used in this research involved 1 kg of HDPE plastic, PP plastic, and a mixture of HDPE and PP plastics. The catalysts used were ZSM-5 zeolite, dolomite, and a mixed catalyst of ZSM-5 zeolite and dolomite with a ratio to the material of 0.2:1. In this study, the highest oil yield was obtained using pyrolysis with ZSM-5 zeolite catalyst, producing 243 ml from HDPE plastic, 370 ml from PP plastic, and 380 ml from the HDPE and PP plastic mixture. The lowest oil yield was obtained with the dolomite catalyst, producing 82 ml from HDPE plastic, 20 ml from PP plastic, and 282 ml from the HDPE and PP plastic mixture. The ZSM-5 zeolite catalyst also caused a spike in the oil production rate every 10 minutes for HDPE, PP, and the HDPE and PP plastic mixture.

Keywords: *Pyrolysis of plastic waste, Plastic waste processing, Recycle plastic waste*

DAFTAR ISI

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI	i
HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING	ii
HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PENGUJI	iii
KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI AKADEMIS	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR NOTASI & SINGKATAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Sistematika penulisan	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA	5
2.1. Penelitian Terdahulu	5
2.2. Landasan Teori	10
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1. Diagram Alir Penelitian	17
3.2. Waktu dan Lokasi Penelitian	18
3.3. Spesifikasi Alat Pirolisis	18
3.4. Variabel Penelitian	23
3.5. Teknik Pengumpulan Data	24

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1 Rendemen Minyak	26
4.1.1 Rendemen Minyak Dengan Non-Katalis	28
4.1.2 Rendemen Minyak Dengan Katalis Zeolit ZSM-5	34
4.1.3 Rendemen Minyak Dengan Katalis Dolomit	40
4.1.4 Rendemen Minyak Dengan Campuran Katalis Zeolit ZSM-5 dan Dolomit 46	
4.2 Rendemen Arang dan Rendemen Gas	54
4.2.1 Rendemen Arang Dengan Non-Katalis	55
4.2.2 Rendemen Arang Dengan Katalis Zeolit ZSM-5	56
4.2.3 Rendemen Arang Dengan Katalis Dolomit	58
4.2.4 Rendemen Arang Dengan Campuran Katalis Zeolit ZSM-5 – Dolomit 59	
4.3 Laju Produksi Minyak	62
4.3.1 Laju produksi minyak HDPE	62
4.3.2 Laju produksi minyak PP	63
4.3.3 Laju produksi minyak campuran HDPE dan PP	64
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	65
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	67

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era industri saat ini, penggunaan plastik dan bahan bakar minyak banyak digunakan di kehidupan sehari-hari. Sudah menjadi sebuah isu global tentang banyaknya sampah plastik yang dihasilkan dan semakin menipisnya minyak bumi karena penggunaan plastik dan bahan bakar minyak sudah melekat dalam kehidupan sehari-hari. Maka diperlukan sebuah alternatif yang dapat menangani kedua hal tersebut dan pirolisis adalah salah satu cara untuk menangani kedua hal tersebut. Pirolisis yaitu salah satu metode daur ulang limbah sampah yang saat ini belum banyak digunakan di Indonesia dan pirolisis adalah target 2030 yang akan dicapai oleh Uni Eropa untuk mengatasi sampah plastik dalam skala besar (Abdy et al., 2022). Timbulan sampah di Indonesia pada tahun 2022 mencapai 19,45 juta ton, volume sampah tersebut berkurang 37,52% jika dibandingkan dengan volume sampah 2021 yang mencapai 31,13 juta ton (Syatriani et al., 2024). Meskipun plastik didaur ulang dengan benar namun setiap siklus daur ulang akan memperpendek umur plastik karena adanya pemanasan tambahan dan pergantian rantai polimer. Setelah beberapa kali didaur ulang, kualitas dari plastik akan menurun dan tidak akan lagi berguna untuk diproduksi kembali (Xu & Schrader, 2022).

