

LAPORAN PENELITIAN

**PENGARUH KONSENTRASI HCl PADA AKTIVASI BENTONIT
SEBAGAI KATALIS DALAM PROSES PIROLISIS SAMPAH PLASTIK
POLIPROPILENA (PP) DI IPST ASARI CILEGON**



Disusun oleh :

Anida Aulia (3335200047)

Rizki Amalia Putri (3335200115)

**JURUSAN TEKNIK KIMIA – FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON – BANTEN**

2024

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

NAMA : Anida Aulia

NIM : 3335200047

JURUSAN : Teknik Kimia

JUDUL : Pengaruh Konsentrasi HCl pada Aktivasi Bentonit Sebagai Katalis dalam Proses Pirolisis Sampah Plastik Polipropilena (PP) di IPST Asari Cilegon

Bersedia

Dengan ini menyatakan bahwa penelitian dengan judul tersebut di atas adalah benar karya saya sendiri dengan arahan dari pembimbing dan tidak ada duplikasi dengan karya orang lain kecuali telah disebutkan sumbernya.

Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam penelitian ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai perundang-undangan yang berlaku.

Cilegon, 26 Juli 2024


Anida Aulia

LAPORAN PENELITIAN

**PENGARUH KONSENTRASI HCl PADA AKTIVASI BENTONIT
SEBAGAI KATALIS DALAM PROSES PIROLISIS SAMPAH PLASTIK
POLIPROPILENA (PP) DI IPST ASARI CILEGON**

Disusun oleh :

Anida Aulia (3335200047)

Rizki Amalia Putri (3335200115)

Telah disetujui oleh dosen pembimbing dan telah dipertahankan di hadapan

dewan penguji

Pada Tanggal 16 Mei 2024

Dosen Pembimbing



Endang Suhendi, S.T., M.Eng.

NIP. 197707052003121001

Dosen Penguji I



Prof. Dr.-Ing.Ir.Anton Irawan, MT

NIP: 197510012008011007

Dosen Penguji II



Wardalla, S.T., M.T

NIP: 198406202008122002

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Kimia**



Dr. Heri Heriyanto, S.T., M.Eng

NIP: 197510222005011002

ABSTRAK

PENGARUH KONSENTRASI HCl PADA AKTIVASI BENTONIT SEBAGAI KATALIS DALAM PROSES PIROLISIS SAMPAH PLASTIK POLIPROPILENA (PP) DI IPST ASARI CILEGON

Oleh :

Anida Aulia (3335200047)

Rizki Amalia Putri (3335200115)

Pirolisis adalah proses pemanasan suatu zat tanpa adanya oksigen sehingga terjadi penguraian komponen-komponen penyusun suatu polimer dalam plastik. Pirolisis digunakan sebagai alternatif untuk mengurangi jumlah plastik yang menjadi salah satu sumber permasalahan lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi HCl pada aktivasi katalis bentonit terhadap *yield* produk cair pirolisis sampah plastik polipropilena (PP) dan mengetahui karakteristik dari produk cair pirolisis. Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan diantaranya preparasi bahan (sampah plastik PP), aktivasi katalis, dan proses pirolisis. Variasi yang digunakan adalah konsentrasi HCl pada aktivasi katalis bentonit yaitu 0,25M; 0,50M; 0,75M. Hasil uji XRD menunjukkan bahwa bentonit tanpa aktivasi dan teraktivasi HCl 0,50 M mengandung mineral montmorillonit, kaolinit, dan kuarsa. Adapun *yield* produk cair tertinggi diperoleh pada konsentrasi HCl 0,50 M sebesar 76%. Produk cair dianalisis densitas, nilai kalor, serta GC-MS. Densitas produk berkisar 0,7452-0,762 g/ml, untuk nilai kalor pada bentonit teraktivasi HCl 0,50 M sebesar 6806,48 cal/g, serta pada uji GC-MS kelimpahan senyawa 2,4-Dimethyl-1-heptene dengan area 8,21% dan waktu retensi 3,626.

