

PENGARUH VARIASI PENAMBAHAN SAMPAH BUAH PINUS TERHADAP SAMPAH PLASTIK HDPE MELALUI PROSES PIROLISIS SEBAGAI BAHAN BAKAR ALTERNATIF

Katon Suryo Adji Laksono¹, Trisma Jaya Saputra², Rany Puspita Dewi³
Jurusan Teknik Mesin S1, Fakultas Teknik Universitas Tidar, Magelang Jawa Tengah,
*Indonesia*Email [¹katonadjicakrawala@gmail.com](mailto:katonadjicakrawala@gmail.com) [²trismajayasaputra@gmail.com](mailto:trismajayasaputra@gmail.com)
[³ranypuspita@untidar.ac.id](mailto:ranypuspita@untidar.ac.id)

ABSTRAK

Cara untuk menangani limbah yang memiliki nilai tambah adalah mendegradasi secara panas (thermal) melalui proses pirolisis. Percobaan pirolisis sampah buah pinus dan plastik HDPE dilakukan untuk mengkaji pengaruh penambahan sampah buah pinus variasi 25%, 50%, 75% terhadap sampah plastik HDPE melalui pirolisis dengan parameter massa jenis, viskositas, dan nilai kalor. Percobaan ini dilakukan dengan menggunakan katalis alumina silika seberat 20 gram. Pirolisis dilakukan pada suhu 450°C dengan waktu pembakaran 0-120 menit dengan interval waktu pengukuran yaitu 10 menit, massa sampah yang digunakan 500 gram. Nilai massa jenis yang dihasilkan dari bahan bakar cair variasi sampah buah pinus sebesar 25% dan sampah plastik HDPE dengan berat total pembakaran 500 gram memiliki nilai massa jenis yang lebih tinggi sebesar 627,7 kg/m³, sedangkan bahan bakar cair yang dihasilkan dari proses pirolisis variasi sampah buah pinus sebesar 50% dan sampah plastik HDPE dengan berat total 500 gram memiliki nilai massa jenis sejumlah 598,076 kg/m³, dan bahan bakar cair yang dihasilkan dari proses pirolisis variasi sampah buah pinus sebesar 75% dan sampah plastik HDPE dengan berat total 500 gram memiliki nilai massa jenis yang lebih rendah sejumlah 588,235 kg/m³. Nilai viskositas yang dihasilkan dari bahan bakar cair sampah buah pinus sebesar 25% dan sampah plastik HDPE dengan berat total pembakaran 500 gram menghasilkan nilai viskositas yang lebih tinggi sebesar 54,2 mm²/s, sedangkan bahan bakar cair yang dihasilkan dari proses pirolisis variasi sampah buah pinus sebesar 50% dan sampah plastik HDPE dengan berat total 500 gram memiliki nilai viskositas sejumlah 43,0 mm²/s, bahan bakar cair yang dihasilkan dari proses pirolisis variasi sampah buah pinus sebesar 75% dan sampah plastik HDPE dengan berat total 500 gram memiliki nilai viskositas yang lebih rendah sejumlah 17,4 mm²/s. Nilai kalor yang dihasilkan dari bahan bakar cair sampah plastik buah pinus dan sampah plastik HDPE dengan variasi sampah buah pinus 25% memiliki nilai kalor 10103,1858 cal/g, untuk nilai kalor yang dihasilkan dari bahan bakar cair sampah plastik buah pinus dan sampah plastik HDPE dengan variasi sampah buah pinus 50% memiliki nilai kalor 9219,4556 cal/g, sedangkan nilai kalor yang dihasilkan dari bahan bakar cair sampah plastik buah pinus dan sampah plastik HDPE dengan variasi sampah buah pinus 75% memiliki nilai kalor 5111,3044 cal/g.

Kata kunci: Pirolisis, sampah buah pinus, sampah plastik HDPE, katalis alumina silika, karakteristik bahan bakar.

