

**PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH KULIT PINUS TERHADAP HASIL
PIROLISIS LIMBAH PLASTIK HDPE SEBAGAI BAHAN BAKAR
ALTERNATIF**

Sigit Mujiarto¹, Rany Puspita Dewi², Ali Suhadla³,

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Program Studi Teknik Mesin, Universitas Tidar
Email: sigitmujiarto@untidar.ac.id¹, ranypuspita@untidar.ac.id², alisyhda309@gmail.com³

ABSTRAK

Sampah seringkali menjadi masalah bagi masyarakat. Pirolisis dinilai menjadi solusi efektif untuk mereduksi sampah serta dapat menghasilkan produk akhir yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber energi. Penelitian ini menggunakan sampah plastik HDPE dengan variasi penambahan sampah kulit pinus 0%, 25%, 50% dan 75% dengan massa total 500 gram dan menggunakan penambahan katalis bentonit seberat 100 gram, proses pirolisis dilakukan selama 120 menit menggunakan suhu 320°C. Dengan tujuan mengkaji pengaruh penambahan kulit pinus terhadap hasil minyak pirolisis plastik HDPE sebagai bahan bakar alternatif menggunakan parameter uji karakteristik fisika bahan bakar meliputi massa jenis, viskositas dan nilai kalor. Hasil penelitian terbaik menunjukkan variasi penambahan sampah kulit pinus 50% dan 75% memiliki karakteristik fisika setara bahan bakar B20 dan B30 dengan massa jenis, viskositas dan nilai kalor berturut-turut 0,8307 gr/ml, 2,341 cSt dan 10.644,894 cal/g untuk variasi kulit pinus 50% dan 0,8367 gr/ml, 2,467 dan 10491,863 untuk variasi kulit pinus 75%.

Kata kunci: Pirolisis, Plastik HDPE, Kulit Pinus

ABSTRACT

Waste often becomes a problem for society. Pyrolysis is considered an effective solution to reduce waste and can produce end products that can be utilized as energy sources. This study uses HDPE plastic waste with variations in the addition of pine bark waste at 0%, 25%, 50%, and 75%, with a total mass of 500 grams and the addition of 100 grams of bentonite catalyst. The pyrolysis process is carried out for 120 minutes at a temperature of 320°C. The aim is to examine the effect of adding pine bark on the pyrolysis oil yield of HDPE plastic as an alternative fuel using parameters of fuel physical characteristics, including density, viscosity, and calorific value. The best results show that the variations of adding 50% and 75% pine bark waste have physical characteristics equivalent to B20 and B30 fuels, with density, viscosity, and calorific values of 0.8307 g/ml, 2.341 cSt, and 10,644.894 cal/g for the 50% pine bark variation, and 0.8367 g/ml, 2.467 cSt, and 10,491.863 cal/g for the 75% pine bark variation, respectively.

Keywords: Pyrolysis, HDPE plastic, Pine bark

1. Pendahuluan

Meningkatnya jumlah penduduk di suatu negara berbanding lurus dengan meningkatnya penggunaan energi. Selama 10 tahun terakhir penggunaan energi di Indonesia mengalami kenaikan 7-10% per tahun, penggunaan energi di Indonesia didominasi oleh sektor transportasi sebanyak 76%. Namun penggunaan energi tersebut masih didominasi oleh produk impor, terutama produk minyak bumi. Minyak bumi sendiri adalah jenis sumber energi yang tidak diperbarui [1]. Oleh karena itu diperlukan solusi untuk mengurangi ketergantungan dari sumber energi minyak bumi, salah satu potensi yang dimanfaatkan adalah plastik. Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) pada tahun 2022 Indonesia menghasilkan sampah plastik sebesar 12,54 juta ton. Jumlah sampah plastik yang banyak di Indonesia disebabkan masih maraknya penggunaan plastik dalam kehidupan sehari-hari.