Kata Kunci: Bentonit, GC-MS, Pirolisis, Polipropilena, XRD

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan nikmat, rahmat, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian yang berjudul “Pengaruh Konsentrasi HCl pada Aktivasi Bentonit Sebagai Katalis dalam Proses Pirolisis Sampah Plastik Polipropilena (PP) di IPST Asari Cilegon”. Penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses penyusunan laporan, baik secara langsung maupun secara tidak langsung. Ucapan terima kasih ingin penyusun sampaikan kepada:

1. Orang tua dan keluarga penulis yang telah memberikan bantuan material dan moral.
2. Bapak Dr. Heri Heriyanto, S.T., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
3. Bapak Endang Suhendi, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Penelitian yang telah memberikan bimbingan dalam proses penyusunan laporan penelitian ini.
4. Ibu Prof. Dr. Rahmayetty, S.T., M.T. sebagai Koordinator Penelitian, Jurusan Teknik Kimia Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
5. Bapak Muhammad Khoirul Anam selaku pihak PT. Chandra Asri yang telah memberikan dukungan dan perizinan untuk melakukan penelitian ini.
6. Bapak Murad selaku koordinator IPST ASARI yang telah memberikan tempat untuk penulis melakukan penelitian ini.
7. Segenap karyawan IPST ASARI yang telah memberikan pengalaman dan pengetahuannya selama penulis melakukan penelitian di IPST ASARI.
8. Segenap rekan mahasiswa Teknik Kimia Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang telah membantu dalam menyelesaikan laporan akhir penelitian.

Penulis menyadari bahwa laporan penelitian ini masih jauh dari kata sempurna, baik dalam penulisan maupun penyusunan kata. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun akan penulis terima demi kesempurnaan penelitian ini. Semoga

penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi peneliti dan para pembaca dalam pengembangan ilmu pengetahuan.

Cilegon, Mei 2024

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Percobaan	3
1.4 Ruang Lingkup	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Plastik	4
2.1.1 PETE (<i>Polyethylene Terephthalate</i>)	4
2.1.2 HDPE (<i>High Density Polyethylene</i>).....	5
2.1.3 PVC (<i>Polyvinyl Chloride</i>).....	5
2.1.4 LDPE (<i>Low Density Polyethylene</i>)	6
2.1.5 PP (<i>Polypropylene</i>)	7
2.1.6 PS (<i>Polystirene</i>)	7
2.1.7 <i>Other</i> (Jenis Plastik Lainnya)	7
2.2 Isu Lingkungan Akibat Plastik.....	8
2.3 Pirolisis	9
2.4 Produk Hasil Pirolisis Sampah Plastik	10
2.5 Faktor yang Mempengaruhi Proses Pirolisis	11
2.6 Bentonit	14
BAB III METODOLOGI PERCOBAAN	18
3.1 Diagram Alir	18
3.1.1 Diagram Alir Preparasi Bahan	18

3.1.2 Diagram Alir Aktivasi Katalis	19
3.1.3 Diagram Alir Proses Pirolisis	20
3.2 Prosedur Penelitian	21
3.3 Alat dan Bahan	22
3.4 Gambar Alat.....	23
3.5 Variabel Penelitian.....	23
3.6 Metode Pengumpulan dan Analisis Data	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Karakteristik Bentonit	25
4.2 Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap Temperatur (<i>Effect of Heating Time on Temperature</i>).....	29
4.3 Pengaruh Waktu terhadap Pembentukan Produk Cair	30
4.4 Pengaruh Konsentrasi HCl pada Aktivasi Bentonit terhadap Produk Pirolisis	32
4.5 Karakteristik Produk Cair Pirolisis	34
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	39
5.1 Kesimpulan	39
5.2 Saran.....	39
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 <i>State of The Art</i>	16
Tabel 4.1 Perbandingan Massa Bentonit.....	26
Tabel 4.2 Nilai $2\theta(^{\circ})$ pada Bentonit	28
Tabel 4.3 Laju Pemanasan	30
Tabel 4.4 Perbandingan Perolehan Produk Cair	33
Tabel 4.5 Analisis Senyawa Bahan Bakar Sampel BNT-0,50M	36
Tabel 4.6 Nilai Kalor Produk Cair	37
Tabel 4.7 Densitas Produk Cair	38