ABSTRACT

The way to handle waste that has added value is to degrade it thermally through the pyrolysis process. Pyrolysis experiments of pine fruit waste and HDPE plastic were carried out to examine the effect of adding pine fruit waste variations of 25%, 50%, 75% on HDPE plastic waste through pyrolysis with parameters of density, viscosity, and calorific value. This experiment was conducted using 20 grams of alumina silica catalyst. Pyrolysis was carried out at a temperature of 450°C with a burning time of 0-120 minutes with a measurement time interval of 10 minutes, the mass of waste used was 500 grams. The density value resulting from the liquid fuel variation of 25% pine fruit waste and HDPE plastic waste with a total burning weight of 500 grams has a higher density value of 627.7 kg/m³, while the liquid fuel produced from the pyrolysis process of 50% pine fruit waste variation and HDPE plastic waste with a total weight of 500 grams has a density value of 598.076 kg/m³, and the liquid fuel produced from the pyrolysis process of 75% pine fruit waste variation and HDPE plastic waste with a total weight of 500 grams has a lower density value of 588.235 kg/m³. The viscosity value produced from liquid fuel of pine fruit waste variation of 25% and HDPE plastic waste with a total burning weight of 500 grams produces a higher viscosity value of 54.2 mm²/s, while the liquid fuel produced from the pyrolysis process of pine fruit waste variation of 50% and HDPE plastic waste with a total weight of 500 grams has a viscosity value of 43.0 mm²/s, the liquid fuel produced from the pyrolysis process of pine fruit waste variation of 75% and HDPE plastic waste with a total weight of 500 grams has a lower viscosity value of 17.4 mm²/s. The heating value produced from liquid fuel from pine fruit plastic waste and HDPE plastic waste with 25% pine fruit waste variation has a heating value of 10103.1858 cal/g, for the heating value produced from liquid fuel from pine fruit plastic waste and HDPE plastic waste with 50% pine fruit waste variation has a heating value of 9219.4556 cal/g, while the heating value produced from liquid fuel from pine fruit plastic waste and HDPE plastic waste with 75% pine fruit waste variation has a heating value of 5111.3044 cal/g.

Keywords: Pyrolysis, pine fruit waste, HDPE plastic waste, alumina silica catalyst, fuel characteristics

PENDAHULUAN

Sampah untuk saat ini masih menjadi masalah di negara-negara besar di dunia, sampah merupakan bahan yang terbuang tidak memiliki nilai ekonomi serta berdampak buruk bagi lingkungan. Sampah plastik yang ternyata jumlahnya cukup besar sejak ditemukannya pertama kali pada tahun 1907, penggunaan plastik dan barang-barang berbahan dasar plastik semakin meningkat. Perkembangan teknologi, industri dan juga jumlah penduduk merupakan konsekuensi dari peningkatan penggunaan plastik. Akan tetapi plastik mempunyai keunggulan di banding material lain. Keunggulan plastik dibanding material lain lebih kuat, ringan, fleksibel, tahan karat, tidak mudah pecah, serta menjadi isolator panas dan listrik. Sampah plastik yang pemusnahannya melalui proses pembakaran (*incineration*), kurang efektif karena pembakaran memunculkan polutan dari emisi gas buang (CO_2 , CO, Nox, dan SO_x).[1]

Plastik dibuat dari bahan sintesis, umumnya menggunakan minyak bumi sebagai bahan dasar, ditambah bahan-bahan tambahan yang umumnya merupakan logam berat (kadmium, timbal, nikel) atau bahan beracun lainnya seperti *chlor*. Racun dari plastik ini terlepas pada saat terurai atau terbakar sehingga diperlukan cara pengolahan lain untuk mengolah sampah plastik.[2]

