

Analisis Bahan Bakar Minyak Hasil Pirolisis Sampah Plastik Jenis PP (Polypropylene) Terhadap Karakteristik Minyak Yang Dihasilkan

Muhammad Hasby Ashsidiq^{1*}, Dominggus G. H. Adoe², Defmit B. N Riwu³, Dantje A. T. Sina⁴,
Almido H, Ginting⁵, Samy Y. Doo⁶

¹⁻³⁾ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana

⁴⁾ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana

^{5,6)} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana
Jl. Adisucipto, Penfui-Kupang, NTT 85001, Tlp. (0380)881597

*Corresponding author: ashsideqhasby9@mail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui massa jenis, viskositas dari minyak hasil pirolisis sampah plastik serta untuk mencari tahu hubungan antara massa jenis dan viskositas minyak pirolisis yang dihasilkan. Penelitian ini dilakukan menggunakan plastik polypropylene (PP), dengan reaktor yang digunakan adalah reaktor tunggal dengan temperatur reaktor diatur pada suhu 200°C dan 250°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa massa jenis yaitu 0,751 – 0,773 kg/l, viskositas yaitu 0,574822548 – 0,841376288 cPs yang dimana selama penelitian yang dilakukan massa jenis dan viskositas memiliki hubungan yang saling berkaitan. Perubahan suhu pirolisis dapat secara signifikan mempengaruhi viskositas dan massa jenis minyak hasil pirolisis selain itu waktu serta bahan penelitian yang berbeda dapat mempengaruhi hasil pada proses pirolisis.

ABSTRACT

This research aims to determine the density and viscosity of oil resulting from pyrolysis of plastic waste and to find out the relationship between density and viscosity of the pyrolysis oil produced. This research was carried out using polypropylene (PP) plastic, with the reactor used being a single reactor with the reactor temperature set at 200°C and 250°C. The results of the research show that the density is 0.751 – 0.773 kg/l, the viscosity is 0.574822548 – 0.841376288 cPs, where during the research carried out density and viscosity have an interrelated relationship. Changes in pyrolysis temperature can significantly affect the viscosity and density of pyrolysis oil, besides that, different research times and materials can influence the results of the pyrolysis process.

Keywords: Pyrolysis, Density, Viscosity,

PENDAHULUAN

Plastik adalah salah satu jenis makro molekul yang dibentuk dengan proses polimersasi. Polimersasi merupakan proses penggabungan beberapa molekul sederhana (monomer) melalui proses kimia menjadi molekul besar (polimer). Untuk membuat plastik, salah satu bahan yang sering digunakan adalah Napht, yaitu bahan yang dihasilkan dari penyulingan minyak bumi atau gas alam. sebagai gambaran, untuk membuat 1 kg plastik memerlukan 1,75 kg minyak bumi untuk memenuhi kebutuhan bahan bakunya maupun keutuhan energi prosesnya. Barang berbahan baku plastik umumnya lebih ringan, bersifat isolator, dan proses pembuatannya

lebih murah. Namun, dibalik semua kelebihanannya bahan plastik memiliki masalah setelah barang tersebut tidak digunakan lagi. Barang berbahan plastik tidak dapat membusuk, menyerap air, maupun tidak berkarat, dan pada akhirnya tidak dapat di uraikanoleh mikroorganismes dalam tanah sehingga menimbulkan masalah bagi lingkungan. Pirolisis merupakan salah satu cara daur ulang yang di lakukan dengan merubah sampah plastik menjadi uap (naphta) yang nantinya dapat digunakan menjadi bahan baku hidrokarbon atau bahan bakar. Proses pirolisis dilakukan pada temperature 200-500 °C dan menghasilkan arang atau abu, minyak dan gas. Pirolisis adalah dekomposisi termokimia bahan organik dengan proses pemanasan tanpa atau sedikit oksigen atau

rekasi kimia lainnya, dimana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia. Plastik yang mengalami proses pirolisis akan terdekomposisi menjadi material-material pada fase cair dalam bentuk minyak bakar, fase gas berupa campuran gas yang dapat terkondensasi maupun tidak dapat terkondensasi dan fase padat berupa residu maupun tar.