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Kode-Kode Dalam Bahan Plastik	4
Gambar 2.2 Struktur Molekul PETE	5
Gambar 2.3 Struktur Molekul Polistirena	7
Gambar 2.4 Sampah Plastik di Provinsi Banten Tahun 2022	8
Gambar 2.5 Bentonit	15
Gambar 2.6 Struktur Bentonit	16
Gambar 3.1 Diagram Alir Preparasi Bahan	18
Gambar 3.2 Diagram Alir Aktivasi Katalis Secara Kimia	19
Gambar 3.3 Diagram Alir Aktivasi Katalis Secara Fisika	20
Gambar 3.4 Diagram Alir Proses Pirolisis	21
Gambar 3.5 Rangkaian Alat Pirolisis	23
Gambar 4.1 Hasil Analisa XRD Katalis Bentonit.....	27
Gambar 4.2 Profil Hubungan Waktu Pemanasan terhadap Temperatur.....	29
Gambar 4.3 Pengaruh Waktu terhadap Pembentukan Produk Cair	31
Gambar 4.4 Pengaruh Konsentrasi HCl terhadap <i>Yield</i>	32
Gambar 4.5 GC-MS Produk Cair Pirolisis (a) BNT-NA (b) BNT-0,5M	35

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Plastik memainkan peran penting dalam kehidupan manusia sehari-hari karena keberadaannya yang efisien di beberapa sektor seperti kemasan, konstruksi, otomotif, elektronik atau pertanian dan lain-lain. Selama ini penggunaan plastik dalam kehidupan modern semakin meluas dan tidak dapat dihindari, mengakibatkan peningkatan produksi plastik global setiap tahun dari berbagai industri dan rumah tangga sehingga berakhir menjadi sampah/limbah. Sampah merupakan sisa dari kegiatan atau aktivitas manusia, baik bersifat domestik maupun industri.

Berdasarkan data dari Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan (DLHK) tahun 2022, Provinsi Banten menyumbang 7190 ton/hari atau setara dengan 2,62 juta ton setiap tahunnya, dengan Kota Cilegon menyumbang 83,16 ribu ton sampah per tahun. Data asal sampah di Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) tahun 2022 tercatat bahwa 60% berasal dari rumah tangga, 15% sampah pasar tradisional, 7,1% sampah pusat perniagaan, 5,7% sampah fasilitas publik, 4,1% sampah kawasan, 3,9% sampah perkantoran, serta sisanya sampah lain-lain, dengan sampah plastik di Kota Cilegon tercatat sebanyak 16% atau 13,3 ribu ton per tahun.

Dengan banyaknya sampah yang dihasilkan, dapat menyebabkan permasalahan lingkungan karena sampah plastik sulit untuk diurai oleh mikroorganisme (Savira dan Okik, 2018). Adapun metode pengolahan sampah plastik untuk mengurangi masalah lingkungan diantaranya daur ulang menjadi bahan plastik baru, pirolisis, dan RDF (*Refuse Derived Fuel*). Metode pirolisis adalah salah satu upaya yang telah dilakukan untuk mengubah sampah plastik menjadi sumber energi alternatif (bahan bakar).

Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi pirolisis adalah keberadaan katalis. Proses pirolisis dengan penambahan katalis dapat mempercepat reaksi degradasi

dan memperpendek rantai hidrokarbon panjang sehingga mudah untuk dikondensasi menjadi minyak pirolisis. Salah satu katalis alam yang dapat digunakan ialah bentonit. Proses pirolisis dengan katalis telah dilakukan oleh beberapa peneliti seperti Dewangga, dkk (2019) yang melakukan penelitian tentang sampah plastik polistiren dengan katalis bentonit berukuran 60 mesh pada temperatur 400 °C selama 60 menit. Adapun variasi yang digunakan ialah persentase berat katalis bentonit. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa persentase massa katalis tertinggi menghasilkan *yeild* produk cair tertinggi. Untuk meningkatkan sifat katalitik bentonit dilakukan proses aktivasi dengan menggunakan larutan HCl. Dalam proses pirolisis sampah plastik, konsentrasi larutan HCl pada aktivasi bentonit dapat mempengaruhi produk hasil pirolisis.

1.2. Rumusan Masalah

Keberadaan katalis bentonit pada proses pirolisis berfungsi untuk mempercepat reaksi degradasi dan memperpendek rantai hidrokarbon. Hal tersebut dapat terjadi karena katalis bentonit dapat mempercepat pembentukan radikal bebas akibat terputusnya ikatan rantai karbon, sehingga memecahkan rantai hidrokarbon panjang menjadi rantai hidrokarbon yang lebih pendek (Pratiwi & Wiwiek, 2019). Keberadaan katalis bentonit dapat meningkatkan temperatur dan menurunkan waktu reaksi. Selain itu, katalis dapat memperbaiki kualitas dan kuantitas hasil pirolisis (Budsareechai, S. dkk, 2015). Kinerja katalis dipengaruhi oleh proses aktivasi katalis. Salah satu faktor yang memengaruhi proses aktivasi katalis ialah tingkat konsentrasi larutan asam. Tingginya konsentrasi larutan asam pada proses aktivasi katalis bentonit dapat menyebabkan degradasi struktur katalis dan memperkecil luas permukaan pori katalis sehingga menurunkan kuantitas dan kualitas produk pirolisis. Oleh karena itu, diperlukan keseimbangan antara konsentrasi larutan asam dengan katalis bentonit agar menghasilkan produk pirolisis yang optimal.

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh konsentrasi HCl pada aktivasi katalis bentonit terhadap *yield* produk cair pirolisis sampah plastik polipropilena (PP) dan mengetahui karakteristik dari produk cair pirolisis.

1.4. Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Industri Pengelolaan Sampah Terpadu Atasi Sampah – Kelola Mandiri (IPST ASARI) dan di Laboratorium Pengolahan dan Konversi Energi Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Bahan yang digunakan diantaranya Bentonit Alam Jasinga (Jawa Barat), larutan HCl, dan sampah plastik polipropilena (plastik kemasan bening dan plastik *sachet*). Metode penelitian yang digunakan yaitu metode pirolisis. Analisis yang digunakan untuk mengetahui karakteristik katalis bentonit diantaranya uji XRD dengan alat *Bruker D8 Advance Eco* yang dilakukan di Laboratorium Terpadu Sindangsari Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, uji GC-MS dengan alat *Agilent type 5977B* dan uji nilai kalor dengan standar ASTM E1269 yang dilakukan di Pusat Laboratorium Forensik, serta uji densitas dengan standar ASTM D1298 yang dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

