

## PENGOLAHAN SAMPAH PLASTIK LPDE BUNGKUS MIE INSTAN DAN SACHET KOPI MENJADI MINYAK DENGAN METODE PIROLISIS

Anjas Fitirio<sup>1\*</sup>, Setya Permana Sutisna<sup>1</sup>, Rudi Irawan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Ibn Khaldun Bogor

<sup>1\*</sup>e-mail: anjasfitirio19@gmail.com

Penggunaan plastik dan barang-barang berbahan dasar plastik semakin meningkat seiring berkembangnya teknologi, industri dan juga jumlah populasi penduduk. Perlu adanya teknologi untuk mengolah sampah plastik salah satunya dengan metode pirolisis. Metode pirolisis adalah teknik pembakaran sampah plastik dibakar dalam tungku atau didalam reaktor tanpa udara (O<sub>2</sub>) dan di lakukan pada suhu tinggi uap hasil pembakaran akan terkondensasi didalam kondensor. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui berapa banyak minyak pirolis yang dihasilkan dari jumlah sampah anorganik (plastik) jenis sampah LDPE. Setelah proses pirolisis akan menghasilkan minyak yang di mana bisa disebut juga dengan minyak pirolisis. Metode yang dipakai adalah sampah dipotong-potong terlebih dahulu untuk memudahkan pemasukan ke dalam reaktor dan memungkinkan reaktor terisi sampah plastik dengan jumlah yang telah di tetapkan. Matriks dari pengujian ini adalah hasil minyak yang di hasilkan dari limbah plastik bungkus mie instan dan sachet kopi, kenaikan suhu uap keluar pada reaktor pembakaran. Hasil minyak dari proses pirolisis bungkus mie instan dengan massa 500 gram menghasilkan minyak pirolisis 350ml lebih banyak di bandingkan sachet kopi dengan massa 500 gram menghasilkan minyak pirolisi 125 ml. Untuk bungkus mie instan 1000 gram menghasilkan minyak pirolisis 650 ml sedangkan sachet kopi dengan massa 1000 gram menghasilkan minyak pirolisis 350 ml. Minyak pirolisis bungkus mie instan berwarna kuning kecoklatan-coklatan, berbeda dengan hasil minyak pirolisis sachet kopi berwarna coklat kehitam-hitaman. Residu yang dihasilkan dari proses pirolisis mie instan berupa butiran pasir berwarna abu- abu dan hasil residu proses pirolisis sachet kopi berupa gumpalan aluminium lapisan dalam dari sachet kopi itu sendiri

**Kata kunci :** Minyak Pirolisis, Pirolisis, ,Plastik LDPE

### ABSTRACT

*The use of plastics and plastic-based goods is increasing as technology, industry and population grows. There needs to be technology to process plastic waste one of them by pyrolysis method. Pyrolysis method is a technique of burning plastic waste burned in a reactor without air (o<sub>2</sub>) and done at high temperatures the combustion steam will be condensed in the condenser. The goal of the study was to find out how much pyrocolis oil is produced from the amount of inorganic waste (plastic) type of LDPE waste. After the process of pyrolysis will produce an oil which can also be called pyrolysis oil. The method used is the waste is cut into pieces first to facilitate entry into the reactor and allow the reactor to fill with plastic waste with the amount that has been set. The matrix of this test is the result of oil produced from plastic waste of instant noodle wrap and coffee sachets, a rise in the temperature of steam out at the combustion reactor. The oil results from the process of pyrolysis of instant noodle wrap with a mass of 500 grams resulting in 350ml more pyrolysis oil compared to coffee sachets with a mass of 500 grams producing 125 ml of pyrolytic oil. For the instant noodle wrap 1000 grams produces 650 ml pyrolysis oil while coffee sachets with a mass of 1000 grams produce 350 ml pyrolysis oil. Pyrolysis oil packs instant noodle wraps are brownish-brownish yellow, in contrast to the results of pyrolysis oil sachets of blackish-brown coffee. Residues resulting from the process of pyrolysis of instant noodles in the form of gray sand grains and the result of the residue of the process of pyrolysis of coffee sachets in the form of aluminum clumps of the inner layer of the coffee sachet itself.*