Plastik pada dasarnya terbuat dari minyak bumi dan dapat dikembalikan lagi menjadi minyak bumi melalui proses pirolisis. Pirolisis adalah proses konversi termal tanpa adanya oksigen, produk pirolisis berupa minyak, gas dan arang [2]. Jenis plastik yang layak untuk dijadikan bahan bakar melalui proses pirolisis adalah plastik *high density polyethylene* (HDPE), hal ini karena sampah plastik jenis ini dalam kategori ikatan antar molekulnya terjadi secara bersilang, dengan bentuk ikatan seperti ini akan menyebabkan sampah plastik HDPE memiliki ketahanan suhu yang tinggi sehingga pada suhu optimum proses pirolisis sampah plastik HDPE akan menghasilkan volume minyak yang tinggi. Pirolisis plastik HDPE yang dilakukan pada suhu 134°C-220°C selama 120 menit menghasilkan produk minyak dengan volume 74 ml, nilai massa jenis 769 kg/m³ dan viskositas 0,7 Cp [3].

Selain sampah anorganik, sampah organik juga belum dimanfaatkan secara optimum,

menurut KLHK jumlah timbunan sampah Indonesia tahun 2022 sebanyak 68,7 juta ton. Salah satu sampah organik yang belum dimanfaatkan secara maksimal adalah sampah dari pohon pinus terutama bagian kulitnya. Kulit pinus mengandung 59,38% holoselulosa [4]. Kandungan holoselulosa yang tinggi pada kulit pinus bisa dimanfaatkan menjadi bahan bakar alternatif karena kandungan holoselulosa akan berpengaruh pada kecepatan pembentukan produk, semakin tinggi kandungan selulosa maka pembentukan produk akan lebih tinggi [5]. Kajian yang membahas produksi bio-oil dari kulit telah dilakukan dengan metode pirolisis selama 2 jam pada suhu 320°C, bio-oil yang dihasilkan sudah mendekati *diesel oil* dengan nilai densitas 0,856 gr/ml, viskositas 9,306 dan titik nyala 54°C [6].

Katalis merupakan zat yang dapat mempercepat reaksi kimia dalam proses pirolisis namun katalis tidak ikut bereaksi sehingga tidak mempengaruhi produk akhir reaksi, katalis berperan menurunkan energi aktivasi serta mempercepat laju reaksi, selain itu katalis juga mampu mengarahkan proses ke distribusi produk yang kita inginkan [7]. Secara umum katalis ada dua jenis katalis yaitu katalis alamiah dan katalis buatan [8]. salah satu katalis alam yang bisa dimanfaatkan dalam proses pirolisis adalah bentonit. Bentonit adalah jenis tanah liat yang terbentuk dari abu vulkanik dan terdiri dari mineral montmorillonit, penambahan bentonit sebagai katalis dalam proses pirolisis sangat direkomendasikan untuk menghasilkan yield yang lebih besar [9].

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, peneliti akan melakukan penelitian yang membahas tentang pengaruh penambahan limbah kulit pinus terhadap sampah plastik HDPE, dengan variasi penambahan kulit pinus sebesar 0%, 25%, 50%, dan 75% melalui metode *catalytic cracking* dengan katalis bentonit seberat 100 gram.

Adapun parameter hasil yang diuji yaitu massa jenis, viskositas dan nilai kalor.

2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama 6 bulan bertempat di Laboratorium Jurusan Teknik Mesin dan Industri Universitas Tidar untuk proses pirolisis dan untuk pengujian karakteristik bahan bakar dilakukan di Laboratorium CV. Chem-Mix Pratama.