Plastik dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu termoplastik dan termosetting. Termoplastik adalah merupakan plastik yang dapat di daur ulang melalui proses pemanasan. Sedangkan termosetting adalah plastik yang tidak dapat di daur ulang. Pemanasan akan menyebabkan kerusakan pada molekul-molekulnya.

Plastik jenis ini diberi label angka 5 dalam segitiga. Bahan ini merupakan jenis plastik terbaik yang bisa digunakan sebagai kemasan makanan dan minuman. Plastik jenis ini berkarakter lebih kuat, ringan, daya uap rendah, tahan terhadap panas dan tidak mudah retak. Aplikasinya pada cup plastik, gelas plastik, tutup botol dari plastik Melunak pada suhu 140°C. Plastik jenis ini merupakan pilihan terbaik untuk dipakai manusia sebagai tempat menyimpan makanan dan minuman.

Bahan bakar berdasarkan bentuk dan wujudnya bahan bakar diklasifikasikan menjadi bahan bakar padat, bahan bakar cair dan bahan bakar gas. Bahan bakar padat merupakan bahan bakar dengan bentuk dengan susunan molekul yang padat, misalnya kayu dan batubara. Bahan bakar cair adalah bahan bakar yang strukturnya tidak rapat, dimana antara molekulnya dapat bergerak bebas. misalnya bensin/gasolin/ premium, minyak solar, minyak tanah yang merupakan bahan bakar cair. Bahan bakar cair yang biasa dipakai dalam industri, transportasi maupun rumah tangga adalah fraksi minyak bumi. Minyak bumi adalah campuran berbagai hidrokarbon yang termasuk dalam kelompok senyawa adalah parafin, naphtena, olefin, dan aromatik. Kelompok senyawa ini berbeda dari yang lain dalam kandungan hidrogennya. Dengan menyuling minyak mentah, akandiperolehbeberapa jenis fraksi, misalnya,

bensin atau premium, kerosen atau minyak tanah, minyak solar, minyak bakar, dan lain-lain. Setiap minyak petroleum mentah mengandung keempat kelompok senyawa tersebut. Bahan bakar gas ada dua jenis, yakni Compressed Natural Gas (CNG) dan Liquid Petroleum Gas (LPG). CNG pada dasarnya terdiri dari metana sedangkan LPG adalah campuran dari propana, butana dan bahan kimia lainnya. LPG yang digunakan untuk kompor rumah tangga, sama bahannya dengan Bahan Bakar Gas yang biasa digunakan untuk sebagian kendaraan bermotor.

Pirolisis adalah suatu proses dekomposisi suatu bahan secara termal tanpa oksigen. Produk utama yang dihasilkan dari pirolisis adalah arang (char), minyak dan gas. Arang yang terbentuk dapat digunakan untuk bahan bakar ataupun digunakan sebagai karbon aktif. Bio-oil yang dihasilkan dapat digunakan sebagai zat additif atau campuran dalam bahan bakar. Sedangkan gas yang terbentuk dapat dibakar secara langsung [6].

METODE PENELITIAN

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu Tabung reaktor, Thermometer digital, Timbangan, Stopwatch, Viskometer Oswald, Gelas ukur, Wadah penampung minyak hasil pirolisis.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah, 1,5 Kg Plastik jenis PP yang sudah di cacah, Aquades untuk massa jenis, LPG (Liquid Petroleum Gas) sebagai bahan bakar.

Tahapan Penelitian

Persiapan Alat

Bahan bakar tabung gas LPG 12kg. Tabung reaktor. Regulator untuk selang penyalur gas. Pipa saluran minyak pirolisis untuk mengalirkan gas hasil pirolisis. Pendingin yang terbuat dari seng plat yang berfungsi untuk mendinginkan gas dari reaktor yang nantinya akan merubah gas menjadi minyak. Wadah penampung minyak hasil pirolisis. Bak air sebagai penampung air.