**Keywords :** Pyrolysis Oil, Pyrolysis, LDPE Plastic

1. PENDAHULUAN

Penggunaan plastik dan barang-barang berbahan dasar plastik semakin meningkat seiring berkembangnya teknologi, industri dan juga jumlah populasi penduduk. Di Indonesia, Plastik mempunyai keunggulan dibanding material yang lain diantaranya kuat, ringan, fleksibel, tahan karat, tidak mudah pecah, mudah diberi warna, mudah dibentuk, serta isolator panas dan listrik yang baik. <sup>1</sup> Akan tetapi plastik yang sudah menjadi sampah akan berdampak negatif terhadap lingkungan karena tidak dapat terurai dengan cepat dan dapat menurunkan kesuburan tanah. <sup>2</sup> Produksi sampah di Indonesia sudah sangat mengawatirkan. Menurut Direktur Pengelolaan Sampah Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) “produksi sampah nasional mencapai sekitar 65,8 juta ton pertahunnya di mana 16 persennya adalah sampah plastik”. <sup>3</sup>

Perlu adanya teknologi untuk mengolah sampah plastik sehingga pencemaran terhadap lingkungan dapat diminimalkan. Salah satu metode yang bisa dilakukan adalah metode pirolisis. <sup>4</sup> Beberapa plastik yang biasa digunakan sebagai bahan baku adalah PolyEthylene Terephthalate (PET), High Density PolyEthylene (HDPE), Polyvinyl Chloride (PVC), Low Density PolyEthylene (LDPE), PolyPropylene (PP).<sup>5</sup>

Dari beberapa jenis sampah plastik, sampah plastik LDPE lah yang tidak didaur ulang sama sekali, dan sampah plastik LDPE ini tidak bernilai ekonomis Melalui proses pirolisis, dapat diterapkannya dalam pengolahan limbah plastik berjenis LDPE pada reaktor pirolisis, di mana sampah plastik LDPE memiliki nilai kalor sangat tinggi sebesar 12.318,4 kkal/kg <sup>6</sup>. Untuk mengatasi permasalahan yang ada di buatlah alternatif yaitu rancang bangun reaktor pirolisis yang memanfaatkan limbah plastik menjadi bahan bakar minyak.<sup>7</sup>

2. TINJAUAN PUSTAKA

Plastik adalah salah satu jenis makromolekul yang dibentuk dengan proses polimerisasi. Polimerisasi adalah proses penggabungan beberapa molekul sederhana (monomer) melalui proses kimia menjadi molekul besar (makromolekul atau polimer). Plastik merupakan senyawa polimer yang unsur penyusun utamanya adalah Karbon dan Hidrogen.

Untuk membuat plastik, salah satu bahan baku yang sering digunakan adalah Naphta, yaitu bahan yang dihasilkan dari penyulingan minyak bumi atau gas alam.<sup>8</sup>

2.1 Jenis –Jenis Plastik

Plastik dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu thermoplastic dan termosetting. Thermoplastic adalah bahan plastik yang jika dipanaskan sampai temperatur tertentu, akan mencair dan dapat dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan. Sedangkan termosetting adalah plastik yang jika telah dibuat dalam bentuk padat, tidak dapat dicairkan kembali dengan cara dipanaskan. Berdasarkan sifat kedua kelompok plastik di atas, thermoplastic adalah jenis yang memungkinkan untuk didaur ulang. Jenis plastik yang dapat didaur ulang diberi kode berupa nomor untuk memudahkan dalam mengidentifikasi dan penggunaannya<sup>8</sup>

Tabel 2.1 Jenis Plastik, Kode, dan Penggunaanya

No. Kode	Jenis Plastik	Penggunaan
1	PET ( <i>polyethylene terephthalate</i> )	Botol kemasan air mineral, botol minyak goreng, jus, botol sambal, botol obat dan botol kosmetik
2	HDPE ( <i>High Density Polyethylene</i> )	Botol obat,botol susu cair, jerigen pelumas, dan botol Kosmetik
3	PVC ( <i>Polyvinyl Chloride</i> )	Pipa selang air, pipa bangunan, mainan, taplak meja dari plastik, botol shampoo, dan botol sambal
4	LDPE ( <i>Low Density Polyethylene</i> )	Kantong kresek, tutup plastik, plastik pembungkus daging beku, dan berbagai macam plastik tipis lainnya.
5	PP ( <i>Polypropylene</i> )	Cup plastik, tutup botol dari plastik, mainan anak, dan margarine
6	PS ( <i>Polystyrene</i> )	Kotak CD, sendok dan garpu plastik, gelas plastik, atau tempat makanan dari styrofoam, dan tempat makan plastik.
7	Other (O), jenis plastik lainnya selain dari no.1 hingga 6	Botol susu bayi,plastik kemasan, gallon air minum, suku cadang mobil, alat-alat rumah tangga, komputer, alat-alat elektronik, sikat gigi, dan mainan lego