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah ayakan 100 mesh timbangan digital, gelas ukur, kompor induksi, oven, Ph meter, alat pirolisis, *thermocouple*, gas LPG, gelas ukur, viskometer dan bom kalorimeter dengan bahan sampah plastik HDPE, sampah kulit pinus dan katalis bentonit. Alat pirolisis ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alat pirolisis

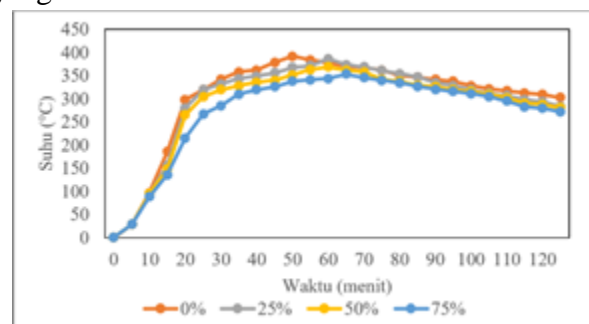
Metode yang digunakan adalah eksperimental dengan pirolisis sebagai metode percobaan. Adapun variabel yang digunakan adalah komposisi sampah kulit pinus 0%, 25%, 50% dan 75% terhadap sampah plastik HDPE sebagai variabel bebas, uji karakteristik bahan bakar sebagai variabel bebas, variabel terkait dan suhu yang digunakan yaitu 320°C dengan lama proses pirolisis 120 menit menggunakan katalis bentonit 100 gram sebagai variabel terkontrol. Adapun teknik analisis data yang digunakan adalah menggunakan analisis data kuantitatif dengan analisis statistik deskriptif.

Peneliti akan melakukan penelitian yang membahas pengaruh penambahan sampah kulit pinus terhadap hasil pirolisis

sampah plastik HDPE. Penelitian dilakukan dengan metode *catalytic cracking*, pirolisis dilakukan selama 120 menit menggunakan suhu 320°C. Bahan yang digunakan memiliki massa total 500 gram yang terdiri dari sampah plastik HDPE dengan variasi penambahan sampah kulit pinus 0%, 25%, 50% dan 75% dengan penambahan katalis bentonit 100 gram pada masing-masing variasinya. Gambar 1 menunjukkan diagram alur prosedur penelitian ini.

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh penambahan sampah kulit pinus terhadap hasil pirolisis plastik HDPE dengan parameter yang digunakan adalah waktu, suhu, bahan bakar yang dihasilkan, massa jenis, viskositas dan nilai kalor. Penelitian ini dilakukan selama 120 menit dengan interval waktu pengukuran setiap 5 menit, proses pirolisis menggunakan suhu 320°C dengan variasi sampah kulit pinus 0%, 25%, 50% dan 75% terhadap sampah plastik HDPE. Massa total yang digunakan adalah 500 gram dengan penambahan katalis bentonit 100 gram. Gambar 1 menunjukkan perbandingan waktu dan suhu dari proses pirolisis yang telah dilakukan.



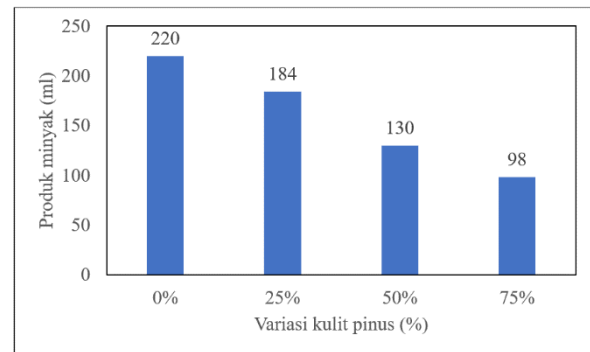
Gambar 2. Perbandingan waktu dan suhu

Penelitian ini menggunakan waktu yang sama namun waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu tertinggi berbeda-beda pada tiap variasinya. Variasi sampah kulit pinus 0% membutuhkan waktu 45 menit untuk mencapai

suhu tertinggi 392°C, variasi sampah kulit pinus 25% membutuhkan waktu 55 menit untuk mencapai suhu tertinggi 383°C, variasi sampah kulit pinus 50% membutuhkan waktu 55 menit untuk mencapai suhu tertinggi 369°C dan variasi sampah kulit pinus 75% membutuhkan waktu 60 menit untuk mencapai suhu tertinggi 353°C. Artinya semakin banyak variasi kulit pinus maka suhu tertinggi yang dicapai akan semakin rendah, hal ini juga berbanding lurus dengan suhu akhir yang dicapai. Suhu akhir tertinggi dicapai variasi sampah kulit pinus 0% dengan suhu 303°C dan suhu akhir terendah dicapai variasi sampah kulit pinus 75% dengan suhu akhir 272°C.