Persiapan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan sampah plastik berjenis PP (Polypropylene) seberat 1,5 kg yang telah di cacah dan tidak ada batasan ukurannya.



Gambar 1. Alat Pirolisis

Tahap Proses Pirolisis

Langkah-langkah yang digunakan dalam melakukan penelitian ini :

- Alat dan bahan yang telah disiapkan kemudian sampah plastik yang sudah di cacah tersebut dimasukkan ke dalam reaktor dan di panaskan dengan suhu 200°C, 250°C dalam waktu yang sudah ditentukan.
- Minyak hasil pirolisis tersebut yang keluar akan ditampung dalam wadah yang telah disediakan.

Setelah minyak dari sampah plastik jenis PP (Polypropylene) tersebut sudah di dapatkan dalam wadah masing-masing, kemudian akan diuji nilai viskositasnya menggunakan *viskometer oswald*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari proses pirolisis berupa minyak, *char* atau arang. Seperti terlihat pada Gambar 2 dibawah ini



Gambar 2. Minyak Hasil Pirolisis

Dari penelitian yang telah dilakukan minyak hasil pirolisis memiliki warna kekuningan, mudah terbakar serta berbau menyengat ketika dihirup, selain minyak, adapun hasil lain dari proses pirolisis berupa *char* atau arang seperti Gambar 3 dan Gambar 4 dibawah ini:



Gambar 3. Char



Gambar 4. Arang

Char dan arang terbentuk dari sisa penguraian sampah plastik yang terdapat di dalam reaktor pirolisis, *char* dengan kata lain adalah sisa plastik yang masih berada di dalam reaktor. Ciri – ciri *char* yaitu berwarna kekuningan, berbentuk seperti padatan dan berbau. Selain itu Proses pirolisis yang di lakukan terhadap sampah plastik PP (Polypropylene) pada variasi suhu 200°C dan 250°C dengan bobot sampah sebesar 1,5 kg yang masing-masing variasi suhu menghasilkan jumlah minyak pirolisis yang berbeda. Namun Proses ini terhenti jika reaktor sudah tidak mengeluarkan minyak yang disebabkan massa dari bahan plastik yang terdapat dalam tabung reaktor telah habis dalam proses pemanasannya. Berikut adalah tabel hasil dari proses pirolisis sampah plastik pada suhu 200°C dengan bahan plastik jenis PP

(Polypropylene) dengan berat sebanyak 1,5 kg.

Tabel 1. hasil minyak pirolisis suhu 200^oc dengan massa plastik 1,5 kg

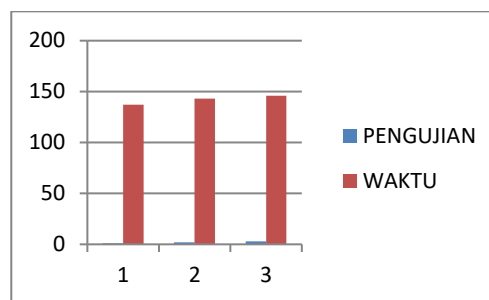
No	Waktu (menit)	Hasil Minyak (ml)	Residu
1	137	1295	31 gr Char
2	143	1302	24 gr Char
3	146	1310	20 gr Char

Pada Tabel 1 terlihat bahwa pada suhu 200^oc diperlukan waktu sekitar 137 – 146 menit untuk menghabiskan bahan plastik yang terdapat di dalam tabung reaktor dan menghasilkan minyak hingga 1310 ml sedangkan pada tabel 2 pengujian pada suhu 250^oc dengan massa bahan plastik yang sama diperlukan waktu berkisar antara 117-124 menit untuk menghabiskan bahan plastik yang terdapat dalam tabung raktor, hal ini dapat membuktikan bahwa semakin tinggi suhu yang dilakukan dalam melakukan pengujian maka hasil minyak yang diperoleh pun akan semakin meningkat dan waktu yang diperlukan akan menjadi lebih singkat.