Penelitian yang sudah dilakukan sejauh ini dengan menggunakan 1 kg sampah plastik jenis *High-Density Polyethylene* (HDPE) dicampur katalis dengan variasi *catalyst to plastic ratio* sebesar 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; dan 0,25 serta dipanaskan dengan suhu 500 °C. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa dengan suhu 500 °C dan *catalyst to plastic ratio* sebesar 0,2 dan menunjukkan bahwa pirolisis memiliki potensi yang besar karena produk yang dihasilkan dapat digunakan sebagai alternatif energi terbarukan. Minyak yang dihasilkan menggunakan metode pirolisis juga memiliki kualitas yang mirip dengan bahan bakar konvensional (Aisien & Aisien, 2023). Penelitian yang lain dengan katalis zeolit dengan menggunakan 100 gram bahan plastik jenis polipropilena (PP) dan dipirolisis selama 60 menit. Variasi

suhu yang dilakukan adalah 300 °C, 350 °C, dan 400 °C dengan variasi katalis 5%, 6%, dan 7%. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa suhu yang dapat menghasilkan produk cair atau minyak pirolisis tertinggi adalah suhu 400 °C sebesar 75,69 % dengan menggunakan katalis zeolit sebesar 7%. Minyak yang dihasilkan juga memiliki nilai kalor yang hampir mendekati nilai kalor dari minyak diesel yaitu solar (Rahman et al., 2017). Penelitian yang lain dengan menggunakan campuran HDPE dan PP dengan campuran 50:50 menggunakan variasi suhu 200°C, 250°C, 300°C, 350°C, 400°C, dan 450°C selama 80 menit. Hasil dari penelitian menunjukkan minyak yang diperoleh paling tinggi, yaitu 350ml, diperoleh dari suhu 450°C dengan densitas 670-790 kg/m³, densitas 1,611-2,401 cP, dan kalor 7393,7584 hingga 8946,3759 kal/gr (Marwani & Trifarizy, 2024). Penelitian lain menggunakan bahan baku plastik jenis PP dan memakai katalis zeolit ZSM-5 menggunakan suhu reaktor 500°C–560°C dengan 4 tray dengan jenis *bubble cap tray* untuk menampung minyak destilasi. Penelitian ini mendapatkan hasil bahwa cairan minyak tertinggi (68,43 wt%) dihasilkan pada suhu 560°C, jika berdasarkan *API gravity* maka pada tray I minyak terdiri dari bensin (500-560°C), pada tray II terdiri dari minyak tanah (520-650°C), tray III (620-650°C), dan tray 4 (650°C). Menggunakan katalis zeolit ZSM-5 pada pirolisis bersuhu 560°C menghasilkan jumlah gas yang tinggi. Hasil analisis minyak juga menunjukkan bahwa karakteristik minyak mirip dengan bahan bakar fosil dengan menilai dari densitas, nilai kalor, angka oktan, dan gugus fungsinya (Thahir et al., 2021).

Perbedaan pada penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian yang lain adalah pada penelitian ini sampah plastik daur ulang atau bahan baku yang digunakan adalah jenis plastik HDPE, PP, dan campuran plastik HDPE dan PP kemudian diproses dengan variasi katalis zeolit ZSM-5 dan dolomit agar mendapatkan perbandingan hasil akhir minyak dan laju produksi pada tiap bahan baku dengan berbagai variasi katalis. Penelitian ini memakai 2 jenis plastik tersebut karena jenis sampah plastik tersebut banyak sekali beredar dimasyarakat, terutama pada kemasan yang dipakai untuk minuman dan makanan. Variasi katalis yang digunakan adalah non-katalis, zeolit ZSM-5,

dolomit, dan campuran katalis zeolit ZSM-5 dan dolomit. Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, zeolit ZSM-5 dapat meningkatkan minyak hasil pirolisis dan dolomit dapat menurunkan minyak hasil pirolisis. Penelitian ini menggunakan katalis campuran zeolit ZSM-5 dan dolomit untuk melihat apakah katalis campuran berpengaruh pada banyaknya hasil minyak pirolisis jika dibandingkan dengan penggunaan non-katalis, katalis zeolit ZSM-5, dan katalis dolomit.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah di sampaikan maka perlu dirumuskan masalah yang di tentukan sebagai berikut:

1. Bagaimana variasi zeolit ZSM-5 dan dolomit berpengaruh terhadap minyak yang dihasilkan dari pirolisis plastik jenis HDPE, PP, dan campuran HDPE dan PP?
2. Bagaimana laju produksi minyak plastik HDPE, PP, dan campuran HDPE dan PP dengan berbagai variasi katalis?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas tujuan penelitian yang ingin di capai dalam penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui apakah variasi katalis dapat mempengaruhi minyak hasil pirolisis.
2. Untuk mengetahui laju produksi minyak pada masing-masing bahan dengan berbagai variasi katalis.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian pirolisis sampah plastik daur ulang jenis HDPE, PP, dan campuran HDPE - PP dengan campuran katalis zeolit ZSM-5 dan dolomit memiliki manfaat yang signifikan bagi masyarakat luas dan terkhususnya bagi mahasiswa. Berikut beberapa manfaatnya:

A. Manfaat bagi mahasiswa:

1. Pengembangan keterampilan dalam riset
2. Sebagai sarana pengaplikasian ilmu
3. Mahasiswa dapat memenuhi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana

B. Manfaat bagi masyarakat luas:

1. Menjadi salah satu metode daur ulang sampah plastik
2. Sebagai alternatif untuk energi terbarukan
3. Peningkatan kesadaran masyarakat terhadap pengelolaan limbah sampah plastik

1.5 Batasan Masalah

Untuk menjaga agar tetap fokus pada penelitian yang dikerjakan dan tidak menimbulkan permasalahan yang baru, maka diperlukan batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bahan plastik yang digunakan untuk penelitian pirolisis adalah 1 kg plastik HDPE, PP, dan campuran plastik HDPE dan PP..
2. Waktu pada proses pirolisis adalah 1 jam.
3. Rasio katalis terhadap plastik adalah 0.2:1, dimana 0.2 adalah katalis dan 1 adalah plastik.

1.6 Sistematika penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Bab I : Pendahuluan bab ini menjelaskan mengenai latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, Batasan masalah dan sistematika penulisan.
2. Bab II : Kajian Pustaka bab ini menjelaskan tentang dasar pemikiran dan teori-teori yang relevan dengan permasalahan yang sedang dibahas oleh penulis. Hal ini terkait dengan landasan teori dan prinsip-prinsip dasar yang digunakan.
3. Bab III : Metodologi Penelitian bab ini berisi tentang cara penelitian, langkah pelaksanaan penelitian, bahan material penelitian, dan alat yang digunakan untuk penelitian.
4. Bab IV : Pada bagian ini menjelaskan dan menguraikan hasil penelitian yang telah dilakukan untuk selanjutnya dibahas mengenai hasil penelitian yang telah diperoleh.
5. Bab V : Pada bagian ini berisi kesimpulan dan saran yang diperoleh dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Irawati, U., Qomariah, N., & Ain, N. (2020). *Buku Ajar Teknologi Tepat Guna Mengolah Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak*.
- Abdy, C., Zhang, Y., Wang, J., Yang, Y., Artamendi, I., & Allen, B. (2022). Pyrolysis of polyolefin plastic waste and potential applications in asphalt road construction: A technical review. *Resources, Conservation and Recycling*, 180(September 2021), 106213.
- Aisien, F. A., & Aisien, E. T. (2023). Production and characterization of liquid oil from the pyrolysis of waste high-density polyethylene plastics using spent fluid catalytic cracking catalyst. *Sustainable Chemistry for Climate Action*, 2(December 2022), 100020.
- Alit, I. B., & Sutanto, R. (2023). Liquid fuel production from high density polyethylene plastic waste. *Global Journal of Engineering and Technology Advances*, 16(2), 086–091.
- Duanguppama, K., Pannuchaoenwong, N., Echaroj, S., Turakarn, C., Chaiphet, K., & Rattanadecho, P. (2023). Pyrolysis of cigarette waste to fuel production. *Energy Reports*, 9(February), 462–473.
- Hasan, M. M., Rasul, M. G., Jahirul, M. I., & Khan, M. M. K. (2023). Characterization of pyrolysis oil produced from organic and plastic wastes using an auger reactor. *Energy Conversion and Management*, 278(November 2022), 116723.
- Hendrawati, Liandi, A. R., Solehah, M., Setyono, M. H., Aziz, I., & Siregar, Y. D. I. (2023). Pyrolysis of PP and HDPE from plastic packaging waste into liquid hydrocarbons using natural zeolite Lampung as a catalyst. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 7(December 2022), 100290.
- Marwani, & Trifarizy, M. D. (2024). the Pyrolysis of High-Density Polyethylene