Perbedaan suhu tertinggi dan suhu akhir yang dicapai pada penelitian ini disebabkan oleh besar kecilnya variasi sampah kulit pinus, semakin tinggi variasi kulit pinus maka pembakaran yang terjadi kurang sempurna. Selain itu sampah kulit pinus pada menit 55 hingga 65 sudah mulai habis terbakar dan menjadi arang sehingga suhu pirolisis cenderung mengalami penurunan dan berada pada suhu yang konstan.

Produk yang dihasilkan dari proses pirolisis sampah plastik HDPE dengan variasi sampah kulit pinus berupa bahan bakar cair. Jumlah produk yang dihasilkan memiliki volume yang berbeda-beda, semakin tinggi variasi kulit pinus maka jumlah produk yang dihasilkan semakin sedikit. Variasi sampah kulit pinus 0% menghasilkan produk tertinggi yaitu 220 ml, variasi sampah kulit pinus 25% menghasilkan produk 184 ml, variasi sampah kulit pinus 50% menghasilkan produk 130 ml dan variasi sampah kulit pinus 75% menghasilkan produk terendah yaitu 98 ml. Perbandingan produk yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Jumlah produk yang dihasilkan

Ada beberapa faktor yang menyebabkan produk yang dihasilkan memiliki volume yang berbeda diantaranya:

1. Komposisi

Semakin tinggi variasi kulit pinus maka kandungan lignin akan semakin tinggi, semakin tinggi lignin maka produk yang dihasilkan akan semakin sedikit. Hal ini disebabkan karena lignin membutuhkan energi yang lebih tinggi untuk terurai. Kandungan lignin pada kulit pinus adalah 40,43% [4] sedangkan plastik HDPE lebih banyak menghasilkan produk minyak karena memiliki ketahanan suhu yang tinggi sehingga pada suhu yang optimum proses pirolisis sampah plastik menghasilkan minyak dengan volume yang banyak [3].

2. Temperatur

Temperatur memiliki peran yang penting dalam proses pirolisis, umumnya proses pirolisis menggunakan pada rentang 300°C hingga 600°C. Suhu yang digunakan tergantung dari bahan baku yang digunakan serta hasil yang diinginkan [10]. Durasi pembakaran semakin tinggi suhu yang digunakan maka gas yang dihasilkan akan semakin tinggi, namun akan menurunkan padatan serta minyak yang dihasilkan. Durasi pembakaran semakin tinggi suhu yang digunakan maka gas yang dihasilkan akan semakin tinggi, namun akan menurunkan padatan serta minyak yang dihasilkan [11].

3. Durasi pembakaran

Durasi pembakaran bergantung pada bahan yang digunakan serta tujuan dari produk yang dihasilkan. Waktu tinggal pada proses pirolisis bervariasi dari beberapa detik tinggal 2 jam, semakin lama waktu tinggal produk akan terkomposisi menjadi minyak dan gas [10].

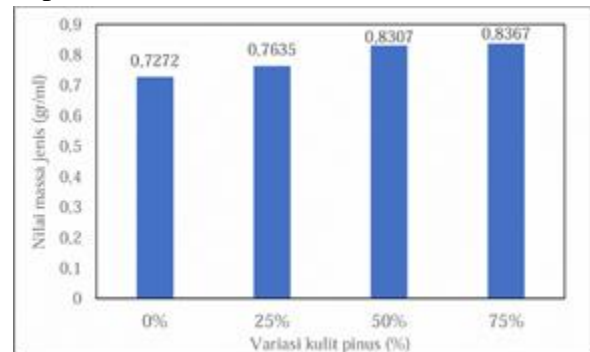
Dari jumlah produk yang dihasilkan kemudian dilakukan uji karakteristik bahan bakar dengan hasil seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil uji karakteristik bahan bakar