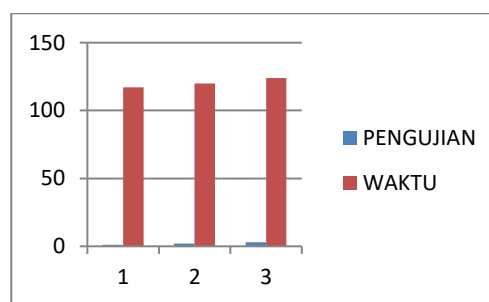
Tabel 2. hasil minyak pirolisis suhu 250^oc dengan massa plastik 1,5 kg

No	Waktu (menit)	Hasil Minyak (ml)	Residu
1	117	1310	50 ml minyak hitam
2	120	1350	30 gr Char
3	124	1370	36 gr Char

Berdasarkan pengamatan saat pengujian membuktikan bahwa, semakin tinggi suhu dan semakin lama waktu yang digunakan untuk pembakaran dalam tabung reaktor pirolisis maka semakin sedikit pula zat sisa yang dihasilkan. char yang dihasilkan semakin sedikit apabila proses pirolisis di lakukan dengan waktu semakin lama. Ini di sebabkan karena semakin banyak plastik yang berubah ke fase gas dan mengalir keluar melalui pipa lalu berubah menjadi minyak pada pipa kondensor.



Gambar 5. Diagram pengujian minyak pirolisis dengan suhu 200°C



Gambar 6. Diagram pengujian minyak pirolisis dengan suhu 250°C

Berdasarkan hasil pengamatan saat melakukan pengujian membuktikan bahwa semakin panas suhu yang dilakukan untuk proses pemanasan maka akan semakin cepat pula waktu proses pirolisis berlangsung serta semakin sedikit zat sisa yang dihasilkan dari bahan plastik jenis polypropylene. Plastik yang terdekomposisi semakin banyak menjadi minyak pirolisis dan char dikarenakan plastik semakin banyak yang dipanaskan berubah menjadi gas lalu menjadi minyak ketika keluar melalui pipa pada sistem pendingin yang kemudian akan ditampung kedalam wadah penampung minyak hasil pirolisis.

Tabel 3. pengujian massa jenis minyak

Pengujian (suhu)	Massa (kg)	Volume (m ³)	Massa Jenis (kg/m ³)
1(200°C)	7,51	10	0,751
2(200°C)	7,58	10	0,758
3(200°C)	7,73	10	0,773
1(250°C)	7,62	10	0,762
2(250°C)	7,64	10	0,764
3(250°C)	7,69	10	0,769

Massa jenis sampel yaitu massa setiap satuan volume sampel dipengaruhi oleh massa sampel dan volume sampel. Hasil perhitungan massa jenis dapat terlihat pada Tabel 3.

Data yang di gunakan sebagai contoh perhitungan adalah data sampel pembakaran pada suhu 200^oc. Dengan Rumus massa jenis :

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

maka di dapat massa jenis minyak pirolisis yaitu:

$$\rho = \frac{7,51}{10}$$

$$\rho = 0,751 \text{ kg/m}^3$$

Dengan :

m = massa cairan (kg).

v = volume cairan (m³).

ρ = Massa Jenis (kg/ m³).

Nilai massa jenis dari tiap sampel minyak pirolisis berkisar antara 0,751 - 0,773 kg/m³ dengan massa jenis terendah pada sampel pengujian ke 1 pada suhu 200^oc dan yang tertinggi pada sampel pengujian ke 3 dengan suhu 200^oc. Hasil minyak pirolisis dapat dibandingkan dengan beberapa fluida seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Massa Jenis Beberapa Fluida

No	Jenis Fluida	Massa Jenis(kg/m ³)
1	Bensin	0,62
2	Alkohol	0,79
3	Air laut	1,025
4	Raksa	13,6
5	Air (4°C)	1
6	Minyak tanah	0,8

Dalam hal ini data pada tabel 4 menunjukkan bahwa massa jenis minyak pirolisis yang diperoleh dari selama masa pengujian tidak mendekati massa jenis dari bensin tetapi mendekati massa jenis dari minyak tanah.