Selain sampah anorganik, sampah organik seperti buah pinus merupakan sampah atau limbah dari hutan pinus yang mudah dimanfaatkan. Sehingga buah pinus dapat diharapkan menjadi solusi dalam mengurangi limbah organik dengan cara diolah menjadi bahan bakar cair sebagai energi alternatif. Kebutuhan energi fosil mengakibatkan ketidakseimbangan antara laju penggunaan energi fosil dalam menentukan energi baru. Adanya upaya untuk mengubah atau mengonversi sampah plastik menjadi bahan bakar alternatif merupakan metode alternatif yang banyak digunakan atau dikembangkan dan salah satu cara untuk pengolahan sampah plastik, selain

dapat mengatasi krisis energi yang sedang dihadapi, juga bermanfaat untuk kedepannya, mayoritas digunakan sebagai bahan bakar untuk menghasilkan energi. Cara untuk menangani limbah yang memiliki nilai tambah adalah mendegradasi secara panas (*thermal*) melalui proses pirolisis. Proses pembakaran pirolisis terdapat beberapa fase, yaitu fase peringan; terjadi pada suhu 200°C , fase pirolisis pada suhu 200°C - 500°C , dan fase evolusi gas; terjadi pada suhu 500°C - 200°C . [3]

Katalisator merupakan substansi yang mampu mengubah laju reaksi kimia tanpa mempengaruhi produk akhir reaksi. Katalisator tidak mengalami perubahan pada akhir reaksi karena tidak memberikan energi ke dalam sistem, akan tetapi memberikan mekanisme reaksi alternatif dengan energi pengaktifan yang lebih rendah dibanding dengan reaksi tanpa katalis, sehingga dengan adanya katalis meningkatkan laju reaksi.[4] Katalis Silika-Alumina merupakan sebuah katalis asam *Amorf* yang mengandung asam *Bronsted* dengan kandungan ion atom hidrogen pada salah satu sisinya. Selain itu silika-Alumina juga terdapat asam *Lewis* pada salah satu sisinya dan berfungsi sebagai bagian dari penerimaan elektron. Konsentrasi asam pada katalis silika-alumina ditentukan oleh rasio antara SiO_2 dan Al_2O_3 . Semakin besar rasio antara SiO_2 dan Al_2O_3 menyebabkan sifat keasaman semakin besar. Misalkan SA-1 ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 4,99$) memiliki sifat keasaman lebih besar daripada SA-2 ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,27$). [5]

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini akan membahas tentang pengaruh proses pirolisis terhadap campuran limbah sampah plastik HDPE dan sampah buah pinus variasi 25%, 50%, 75% melalui metode (*Catalytic Cracking*) menggunakan katalis alumina silika seberat 20 gram untuk mengetahui sifat fisik melalui pengujian masa jenis, viskositas, dan nilai kalor sebagai bahan bakar alternatif.[6]

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Pengambilan data dan penelitian ini selama enam bulan, dimulai dari bulan Agustus 2022 hingga bulan Januari 2023, yang bertempat di laboratorium konversi energi S1 Teknik Mesin Universitas Tidar. Alat pirolisis yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Alat pirolisis

1. Alat dan bahan

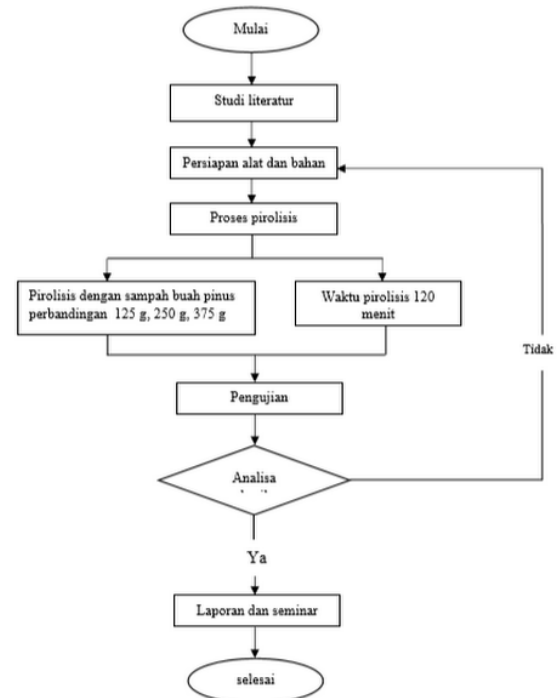
Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Alat Pirolisis
- Thermocouple* kapasitas 600°C
- Thermocouple reader* kapasitas - 200°C - 1200°C
- Gelas ukur 500 ml
- Gas LPG
- Timbangan 1000 gram