Variasi kulit pinus	Uji karakteristik bahan bakar		
	Massa jenis (gr/ml)	Viskositas (cSt)	Nilai kalor (cal/g)
0%	0,7272	2,116	10943,159
25%	0,7635	2,233	10696,379
50%	0,8307	2,341	10644,894
75%	0,8367	2,467	10491,863

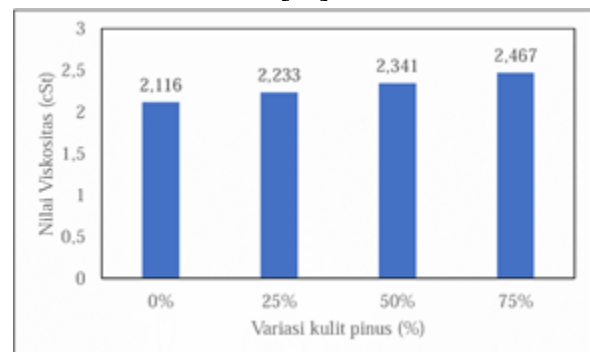
Massa jenis yang diperoleh dari proses pirolisis plastik HDPE dengan penambahan sampah kulit pinus adalah 0,7272 gr/ml untuk variasi sampah kulit pinus 0%, 0,7635 gr/ml untuk variasi sampah kulit pinus 25%, 0,8307 gr/ml untuk variasi sampah kulit pinus 50% dan 0,8367 gr/ml untuk variasi 75%. Artinya seiring dengan bertambahnya sampah kulit pinus maka massa jenisnya akan naik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Adanya kenaikan nilai massa disebabkan karena kulit pinus cenderung memiliki nilai massa jenis yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai massa jenis sampah plastik HDPE, 0,85 gr/ml [6] berbanding 0,769 gr/ml [3]. Nilai massa jenis minyak pirolisis variasi sampah kulit pinus 0% dan 25% sudah mendekati nilai massa jenis bensin RON 98 dengan massa jenis 0,715 gr/ml sampai 0,770 gr/ml [12] sedangkan nilai massa jenis minyak pirolisis variasi sampah kulit pinus 50% dan 75% memiliki nilai massa jenis

direntang bahan bakar B20 dan bahan bakar B30 dengan nilai massa jenis 0,815 gr/ml sampai 0,870 gr/ml untuk bahan bakar B20 dan 0,810 gr/ml sampai 0.850 untuk bahan bakar B30 [13].



Gambar 4. Hasil uji nilai massa jenis

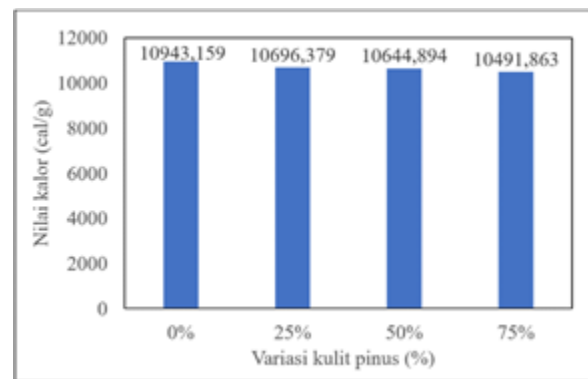
Viskositas yang didapatkan mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya variasi sampah kulit pinus seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, hal ini sama seperti nilai massa jenis karena viskositas berbanding lurus dengan nilai massa jenis. Viskositas yang didapatkan adalah 2,116 cSt untuk variasi sampah kulit pinus 0%, 2,233 cSt untuk variasi sampah kulit pinus 25%, 2,341 cSt untuk variasi sampah kulit pinus 50% dan 2,467 cSt untuk variasi sampah kulit pinus 75%. jika dilihat dari nilai viskositasnya maka minyak pirolisis yang dihasilkan sudah sesuai dengan bahan bakar B20 dan bahan bakar B30 yang memiliki nilai viskositas 2,0 cSt hingga 4,5 cSt untuk bahan bakar B20 dan 2 cSt hingga 5 cSt untuk bahan bakar B30 [13].