2.2 Sifat Thermal Bahan Plastik

Pengetahuan sifat thermal dari berbagai jenis plastik sangat penting dalam proses pembuatan dan daur ulang plastik. Sifat-sifat thermal yang penting adalah titik lebur (Tm), temperatur transisi (Tg) dan temperatur dekomposisi. Jika suhu dinaikkan di atas temperatur lebur, plastik akan mudah mengalir dan struktur akan

mengalami dekomposisi. Dekomposisi terjadi karena energi thermal melampaui energi yang mengikat rantai molekul. Secara umum polimer akan mengalami dekomposisi padasuhu di atas 1,5 kali dari temperaturtransisinya<sup>9</sup> Data sifat thermal yang penting pada proses daur ulang plastik

**Tabel 2.2** Data temperatur transisi dan temperatur lebur plastik

Jenis Bahan	Tm(°C)	Tg (°C)	Temperatur Proses Maks (°C)
PP	168	5	80
HDPE	134	-110	82
LDPE	330	-115	260
PA	260	50	100
PET	250	70	100
ABS	-	110	85
PS	-	90	70
PMMA	-	100	85
PC	-	150	246
PVC	-	90	71

**2.3 Pirolisis**

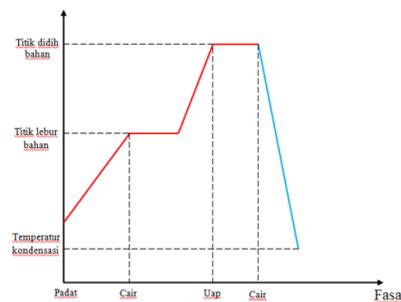
Proses pirolisis sampah plastik merupakan proses dekomposisi senyawa organik yang terdapat dalam plastik melalui proses pemanasan dengan sedikit atau tanpa melibatkan oksigen.<sup>5</sup> Teknik seperti ini mampu menghasilkan gas pembakaran yang berguna dan aman bagi lingkungan Proses pirolisis ini akan memecah hidrokarbon rantai karbon panjang dari polimer plastik menjadi rantai hidrokarbon berantai pendek, selanjutnya molekulmolekul ini didinginkan menjadi fase cair<sup>10</sup> Faktor-faktor yang mempengaruhi produk dalam proses pirolisis :

- a. Waktu
- b. Suhu
- c. Massa
- d. Ukuran Partikel

**2.4 Perubahan Fase Termodinamika**

Perubahan fase merupakan perubahan tingkat wujud zat pada proses pirolisis, terjadi tiga kali perubahan fase seperti pada gambar 2.1, perubahan fase pertama terjadi dari fase padat ke fase cair yang terjadi pada reaktor, perubahan fase ini disebabkan karena pemberian kalor pada reaktor yang kemudian kalor ini akan diberikan pada biomassa. Setelah biomassa berubah fasa

menjadi fasa cair, kalor tetap diberikan kepada biomassa, akibatnya massa jenis biomassa tersebut semakin rendah yang menyebabkan biomassa berubah fasa kembali menjadi fasa gas atau uap padatan. Uap padatan ini akan mengalir menuju kondensor. Pada kondensor, uap akan didinginkan karena lingkungan di dalam kondensor memiliki suhu yang rendah sehingga menyebabkan pelepasan kalor dari uap menuju kondensor, pada kondisi ini terjadi perubahan massa jenis dari uap yang semakin rapat akibat adanya pelepasan kalor dari uap, sehingga terjadi perubahan fasa ketiga yaitu dari fasa gas menjadi fasa cair. Cairan inilah yang disebut sebagai minyak pirolisis [12]



**Gambar 2.1** Perubahan Fase pada Pirolisis

**3. METODE PENELITIAN**

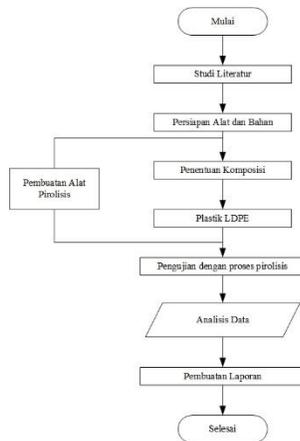
Tempat dan waktu penelitian dilakukan di lab. program studi Teknik Mesin Fakultas Teknik & Sains Universitas Ibn Khaldun Bogor, dengan menggunakan mesin pirolisis , berbahan bakar gas lpg. Alat yang digunakan meliputi termocoupeul type k, timbangan digital, stopwatch, toolkit. Bahan penelitian yang digunakan adalah bungkus mie instan dan sachet kopi