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Sampah plastik *Hight Density Polyethylene* (HDPE)
- Sampah buah pinus
- Silika-alumina

DIAGRAM ALIR PENELITIAN



Gambar 2. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Percobaan pirolisis sampah buah pinus dan plastik HDPE dilakukan untuk mengkaji pengaruh penambahan sampah buah pinus variasi 25%, 50%, 75% terhadap sampah plastik HDPE melalui pirolisis dengan parameter massa jenis, viskositas, dan nilai kalor. Percobaan ini dilakukan dengan menggunakan katalis alumina silika seberat 20 gram. Pirolisis dilakukan pada suhu 450°C dengan waktu pembakaran 0-120 menit dengan interval waktu pengukuran yaitu 10 menit, massa sampah yang digunakan 500 gram. Parameter yang digunakan untuk proses pirolisis yaitu waktu, suhu, jumlah bahan bakar yang digunakan, bahan bakar yang dihasilkan, massa jenis, viskositas, dan nilai kalor.



Gambar 3. Penambahan variasi sampah buah pinus

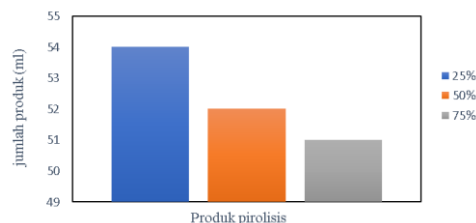
1. Hasil pirolisis penambahan variasi sampah buah pinus

Parameter yang digunakan untuk proses pirolisis yaitu waktu, suhu, jumlah bahan bakar yang digunakan, bahan bakar yang dihasilkan, massa jenis, viskositas, dan nilai kalor. Proses pirolisis dengan variasi sampah buah pinus yang sudah ditentukan dari beberapa parameter tersebut. Selain waktu dan suhu terdapat beberapa pengujian yang berupa jumlah bahan yang digunakan, bahan bakar yang dihasilkan, massa jenis, viskositas dan nilai kalor. Seperti Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian karakteristik

Jenis bahan baku	Variasi sampah buah pinus (gram)	Massa jenis (kg/m ³)	Viskositas (mm ² /s)	Nilai kalor (cal/g)	Produk yang dihasilkan (ml)
sampah buah pinus, sampah plastik HDPE	125 (25%)	627,7	17,4	10103,1858	54
sampah buah pinus, sampah plastik HDPE	250 (50%)	598,076	43,0	9219,4556	52
sampah buah pinus, sampah plastik HDPE	375 (75%)	588,235	54,2	5111,3044	51

Produk yang dihasilkan pirolisis sampah buah pinus dan sampah plastik HDPE berupa bahan bakar cair. Dilihat gambar 4. Jumlah bahan bakar yang diperoleh.



Gambar 4. Perbandingan waktu dan suhu

Untuk jumlah produk yang dihasilkan dari 500 gram sampah buah pinus 25% dan sampah plastik HDPE yaitu 54 ml bahan bakar cair. Untuk 50% sampah buah pinus

menghasilkan jumlah bahan bakar 52 ml dan untuk 75% sampah buah pinus menghasilkan bahan bakar cair 51 ml setiap variasi diberi campuran katalis alumina silika seberat 20 gram.