Gambar 4. Hasil uji viskositas

Nilai kalor yang dihasilkan dari minyak pirolisis sampah plastik HDPE dengan variasi sampah kulit pinus mengalami penurunan seiring

dengan meningkatnya variasi sampah kulit pinus, hal ini berbanding terbalik dengan nilai massa jenis, jika massa jenis meningkat maka nilai kalornya akan menurun [14]. Grafik penurunan nilai kalor ditunjukkan pada Gambar 5. Variasi sampah kulit pinus 0% memiliki nilai kalor 10.943,159 cal/g, variasi sampah kulit pinus 25% memiliki nilai kalor 10.696,379 cal/g, variasi sampah kulit pinus 50% memiliki nilai kalor 10.644,894 cal/g dan variasi sampah kulit pinus 75% memiliki nilai kalor 10.491,863 cal/g. Penurunan nilai kalor disebabkan oleh nilai kalor kulit pinus yang rendah, nilai kalor minyak pirolisis kulit pinus adalah 5.848,47 cal/g [4] sedangkan nilai kalor minyak pirolisis plastik HDPE adalah 10.814,829 cal/g [15]. Artinya semakin tinggi jumlah kulit pinus terhadap sampah plastik HDPE akan menyebabkan penurunan nilai kalor, selain itu kadar air yang dimiliki juga berpengaruh pada nilai kalor yang didapatkan. Semakin tinggi kadar air bahan baku maka nilai kalornya akan rendah, kulit pinus memiliki kadar air sebesar 25,9% [4]. Jika dilihat nilai kalornya minyak pirolisis sampah plastik HDPE dengan variasi sampah kulit pinus 0% sudah memenuhi standar nilai kalor bahan bakar solar yaitu 44,8 MJ/kg [16], sedangkan variasi sampah kulit pinus 25% masih dibawah standar bahan bakar solar. Untuk variasi sampah kulit pinus 50% dan 75% sudah memenuhi standar bahan bakar B20 dan bahan bakar B30 dengan nilai kalor nilai kalor 10.657 cal/g untuk bahan bakar B20 dan 10.450 cal/g untuk bahan bakar B20 [13].



Gambar 5. Hasil uji nilai kalor

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan variasi penambahan sampah kulit pinus 50% dan 75% terhadap sampah plastik HDPE sudah mendekati bahan bakar B20 dan Bahan bakar B30 jika dilihat dari hasil uji karakteristik bahan bakar. Variasi sampah kulit pinus memiliki nilai massa jenis 0,8307 gr/ml, viskositas 2,341cSt dan nilai kalor 10644,894 cal/g untuk variasi sampah kulit pinus 75% memiliki nilai massa jenis 0,8367 gr/ml, viskositas 2,467 cSt dan nilai kalor 10491,863 cal/g. Sedangkan variasi penambahan sampah kulit pinus 0% dan 25% belum bisa dimanfaatkan sebagai pengganti bahan bakar.

Daftar Pustaka

- [1] Y. Sartika and S. Amar, "Pengaruh Perekonomian dan Jumlah Penduduk Terhadap Permintaan Bahan Bakar Minyak di Indonesia," *Jurnal Kajian Ekonomi dan Pembangunan*, vol. 2, no. 4, 2020, doi: 10.24036/jkep.v2i4.13385.
- [2] T. Iskandar, S. P. Abrina Anggraini, and M. Melinda, "Pembuatan Bahan Bakar Diesel dari Limbah Plastik HDPE dengan Proses Pirolisis," *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, vol. 6, no. 1, 2021, doi: 10.33366/rekabuana.v6i1.2251.
- [3] D. Andreas Lubis, Y. Fitriyaningsih, S. Pramadita, and G. Christiadora Asbanu, "Pengolahan Sampah Plastik HDPE