DAFTAR PUSTAKA

- Adoe, D. G. H., Wenseslaus, B., Ika, F. K., dan Ferdyan. 2016. Pirolisis Sampah Plastik PP (Polyprophylene) menjadi Minyak Pirolisis sebagai Bahan Bakar Primer. *Jurnal Teknik Mesin Undana*, 3(1): 17 – 26
- Anggono, Y., P., Ilminnafik N., Rosyadi A., A., Jatisukamto. 2020. Pengaruh Katalis Zeolit Alam Pada Pirolisis Plastik Polyethylene Terephthalate dan Polypropylene. *Jurnal Energi dan Manufaktur*, 13(1): 22-27
- Ardiansyah, Y., Alfita, R. and Joni, K., 2021. RANCANG BANGUN ALAT UJI KUALITAS DENSITY BAHAN BAKAR MINYAK BERDASARKAN METODE TEKANAN HIDROSTATIS. *J-Eltrik*, 3(1), pp.15-24.
- Arini, Wahyu. 2022. Pirolisis Sistem Terhadap Sampah Plastik Polipropilen (PP) Menjadi Bahan Bakar. *Science and Physics Education Journal*, 5(2): 55-60
- Azis, H.A. and Rante, H.B., 2021. Produksi bahan bakar cair dari limbah plastik polypropylene (PP) metode pirolisis. *Journal of Chemical Process Engineering*, 6(1), pp.18-23.
- Budsareechai, S., Hunt, A. J., & Ngernyen, Y. (2019). Catalytic pyrolysis of plastic waste for the production of liquid fuels for engines. *RSC Advances*, 9(10), 5844–5857. doi:10.1039/c8ra10058f
- Dewangga, P. B., Rochmadi, & Purnomo, C. W. (2019). Pyrolysis of polystyrene plastic waste using bentonite catalyst. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 399(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/399/1/012110>
- Effendy, S., Rusnadi, I., Amin, J.M., Aina, N., Rossa, B. and Waltin, M., 2021. Unjuk Kerja Proses Pirolisis Katalitik Limbah Ban Bekas Menjadi Bahan Bakar Cair Ditinjau Dari Jumlah Katalis, Variasi Temperatur, dan Waktu Operasi. *Kinetika*, 12(1), pp.32-39.

- Elfadly, A. M., Zeid, I. F., Yehia, F. Z., Abouelela, M. M., & Rabie, A. M. (2017). Production of aromatic hydrocarbons from catalytic pyrolysis of lignin over acid-activated bentonite clay. *Fuel Processing Technology*, 163, 1–7. doi:10.1016/j.fuproc.2017.03.033
- Endang, K., Mukhtar, G., Abed, N., F. X. Angga Sugiyana. 2016. Pengolahan Sampah Plastik dengan Metoda Pirolisis Menjadi Bahan Bakar Minyak. *Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*, 16: 1 – 7
- Erawati, E. Huda, F.N., 2023. Pirolisis Campuran Limbah plastik jenis polietilena berdensitas tinggi (HDPE) dan polipropilena (PP) dengan bentonit sebagai katalis. *Jurnal Integrasi Proses*, 12(1): 6-11
- Gao, Feng. 2010. Pyrolysis of Waste Plastics Into Fuels. *Doctor of Philosophy in Chemical and Process Engineering*. University of Canterbury
- Harlivia, R. and Tahdid, T., 2022. Pengaruh Porsen Katalis Zeolit Alam Terhadap Yield Bahan Bakar Cair Proses Pirolisis dari Limbah Plastik Polypropylene. *Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia*, 2(11), pp.453-459.
- Hymore., F.K. 1996. Effect of Some Additives on The Performance of Acid-Activated Clays in Bleaching of Palm Oil. *Applied Clay Science*. 10: 379-385
- Jahiding, M., Nurfianti, E., Hasan, E.S. and Rizki, R.S., 2020. Analisis Pengaruh Temperatur Pirolisis terhadap Kualitas Bahan Bakar Minyak dari Limbah Plastik Polipropilena. *Gravitasi*, 19(1), pp.6-10.
- Kamal, M. D., 2021. Pengaruh Penambahan Katalis Active Carbon Dan Bentonite Clay Pada Pirolisis Sampah Plastik Polyethylene Terephthalate (Pete) Terhadap Rendemen, Densitas, Viskositas, Dan Nilai Kalor. *Jurnal Politeknologi*. 20(3)
- Karuniastuti, N. 2013. Bahaya Plastik Terhadap Kesehatan Dan Lingkungan. *Forum Teknologi* 3(1): 6 – 14 dapat diakses:

<http://ejournal.ppsdmmigas.esdm.go.id/sp/index.php/swarapatra/article/view/43>

- Kunwar, Bidhya., Cheng, H.N., Sriram, R.C., Brajendra, K.Sharma. 2016. Plastic to fuel : a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 54: 421 – 42
- Kusuma, R. I., Hadinoto, J. P., Ayucitra, A., Soetardjo, F.E., and Ismadji., S., 2013. Natural Zeolite from Pacitan Indonesia, as Catalyst: Support for Transesterification of Palm Oil. *Applied Clay Science* 74, 121-126 doi: 10.1016/j.clay.2012.04.021.
- Miandad, R. M.A. Barakat., Asad S. Aburizaiza., M. Rehan., I.M.I. Ismail. 2016. Effect of plastic waste types on pyrolysis liquid oil. *International Biodeterioration & Biodegradation*, xxx: 1 – 14
- Masqood, Tariq. Jinze, Dai., Yaning, Zhang., Mengmeng, Guang., Bingxi, Li. 2021. Pyrolysis of plastic species: A review of resources and products. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 159: 1 – 12
- Martina M.M.R. 2017. Sintesis Biodiesel dari Minyak Jelantah dengan Pengaruh Rasio Reaktan, Variasi Waktu dan Berat Katalis (NaOH) Menggunakan Reaksi Transesterifikasi. Skripsi. Purwokerto: Universitas Muhammadiyah Purwokerto.
- Mukarrom, F. 2017. *Ekonomi Mineral Indonesia*. Yogyakarta: Andi Publisher.
- Munasir, M., Triwikantoro, T., Zainuri, M. and Darminto, D. (2012) “Uji XRD dan XRF Pada Bahan Mineral (Batuan dan Pasir) Sebagai Sumber Material Cerdas (CaCO₃ dan SiO₂)”, *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*, 2(1), pp. 20–29. doi:10.26740/jpfa.v2n1.p20-29
- Nabawiyah, K. and Abtokhi, A., 2010. Penentuan nilai kalor dengan bahan bakar kayu sesudah pengarangan serta hubungannya dengan nilai porositas zat padat. *Jurnal Neutrino: Jurnal Fisika dan Aplikasinya*.
- Nugroho, A. S. (2020). Pengolahan Limbah Plastik LDPE dan PP Untuk Bahan Bakar Dengan Cara Pirolisis. *Jurnal Litbang Sukowati : Media Penelitian*

Dan Pengembangan, 4(1), 91–100.
<https://doi.org/10.32630/sukowati.v4i1.166>

- Panda, A. K. 2018 Thermo-catalytic degradation of different plastic to drop in liquid fuel using calcium bentonite catalyst. *International Journal of Industrial Chemistry*, dapat diakses: <https://doi.org/10.1007/s40090-018-0147-2>
- Pratiwi, R., dan Wiwiek, D. 2015. Pengaruh Penggunaan Katalis Zeolit Alam dalam Pirolisis Limbah Plastik Jenis HDPE Menjadi Bahan Bakar Cair Setara Bensin. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Rahman, M. M. dkk., 2022. Catalytic pyrolysis of single-use waste polyethylene for the production of liquid hydrocarbon using modified bentonite catalyst. Jagannath University. Research Square: 1-27
- Renilaili. 2019. Metode Pirolisis Upaya Untuk Mengkonversi Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar Alternatif. *Integrasi Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 4(1): 9-16
- Rosyadi., Imron., Wahyudi. H., Satria. D., Yusvardi, Febriando. 2018. Analisis Hasil pirolisis pada limbah biomassa tongkol jagung dengan kayu akasia. *Simposium Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri*. ITN Malang, 3 Februari 2018
- Ruskandi, Cecep., Siswanto, Ari., Widodo, R. 2020. Karakterisasi Fisik dan Kimiawi Bentonit Untuk Membedakan Natural Sodium Bentonit dengan Sodium Bentonit Hasil Aktivasi. *Jurnal Polimesin*, 8(1): 53-60
- Savira, F. L., dan Okik, H. 2018. Pirolisis Sampah Plastik Sebagai Bahan Bakar Alternatif dengan Penambahan Sampah Ranting. *Jurnal Envirotek*, 9(2): 1 – 6
- Serio, M., Wojtowicz, S. Charpenay. 2004. Pyrolysis. *Encyclopedia of Energy Technology and The Enviromental*. John Wiley & Sons, New York