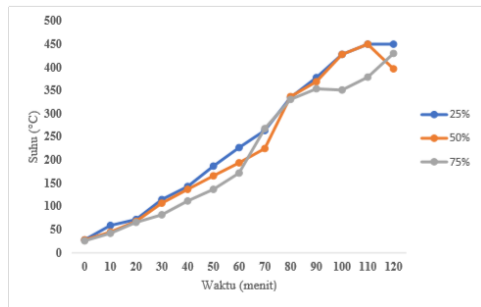
Gambar 5. Bahan bakar yang dihasilkan

2. Waktu dan suhu

Tabel 2. Waktu dan suhu

Waktu (menit)	25% Suhu (°C)	50% Suhu (°C)	75% Suhu (°C)
0	28	28	28
10	59	45	42
20	72	68	66
30	115	107	82
40	143	137	112
50	187	166	137
60	227	194	172
70	264	225	268
80	335	337	331
90	378	369	354
100	428	428	351
110	450	450	379
120	450	430	427

Pada variasi 25% kenaikan suhu sebesar 31°C, pada variasi 50% kenaikan suhu sebesar 17°C dan variasi 75% mengalami kenaikan sebesar 14°C. Dari tabel diatas diketahui bahwa untuk menyentuh suhu tertinggi dibutuhkan waktu 110 menit. Semakin banyak variasi sampah buah pinus yang diberikan terhadap proses pirolisi sampah plastik HDPE dan sampah buah pinus dapat mengalami penurunan suhu dikarenakan pembakaran yang terjadi kurang sempurna sehingga bahan bakar cair yang dihasilkan dari proses pirolisis tidak maksimal. Dapat dibuktikan pada 10 menit pertama variasi 75% mengalami kenaikan suhu sebesar 14°C.



Gambar 6. Perbandingan waktu dan suhu

Dalam rentan waktu 0-120 menit, terlihat bahwa suhu dari tiap-tiap pembakaran berbeda walau dalam waktu yang sama. Waktu tersebut menjadi parameter untuk kenaikan suhu dari setiap pembakaran. Bahan bakar mulai menetes pada waktu mencapai 80 menit proses pirolisis. Pada grafik tersebut terlihat bahwa kenaikan terbesar terjadi pada rentan waktu 60-80 menit dan setelah itu suhu perlahan mulai turun.

Suhu akhir tertinggi terdapat pada pembakaran dengan variasi 25% yaitu 450°C. Sementara untuk suhu terendah dengan variasi 75% yaitu 427°C. Namun, pada rentan waktu 10-90 menit, suhu yang dicapai relatif konstan. Artinya ketika volume gas semakin kecil maka suhu dan tekanan akan konstan. Setelah mencapai suhu tertinggi pirolisis mengalami suhu yang konstan setelah itu cenderung mengalami penurunan dikarenakan ban bekas yang ada didalam reaktor sudah mulai habis terbakar dan berubah minyak cair dan arang

3. Massa jenis

Tabel 3. Massa jenis

No	Variasi sampah buah pinus (gram)	Massa (kg)	Volume (m ³)	Massa jenis (kg/m ³)
1.	125 (25%)	0,0339	0,000054	627,7
2.	250 (50%)	0,0311	0,000052	598,076
3.	375 (75%)	0,0300	0,000051	588,235

Data tersebut diperoleh dari perhitungan:

- a. Nilai massa jenis sampah buah pinus 25% dan sampah plastik HDPE

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho = \frac{0,0339}{0,000054}$$

$$\rho = 627,7 \text{ kg/m}^3$$

- b. Nilai massa jenis sampah buah pinus 50% dan sampah plastik HDPE

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho = \frac{0,0311}{0,000052}$$

$$\rho = 598,076 \text{ kg/m}^3$$

- c. Nilai massa jenis sampah buah pinus 75% dan sampah plastik HDPE

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho = \frac{0,0300}{0,000051}$$

$$\rho = 588,235 \text{ kg/m}^3$$

Dari data tersebut terlihat bahwa penambahan sampah buah pinus dengan variasi berat yang sudah ditentukan memiliki massa jenis yang berbeda-beda, variasi penambahan 25% dengan massa 0,0339 kg menghasilkan massa jenis 627,7 kg/m³, untuk penambahan sampah variasi 50% dengan massa 0,0311 kg menghasilkan massa jenis 598,076 kg/m³, untuk penambahan sampah buah pinus variasi 75% dengan massa 0,0300 kg menghasilkan massa jenis 588,235 kg/m³ memiliki massa jenis yang lebih rendah. Semakin banyak penambahan sampah buah pinus terhadap sampah plastik HDPE melalui proses pirolisis akan menghasilkan massa jenis yang lebih rendah.