Pengujian Viskositas

Viskositas bisa diartikan sebagai

kemampuan suatu zat untuk mengalir pada suatu media tertentu. Viskositas dapat disebut juga sebagai ukuran kekentalan fluida yang menyatakan besar kecilnya gesekan di dalam fluida. Salah satu cara untuk mengukur besarnya nilai viskositas zat cair dalam penelitian ini dengan menggunakan viscometer oswald dengan cara membandingkan dua jenis fluida yaitu aquades dengan zat cair lainnya. Dalam penggunaannya waktu alir sampel yang diuji akan dicatat hingga melewati garis yang terdapat pada viscometer oswald. Prinsip menggunakan alat ini adalah dengan cara membandingkan waktu alir suatu zat standar yang telah diketahui kekentalannya serta massa jenisnya dalam hal ini berupa aquades yang nantinya akan dibandingkan dengan minyak hasil pirolisis yang akan diuji. Berikut adalah gambar viscometer oswald



Gambar 7. Viscometer oswald

Data hasil pengujian viskositas dapat dilihat pada tabel 5 dibawah ini.

Suhu/Pengujian	Waktu Alir(s)	Massa Jenis (kg/m ³)
Aquades	6,03	0,9793
200°C/1	5,07	0,751
200°C/2	5,67	0,756
200°C/3	7,20	0,773
250°C/1	4,99	0,762
250°C/2	5,67	0,764
250°C/3	6,10	0,769

Data yang digunakan sebagai contoh data sampel pembakaran suhu 200°C. Dengan rumus viskositas:

$$v = v_{aquades} \frac{t_{sampel} \cdot \rho_{sampel}}{t_{aquades} \cdot \rho_{aquades}} \quad (2)$$

Dengan :

t aquades : 6,03 s

t sampel : 5,07 s

v aquades : 0,8927 cPs

ρ aquades : 0,9793 gram/ml

ρ sampel : 0,751 gram/ml

$$= \frac{0,8927 \cdot 5,07 \cdot 0,751}{6,03 \cdot 0,9773}$$

$$= \frac{3,3990}{5,9051}$$

$$= 0,5756 \text{ cPs}$$

Keterangan :

v = viskositas cairan (cPs)

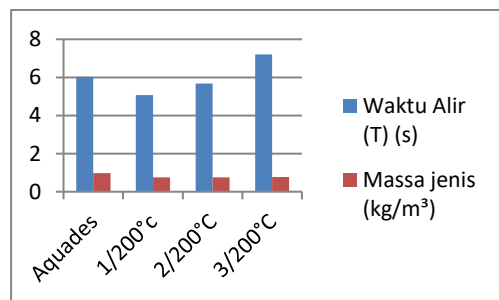
v aquades : viskositas aquades (cP)

t sampel : waktu alir sampel (s)

t aquades : waktu alir aquades (s)

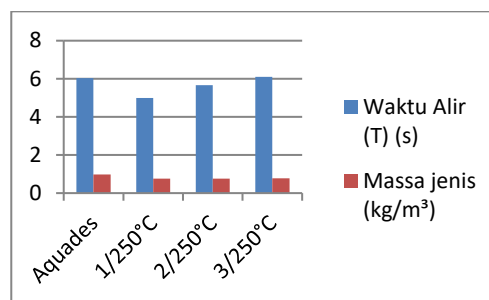
ρ aquades : massa jenis aquades (kg/m³)

ρ sampel : massa jenis sampel (kg/m³)



Gambar 8. Diagram Pengujian Viskositas Suhu 200°C

Pada Gambar 5. Terlihat bahwa pengujian viskositas aquades serta minyak hasil pirolisis dengan 3 pengujian yang diambil pada suhu 200°C memiliki waktu alir zat yang berbeda-beda. Pada pengujian ke 3 dengan suhu 200°C memiliki waktu alir yang lebih lama dibandingkan dengan aquades dan juga pada pengujian 1 dan pengujian 2 yaitu sebesar 7,20 s.