- (Hdpe) and Polypropylene (Pp) Plastic Waste Blend. *Indonesian Journal of Engineering and Science*, 5(1), 029–034.
- Moelyabibgrum, A. D., Ellyke, & Pujiati, R. S. (2017). PENGGUNAAN DOLOMIT ($\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$) SEBAGAI PENSTABIL PH PADA KOMPOSTING SAMPAH DAPUR BERBASIS DEKOMPOSISI ANAEROB DAN AEROB Anita. *Problems of Endocrine Pathology*, 62(4), 29–38.
- Pratama, N. N., & Saptoadi, H. (2014). Characteristics of waste plastics pyrolytic oil and its applications as alternative fuel on four cylinder diesel engines. *International Journal of Renewable Energy Development*, 3(1), 13–20.
- Rahman, M. T. A., Daud, S., & Reza, M. (2017). Pengaruh Suhu Dan Persen Katalis Zeolit Terhadap Yield Pirolisis Limbah Plastik Polypropylene (PP). *Jurnal FTEKNIK*, 4(2), 1–7.
- Savira, F. L., & Hendriyanto, O. (2018). Pirolisis Sampah Plastik Sebagai Bahan Bakar Alternatif Dengan Penambahan Sampah Ranting. *Jurnal Envirotek*, 9(2).
- Shangwa, N. L., Chinguwa, S., Nyemba, W. R., & Jen, T. C. (2020). Conceptualization and design of a small pyrolysis plant for the sustainable production of paraffin from plastic waste. *Procedia CIRP*, 91(March), 362–366.
- Smail, H. A., Rehan, M., Shareef, K. M., Ramli, Z., Nizami, A. S., & Gardy, J. (2019). Synthesis of uniform mesoporous zeolite ZSM-5 catalyst for friedel-crafts acylation. *ChemEngineering*, 3(2), 1–11.
- Soekwanto., D. G. H. A., Bunganaen, W., Krisnawi, I. F., & A., F. (2016). Pirolisis Sampah Plastik PP (Polypropylene) menjadi Minyak Pirolisis sebagai Bahan Bakar Primer. *Jurnal Teknik Mesin UNDANA*, 03(01), 17–26.
- Syatriani, S., Silwanah, A. S., & Baersady, M. M. (2024). Gambaran pengelolaan sampah padat pada pedagang di pasar Karuwisi kota Makassar. *EcoVision: Journal of Environmental Solutions*, 1(1), 13–19.

- Thahir, R., Irwan, M., Alwathan, A., & Ramli, R. (2021). Effect of temperature on the pyrolysis of plastic waste using zeolite ZSM-5 using a refinery distillation bubble cap plate column. *Results in Engineering*, 11(April), 100231.
- Xu, Y., & Schrader, W. (2022). Trash-to-fuel: Converting municipal waste into transportation fuels by pyrolysis. *IScience*, 25(4), 104036.
- Yulita, M. F., Yaumawulida, N., & Adyarini, P. U. (2018). *Kristalinitas dan Morfologi dari Zeolit ZSM-5 : Pengaruh Modifikasi Template pada Sintesis*. August, 1–3.