4. Nilai viskositas

Tabel 4. Viskositas

No	Variasi sampah buah pinus (gram)	Nilai viskositas (mm ² /s)
1.	125	17,4
2.	250	43,0
3.	375	54,2

Dari tabel dapat dilihat penambahan sampah buah pinus dengan variasi yang sudah ditentukan memiliki nilai viskositas yang berbeda untuk variasi 25% (125 gram) menghasilkan 17,4 mm²/s, untuk variasi 50% (250 gram) menghasilkan 43,0 mm²/s, untuk variasi 75% (375 gram) menghasilkan 54,2 mm²/s. dapat diketahui untuk variasi 25% 125 gram menghasilkan nilai viskositas yang lebih rendah sedangkan nilai viskositas yang lebih tinggi dihasilkan oleh variasi 75% 375 gram. Semakin tinggi nilai densitas maka

semakin tinggi nilai kekentalan produk. (Effendy et al., 2021).

5. Nilai kalor

Tabel 5. Nilai kalor

No	Variasi sampah buah pinus (gram)	Nilai kalor (cal/g)
1.	125 (25%)	10103,1858
2.	250 (50%)	9219,4556
3.	375 (75%)	5111,3044

Nilai kalor yang didapat berdasarkan tabel diatas menunjukkan bahwa untuk minyak hasil pirolisis sampah buah pinus dengan variasi 25% dan sampah plastik HDPE sebesar 10103,1858 cal/g. Sementara untuk minyak hasil pirolisis sampah buah pinus dengan variasi 50% mempunyai nilai kalor 9219,4556 cal/g dan hasil pirolisis sampah buah pinus dengan variasi 75% mempunyai nilai kalor 5111,3044 cal/g. Sehingga dapat disimpulkan nilai kalor yang lebih tinggi dihasilkan oleh pembakaran pirolisis sampah buah pinus dengan variasi 25% dan nilai kalor terendah dihasilkan dengan variasi 75% sampah buah pinus. Nilai kalor juga akan berpengaruh pada laju pembakaran, semakin tinggi nilai kalor bahan bakar maka semakin lambat laju pembakaran pada proses pembakaran (Tirono, 2011). Nilai kalor yang dihasilkan memenuhi batasan kinematika minyak tanah yang sesuai dengan standar yaitu 4,3 MJ/kg.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai massa jenis yang dihasilkan dari bahan bakar cair variasi sampah buah pinus sebesar 25% dan sampah plastik HDPE dengan berat total pembakaran 500 gram memiliki nilai massa jenis yang lebih tinggi sebesar 627,7 kg/m³, sedangkan bahan bakar cair yang dihasilkan dari proses pirolisis variasi sampah buah pinus sebesar 50% dan sampah plastik HDPE dengan berat total 500 gram memiliki nilai massa jenis

sejumlah 598,076 kg/m³, dan bahan bakar cair yang dihasilkan dari proses pirolisis variasi sampah buah pinus sebesar 75% dan sampah plastik HDPE dengan berat total 500 gram memiliki nilai massa jenis yang lebih rendah sejumlah 588,235 kg/m³.