Gambar 9. Diagram Pengujian Viskositas Suhu 250°C

Viskositas dari minyak pirolisis memiliki nilai berkisar antara 0,5748-0,8413 cPs. Jika dibandingkan dengan zat pembanding yaitu aquades, viskositas minyak pirolisis lebih kental dari pada aquades. Hal ini dapat diamati dari pergerakan fluidanya yang dimana minyak hasil pirolisis memiliki pergerakan fluida yang lebih lambat dibandingkan dengan aquades sehingga hal ini membuktikan bahwa minyak pirolisis lebih kental dibanding aquades.

Minyak hasil pirolisis adalah produk cair yang dihasilkan dari proses pirolisis, yaitu dekomposisi termal bahan organik di bawah kondisi tanpa udara. Hubungan antara viskositas dan massa jenis terhadap minyak hasil pirolisis dapat dijelaskan bahwa Viskositas adalah ukuran kekentalan atau kemudahan aliran dari suatu cairan. Minyak hasil pirolisis cenderung memiliki viskositas yang bervariasi tergantung pada suhu pirolisis, jenis bahan baku yang digunakan, dan kondisi proses pirolisis itu sendiri. Secara umum, semakin tinggi suhu pirolisis, cenderung viskositas minyak hasil pirolisis akan lebih rendah karena molekul cenderung lebih bergerak bebas. Sedangkan massa jenis (density) adalah ukuran dari massa per unit volume dari suatu zat. Untuk minyak hasil pirolisis, massa jenisnya dapat dipengaruhi oleh komposisi kimianya, termasuk jumlah fraksi ringan (komponen dengan massa jenis rendah) dan fraksi berat (komponen dengan massa jenis tinggi). Pada umumnya, minyak hasil pirolisis memiliki massa jenis yang lebih rendah dibandingkan dengan minyak bumi biasa, karena biasanya mengandung lebih

banyak fraksi ringan. Massa jenis minyak pirolisis yang dihasilkan dari pengujian 1 sampai pengujian 3 antara 0,751 – 0,773 kg/l dengan variasi pemanasan pada suhu 200°C dan 250°C. Dalam hal ini massa jenis yang diperoleh dari selama masa pengujian tidak mendekati massa jenis dari bensin tetapi mendekati massa jenis dari minyak tanah. Secara umum hubungan antara viskositas dan massa jenis, ada hubungan yang kompleks antara viskositas dan massa jenis terhadap minyak hasil pirolisis. Perubahan suhu pirolisis dapat secara signifikan mempengaruhi viskositas dan massa jenis minyak hasil pirolisis. Komposisi kimia bahan baku juga memainkan peran penting dalam menentukan viskositas dan massa jenis minyak hasil pirolisis. Secara keseluruhan, sifat viskositas dan massa jenis minyak hasil pirolisis adalah hasil dari interaksi yang kompleks antara suhu proses pirolisis, komposisi kimia bahan baku, dan kondisi operasional lainnya

KESIMPULAN

Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi suhu pemanasan yang dilakukan pada proses pirolisis dan semakin lama waktu proses pirolisis berlangsung, maka semakin banyak pula unsur dalam plastik yang terdekomposisi. Pirolisis menghasilkan berbagai produk seperti gas, cairan pirolisis (bio-oil), dan arang (biochar), tergantung pada suhu, waktu pirolisis, dan jenis bahan yang diolah. Pirolisis dapat menjadi proses yang efisien secara energetik karena dapat menghasilkan gas-gas yang dapat digunakan sebagai bahan bakar atau bahan baku untuk sintesis bahan kimia lainnya. Pirolisis juga dapat digunakan untuk mengolah limbah organik seperti limbah pertanian, biomassa, atau sampah organik, mengubahnya menjadi produk berguna sambil mengurangi limbah yang berakhir di tempat pembuangan akhir.