**Gambar 3.1** Mesin Pirolisis

### 3.1 Diagram Alir

Tahapan-tahapan dalam proses penelitian ini dalam bentuk *flow chart* ditunjukkan pada gambar 3.1



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Pelaksanaan Penelitian

Sampah dipotong-potong terlebih dahulu sebelum dipirolisis untuk memudahkan pemasukan ke dalam reaktor dan memungkinkan reaktor terisi sampah plastik dengan jumlah yang telah di tetapkan. Pada proses pirolisis kondisi yang dibuat tetap adalah temperatur konstan. Prosedur yang dilakukan dalam proses pirolisis adalah sebagai berikut :

1. Menimbang bahan baku yaitu komposisi sampah plastik
2. Memasukkan sampah plastik ke dalam reaktor pirolisis
3. Memanaskan reaktor pirolisis dengan menggunakan gas LPG hingga suhu yang di tentukan yang dijaga konstan
4. Menghidupkan mesin pendingin yang berfungsi untuk mengkondensasikan gas hasil pirolisis.
5. Setelah proses pirolisis selesai maka minyak hasil pirolisis tersebut diambil dari mesin pendingin untuk diganti dengan tempat yang baru dan mempersiapkan proses pirolisis selanjutnya.
6. Mengulangi langkah (1) – (5) dengan komposisi sampah bungkus mie instan 500 gram

7. Mengulangi langkah (1) – (5) dengan komposisi sampah bungkus mie 1000 gram
8. Mengulangi langkah (1) – (5) dengan komposisi sampah sachet kopi 500 gram
9. Mengulangi langkah (1) – (5) dengan komposisi sampah sachet kopi 1000 gram
10. Setelah selesai melakukan proses pirolisis matikan gas LPG.

### 3.3 Matriks pengujian

#### a. Hasil Minyak yang diperoleh

Hasil minyak yang diperoleh dalam hal penelitian pada kondensor ini adalah pengukuran volume minyak plastik yang dihasilkan, selanjutnya hasil data dimasukkan dalam lembar pengambilan data hasil minyak sampah plastik berupa jumlah volume yang dihasilkan.

#### b. Kenaikan Suhu Pada Reaktor

Kenaikan suhu pada reaktor di pengaruhi oleh waktu dan massa yang di bakar di dalam reaktor

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

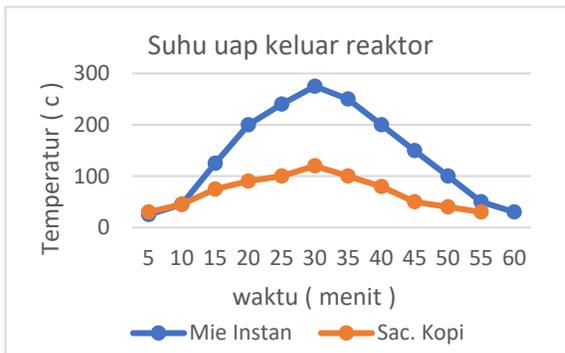
Dari pengujian yang telah di lakukan pada variasi komposisi bungkus mie instan dan bungkus kopi menghasilkan produk cairan hasil kondensasi yang bisa di sebut dengan minyak pirolisis minyak pirolisis berbau tidak sedap dan sangat menusuk penciuman, serta berwarna coklat kehitam – hitaman



Gambar 4.1 Minyak Pirolisis

**4.1 Proses *Pirolisis* bungkus mie instan dan sachet kopi massa 500 gram**

Pada bahan baku bungkus mie instan dengan massa 500 gram dilakukan pengujian dengan kondisi temperatur reaktor dengan waktu pembakaran 30 menit . Dari pengujian yang telah di lakukan pengambilan data kenaikan temperature di dalam reaktor hanya sampai pada menit ke 30 dapat di lihat dari gambar 4.2 Dari ke dua hasil di atas menunjukkan suhu uap keluar yang di dapatkan pada reaktor untuk bungkus mie instan mencapai titik tertinggi 275 °C sedangkan untuk sachet kopi mencapai suhu titik tertinggi 120 °C. Dan di menit 35 suhu uap keluaran pada reaktor mulai turun di karnakan bahan baku yang sudah mulai habis