2. Nilai viskositas yang dihasilkan dari bahan bakar cair sampah buah pinus sebesar 25% dan sampah plastik HDPE dengan berat total pembakaran 500 gram menghasilkan nilai viskositas yang lebih tinggi sebesar 54,2 mm²/s, sedangkan bahan bakar cair yang dihasilkan dari proses pirolisis variasi sampah buah pinus sebesar 50% dan sampah plastik HDPE dengan berat total 500 gram memiliki nilai viskositas sejumlah 43,0 mm²/s, dan bahan bakar cair yang dihasilkan dari proses pirolisis variasi sampah buah pinus sebesar 75% dan sampah plastik HDPE dengan berat total 500 gram memiliki nilai viskositas yang lebih rendah sejumlah 17,4 mm²/s.
3. Nilai kalor yang dihasilkan dari bahan bakar cair sampah plastik buah pinus dan sampah plastik HDPE dengan variasi sampah buah pinus 25% memiliki nilai kalor 10103,1858 cal/g, untuk nilai kalor yang dihasilkan dari bahan bakar cair sampah plastik buah pinus dan sampah plastik HDPE dengan variasi sampah buah pinus 50% memiliki nilai kalor 9219,4556 cal/g, sedangkan nilai kalor yang dihasilkan dari bahan bakar cair sampah plastik buah pinus dan sampah plastik HDPE dengan variasi sampah buah pinus 75% memiliki nilai kalor 5111,3044 cal/g.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Almu, M. A., Syahrul, S., & Padang, Y. A. (2014). ANALISA NILAI KALOR DAN LAJU PEMBAKARAN PADA BRIKET CAMPURAN BIJI NYAMPLUNG (*Calophyllum Inophyllum*) DAN ABU SEKAM PADI. *Dinamika Teknik Mesin*, 4(2), 117–122. <https://doi.org/10.29303/d.v4i2.61>

- [2] Aria, S., Assalami, A., dan Naibaho, D. I. (2015). Proses Pembuatan Bahan Bakar Cairdengan Katalis Zeloit. *Jurnal Teknik Kimia*, 21 (2), 8 – 14.
- [3] Bagus Teofani Prasetyo, Rhozman Fatkur. (2021). Karakteristik Hasil Proses Pyrolysis Jenis Plastik Pet 50%, HDPE 25% dan PP 25% Menggunakan Katalis Alam Metode SPSS Dan MATLAB. *Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Nusantara PGRI Kediri*.
- [4] Biantoro, E. W. (2018). ANALISA HAIL PRODUK CAIR PIROLISIS DARI BAN DALAM BEKAS DAN PLASTIK JENIS LDPE (LOW DENSITY POLYETHYLENE). *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951– 952., 02(03), 1–23.
- [5] Direktorat Jendral EBTk. 2017. “Laporan Kinrja Smester 1 tahun 2017.” Jakarta.
- [6] Dumilah, T. Kholidah. 2019. Pengaruh Temperatur Terhadap Hasil Pirolisis Limbah Ban. Menjadi Bahan Bakar Cair Menggunakan Katalis Zeloit. Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Raden Fatah Palembang.
- [7] Effendy, S., Rusnadi, I., Aina, N., Rossa, B., & Walitin, M. (2021). Unjuk Kerja Proses Pirolisis Katalitik Limbah Ban Bekas Menjadi Bahan Bakar Cair Ditinjau Dari Jumlah Katalis,Variasi Temperatur, Dan Waktu Operasi Performance of Tires Waste Catalytic Pyrolysis Into Fuel Oil Observed By the Number of Catalyst , Temper. *Jurnal Kinetika*, 12(01), 32–39.
<https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index%0Asumber>.
- [8] Eldwita, K., Lestari, S. D., A., S. E., & Fatria. (2020). Pengaruh Jumlah Katalis dan Temperatur pada Produksi Bahan Bakar Dari Ban Bekas Dengan Metode Perengkahan Katalik. *Jurnal Kinetika*, 11(02), 19–25.
<https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index%0Amerupakan>
- [9]Farah, S. L. (2012). Pengolahan Limbah Penyulingan Nilam Menjadi Asap Cair.Surabaya: UPN Veteran Jawa Timur
- [10] Fira Laras Savira, dan Okik Hendriyanto. 2018. Pirolisis Sampah Plastik Sebagai Bahan Bakar Alternatif Dengan Penambahan Sampah Ranting. Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur.
- [11] Kristalia Eka Kuryani. 2017. Pirolisis Sampah Dengan Variasi Jenis Ranting dan Kantong Plastik HDPE. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [12] Kumar S, Panda, A.K., dan Singh, R.k, 2011. 4 Review on Tectiory Recycling of High–Densitas Polyethylene to Fuel Resources. *Conservation and Recycling* vol. 55 893 – 910.
- [13] Kurniawan, A., 2012, Mengenal Kode Kemasan Plastik yang Aman dan Tidak
<http://ngeblogging.wordpress>.
- [14] Linarfad.2012.Hidrokarbon
<https://linarfad.wordpress.com>(diakses12 November).
- [15] Muhdhor, H. F., Widya Wijayanti, & Khairul Anam. (2013). Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Kualitas Kinetic Rate Char Hasil Pirolisis Serbuk Kayu Mahoni. Malang: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- [16] Mahmudi, H., & Mukaromah, L. F. (2018). Pengaruh temperatur terhadap hasil proses pirolisis pada ban bekas pakai. *Jurnal Mesin Nusantara*, 1(1), 19–26.
<https://doi.org/10.29407/jmn.v1i1.12292>.