Saran

- Perlu adanya penelitian serupa dengan bahan plastik yang berbeda, dengan memvariasikan suhunya di dalam reaktor.
- Penelitian selanjutnya dapat memodifikasi alat pirolisis sehingga lebih efisien untuk bisa dengan mudah dibawa kemana saja.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Aprian Ramadhan and others, 'PENGOLAHAN SAMPAH PLASTIK MENJADI MINYAK MENGGUNAKAN PROSES PIROLISIS', 44–53.
- [2]. Dominggus G H Adoe, Gusnawati, and Nanang Ernanto, 'Analisis Pengaruh Temperatur Pada Metode Pirolisis Dari Sampah Plastik PP (Polypropylene) Terhadap Kapasitas Dan Kuantitas Minyak Pirolisis', *Jurnal Penelitian Enjiniring (JPE)*, 24.2 (2020), 177–81.
- [3]. Juliya Ascha Riandis, Agus Restu Setyawati, and Ari Susandy Sanjaya, 'Pengolahan Sampah Plastik Dengan Metode Pirolisis Menjadi Bahan Bakar Minyak', *Jurnal Chemurgy*, 5.1 (2021), 8.
- [4]. Mahendra Aji Wicaksono and Ariyanto, 'Pengolahan Sampah Plastik Jenis Pet(Polyethylene Perephthalathe) Menggunakan Metode Pirolisis Menjadi Bahan Bakar Alternatif', *Jurnal Teknik Mesin*, 5.1 (2017), 9–15
- [5]. Dominggus G H Adoe and others, 'Pirolisis Sampah Plastik PP (Polypropylene) Menjadi Minyak Pirolisis Sebagai Bahan Bakar Primer', *LONTAR Jurnal Teknik Mesin Undana*, 3.1 (2016), 17–26.
- [6]. Arwizet Arwizet, 'Mesin Destilasi Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak Menggunakan Kondensor Bertingkat Dan Pendingin Kompresi Uap', *INVOTEK: Jurnal Inovasi Vokasional Dan Teknologi*, 17.2 (2017), 75–88.

- [7]. Pemanfaatan Limbah and others, 'Tugas Akhir-Tk 145501', 2018.
- [8]. Subardi Anang and others, 'Peran Abu Sekam Padi Pada Komposit Polimer Jenis Pet', Jurnal "FLYWHEEL, 8.1 (2017), 15–24.
- [9]. Kemas Ridhuan and others, 'Pengaruh Cara Pembakaran Pirolisis Terhadap Karakteristik Dan Efisiensi Arang Dan Asap Cair Yang Dihasilkan', Forum Grup Diskusi Teknologi Perguruan Tinggi Muhamadiyah (FGDT XI-PM), 2018, 141–50.
- [10]. Nabila Salsabila, Yushardi Yushardi, and Sudartik Sudartik, 'Analisis Kelebihan Kekurangan Pengolahan Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar Melalui Proses Pirolisis', Jurnal Mekanova: Mekanikal, Inovasi Dan Teknologi, 9.2 (2023), 105–13
- [11]. Purwaningrum, Pramiati. 2016. "Upaya Mengurangi Timbulan Sampah Plastik di Lingkungan", Jurusan Teknik Lingkungan, vol. 8, no. 2.
- [12]. Surono, U. B, "Berbagai Metode Konversi Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak,"Jurnal Teknik,3.1, 32-40, 2013".
- [13]. W. Ardiyansyah, S. Anwar dan Y. Rizal, "Rancang Bangun Alat Pengolahan Limbah Plastik (Pirolisis) Menjadi Bahan Bakar Alternatif Menggunakan Metode Dfma (Design For Manufacture And Assembly),"2021.
- [14]. Universitas Nusa Cendana, SKRIPSI PIROLISIS SAMPAH PLASTIK PP (POLYPROPYLENE) MENJADI FERDYAN ADI SOEKWANTO JURUSAN TEKNIK MESIN, 2016.