- Sharma, B., Bryan, R. M., Karl, E. V., Kenneth, M. D. 2014. Production, characterization and fuel properties of alternative diesel fuel from pyrolysis of waste plastic grocery bags. *Fuel Processing Technology*, 122: 79 – 90
- Sharuddin, S. D. A., F. Abnisa., W. M. A. W. Daud., M. K. Aroua. 2016. A review on pyrolysis of plastic waste. *Energy Conversion Management*, 115: 308 – 326
- Sibarani, J., Zulfihardini, M. and Suarsa, I.W., 2020. Sintesis dan karakterisasi katalis CaO-Bentonit untuk reaksi transesterifikasi minyak jelantah menjadi biodiesel. *CAKRA KIMIA (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*, 8(1), pp.59-65.
- Suhendi, E., Heriyanto, H., Ammar, M., Tsania, A. and Anam, M.K., 2023. The Effect of Polypropylene and Low-Density Polyethylene Mixtures in the Pyrolysis Process on the Quantity and Quality of the Oil Products. *World Chemical Engineering Journal*, 7(2), pp.55-60.
- Syamsiro, Mochamad. 2015. Kajian Pengaruh Penggunaan Katalis terhadap Kualitas Produk Minyak Hasil Pirolisis Sampah Plastik. *Jurnal Teknik* 5(1): 47-56
- Syarif, A., Trisnaliani, L., Effendy, S. and Daniar, R., 2020. Effect of Bentonite on the Yield and Composition of Products From Thermolysis of Polystyrene Waste. In *Forum In Research, Science and Technology (FIRST)-Atlantis Highlights in Engineering*. POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA.
- Tazi, I. and Sulistiana, S., 2011. Uji kalor bakar bahan bakar campuran bioetanol dan minyak goreng bekas. *Jurnal Neutrino*, 3(2), pp.163-174.
- Udyani, K., Ningsih E., dan Arif, M. 2018. Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Yield dan Nilai Kalor Bahan Bakar Cair Dari Bahan Limbah Kantong Plastik. *Prosiding Simposium Nasional Sains dan Teknologi Terapan*. Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, 28 September 2018
- Vuković, Z., Milutonović, A., Rožić, L., Rosić, A., Nedić, Z., & Jovanović, D. (2006). The influence of acid treatment on the composition of bentonite. *Clays and Clay Minerals*, 54(6), 697–702. doi:10.1346/ccmn.2006.0540605

- Wahyudi, I. (2001) 'Pemanfaatan Blotong Menjadi Bahan Bakar Cair Dan Arang Dengan Proses Pirolisis', Jurusan Teknik Lingkungan FTSP UPN "Veteran" Jatim.
- Wajdi, B., Sapiruddin, S., Novianti, B.A. and Zahara, L., 2020. Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak (BBM) Dengan Metode Pirolisis Sebagai Energi Alternatif. *Kappa Journal*, 4(1), pp.100-112.
- Wang, Zhiwei., Kiran, G. B., Tingzhou, L., Ashwani, K. G. 2020. Co-pyrolysis of Waste Plasyic and Solid Biomass for Synergistic Production of Biofuels and Chemical – A Review. *Published by Elseiver*. Diakses: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036012852030109X>
- Williams, P.T. and Besler, S., 1996. The influence of temperature and heating rate on the slow pyrolysis of biomass. *Renewable energy*, 7(3), pp.233-250. [https://doi.org/10.1016/0960-1481\(96\)00006-7](https://doi.org/10.1016/0960-1481(96)00006-7)
- Wicaksono, M.A. and Arijanto, A., 2017. Pengolahan sampah plastik jenis PET (Polyethilene perephthalathe) menggunakan metode pirolisis menjadi bahan bakar alternatif. *Jurnal Teknik Mesin*, 5(1), pp.9-1