- (High Density Polyethylene) dan PET (Polyethylene Terephthalate) Sebagai Bahan Bakar Alternatif dengan Proses Pirolisis,” vol. 20, no. 4, pp. 735–742, 2022, doi: 10.14710/jil.20.4.735-742.
- [4] E. M. Hassan, F. Yu, L. Ingram, and P. Steele, “The potential use of whole-tree biomass for bio-oil fuels,” *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, vol. 31, no. 20, pp. 1829–1839, Jan. 2009, doi: 10.1080/15567030802463364.
- [5] I. Detrina, S. Bahri, and E. Saputra, “Seminar Nasional Teknik Kimia ISSN,” 2006.
- [6] L. Kusmiati, S. Bahri, and K. Khairat, “Pirolisis Kulit Kayu Pinus (Pinus Mercusil) Menjadi Bio-Oil Menggunakan Katalis Ni/Lempung,” *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, vol. 2, no. 1, 2015.
- [7] P. B. W. Wardhana, A. F. Hanafi, A. Finali, and M. L. Umar, “Potensi Limbah Plastik sebagai Sumber Energi Terbarukan Menggunakan Proses Degradasi Termal dan Katalitik,” *J-Proteksion: Jurnal Kajian Ilmiah dan Teknologi Teknik Mesin*, vol. 7, no. 1, 2022, doi: 10.32528/jp.v7i1.8242.
- [8] S. Susianto, Y. D. Anindita, A. Altway, A. Afuza, E. N. Wena, and A. Altway, “Proses Katalitik Pirolisis Untuk Cracking Bitumen Dari Asbuton dengan Katalis Zeolit Alam,” *IPTEK Journal of Proceedings Series*, vol. 0, no. 1, 2018, doi: 10.12962/j23546026.y2018i1.3426.
- [9] D. M. Kamal, “Penambahan Katalis Karbon Aktif dan Tanah Liat Bentonit Pada Pirolisis Sampah Plastik Polyethylene Terephthalate (PETE),” *Jurnal Energi dan Teknologi Manufaktur*, vol. 05, no. 01, 2022.
- [10] S. I. Ramadhani, Y. Masruni, and N. Aidawati, “Membangun Sinergi antar Perguruan Tinggi dan Industri Pertanian dalam Rangka Implementasi Merdeka Belajar Kampus Merdeka,” *Seminar Nasional dalam Rangka Dies Natalis ke-45 UNS Tahun 2021*, vol. 5, no. 1, 2021.
- [11] J. M. Encinar, J. F. González, G. Martínez, and S. Román, “Jerusalem artichoke pyrolysis: Energetic evaluation,” *J Anal Appl Pyrolysis*, vol. 85, no. 1–2, 2009, doi: 10.1016/j.jaap.2008.11.023.
- [12] “Kepdirjen Migas Nomor 0177 K 10 DJM.T tentang Standar dan Mutu (spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Bensin (Gasoline) RON 98 yang Dipasarkan di Dalam Negeri”.
- [13] “Keperdirjen Migas Nomor 146 K 10 DJM 2020 TENTANG STANDAR DAN MUTU (SPESIFIKASI) BAHAN BAKAR MINYAK JENIS SOLAR YANG DIPASARKAN DI DALAM NEGERI”.
- [14] M. Jahiding, E. Nurfiandi, E. S Hasan, R. S Rizki, and Mashuni, “Analisis Pengaruh Temperatur Pirolisis terhadap Kualitas Bahan Bakar Minyak dari Limbah Plastik Polipropilena,” *Gravitasi*, vol. 19, no. 1, 2020, doi: 10.22487/gravitasi.v19i1.15177.
- [15] E. Kurniawan and Nasrun, “Karakterisasi Bahan Bakar dari Sampah Plastik Jenis High Density Polyethelene (HDPE) Dan Low Density Polyethelene (LDPE),” *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, vol. 3, no. 2, 2017.
- [16] J. Santoso, *Uji Sifat Minyak Pirolisis dan Uji Performasi Kompor Berbahan Bakar Minyak Pirolisis dari Sampah Plastik*. 2010.