- [17]Parta, and Djoko W. Karmiadi. 2017. "Analisis Desain Digester Pada Pengolahan Sampah Untuk Bahan Bakar Rumah Tangga". Teknobiz 7 (3) : 150 – 155.
- [18]Pratiwi, R, dan Dahani, W. 2015. PENGARUH PENGGUNAAN KATALIS ZELOIT ALAM DALAM PIROLISIS LIMBAH PLASTIK JENIS HDPE MENJADI BAHAN CAIR SETARA BENSIN. Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta. I (1), 1 – 5.
- [19] Sakata, Y., Uddin, M.A., Muto, A., Kanada, Y., Koizumi, K., Murata, K. (1997)Catalytic degradation of polyethylene into fuel oil over mesoporous silica (KFS-16) catalyst, Journal of Analitical and Applied Pyroilisi,s 43, 15–25.
- [20] Salamah, S., Maryudi (2015) Optimalisasi proses pirolisis sampah styrofoamsecara katalistik, Laporan Penelitian PUPS, Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta.
- [21] Sharuddin,S.D.A.,Abnisa, F., Daud, W.M.A.W, Aroua, M.K. (2016) A review on pyrolysis of plastic wastes, Energy Conversion and Management, 115, 308-326.
- [22] Setiyo Joko Wibowo, Wegie Ruslan. 2021. Pemanfaatan Buah Pinus Dengan Serbuk Gergaji Kayu Jati Menjadi Briket Sebagai Energi Alternatif. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, JurusanTeknik Mesin Universitas Pancasila Indonesia. Vol.7 no 2.
- [23] Sjostrom, E. (1993). Wood Chemistry, Fundamentals and Applications 2nd. USA Academic Press Inc.
- [24] Sharuddin,S.D.A.,Abnisa, F., Daud, W.M.A.W, Aroua, M.K. (2016) A review on pyrolysis of plastic wastes, Energy Conversion and Management, 115, 308-326.
- [25] Sulluh Sallolo, Petrus Sampelawang. 2017. Studi Eksperimen Limbah Buah Pinus Sebagai Sumber Energi Alternatif Ditinjau Dari Variasi Butiran. Skripsi S1 Teknik Mesin FakultasTeknik Universitas Kristen Indonesia Toraja.
- [26] Surono, U.B. 2013. BERBAGAI METODE KONVERSI SAMPAH PLASTIK MENJADI BAHAN BAKAR MINYAK. Jurnal Teknik, 3 (21), 32 – 40.
- [27] Widjajanti, Dr., Endang laksono. 2012. "PENGARUH KATALISATOR TERHADAP LAJU REAKSI ". Jurdik Kimia FMIPA UNY.