**Gambar 4.2** Grafik data suhu pada reaktor



**Gambar 4.3** Hasil pirolisis mie instan dan sachet kopi 500 gram

Hasil minyak pirolisis mie instan adalah 350 ml berwarna kuning ke coklatan berbeda dengan hasil minyak pirolisis sachet kopi adalah 125 ml berwarna coklat kehitam – hitam



**Gambar 4.4** Hasil residu pirolisis mie instan sachet gram

residu yang di dihasilkan dari proses pirolisis bungkus mie instan berbentuk seperti butiran pasir tetapi berwarna abu abu berminyak dan berbau tidak sedap bisa di lihat gambar 4.4 Dari massa 500 gram mie instan residu yang di hasilkan 178 gram

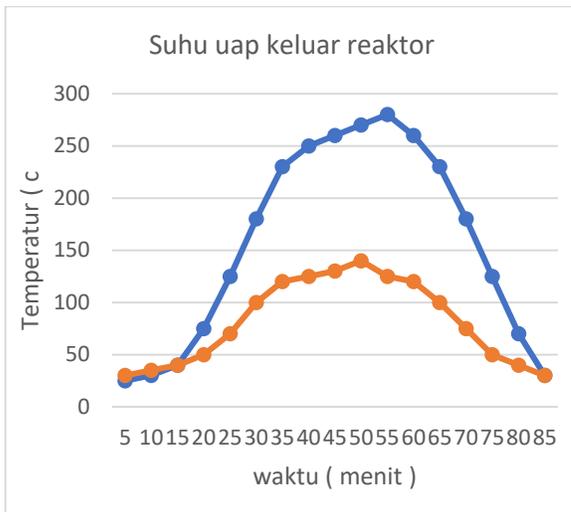


**Gambar 4.5** hasil residu proses pirolisis sachet kopi

Berbeda dengan residu dari bungkus mie instan, residu dari sachet kopi berwarna hitam pekat, berbau tidak sedap dan terdapat aluminium foil hasil dari residu yang di hasil kan 358 gram.

**4.2 Proses *Pirolisis* bungkus mie instan dan sachet kopi massa 1000 gram**

Pada bahan baku bungkus mie instan dengan massa 1000 gram dilakukan pengujian dengan kondisi temperatur reaktor dengan waktu pembakaran 60 menit



**Gambar 4.6** Grafik data suhu pada reaktor

Dari pengujian yang telah di lakukan pengambilan data kenaikan temperature di dalam reaktor hanya sampai pada menit ke 60 dapat di lihat dari gambar 4.6. Dari ke dua hasil di atas menunjukkan suhu uap keluar reaktor yang di dapatkan untuk bungkus mie instan mencapai titik tertinggi 270 °, sedangkan untuk sachet kopi mencapai suhu titik tertinggi 140 °C. Dan di menit 60 suhu uap keluar reaktor pada bahan baku mie instan mulai turun di karnakan bahan baku sudah mulai habis terbakar, sedangkan untuk suhu uap keluar reaktor pada bahan baku sachet kopu mulai turun di menit 55

Perbedaan kenaikan suhu antara bungkus mie instan dan sachet kopi di sebabkan oleh ketebalan bahan yang berpengaruh terhadap kenaikan suhu, lapisan bagian dalam sachet kopi berpengaruh terhadap proses pirolisis itu sendiri itu mengapa hasil minyak pirolisis dari sachet kopi lebih sedikit di bandingkan dengan bungkus mie instan dapat di lihat pada gambar 4.7



**Gambar 4.7** Hasil minyak pirolisis dengan massa 1000 gram

Hasil minyak pirolisis mie instan adalah 650 ml berwarna kuning ke coklatan berbeda dengan hasil minyak pirolisis sachet kopi adalah 350 ml berwarna coklat kehitam – hitaman dan residu yang di dihasilkan dari proses pirolisis bungkus mie instan berbentuk seperti butiran pasir tetapi berwarna abu abu berminyak dan berbau tidak sedap bisa di lihat gambar 4.8 Dari massa 1000 gram mie instan residu yang di dihasilkan 316 gram



**Gambar 4.8** hasil residu pirolisis mie instan 1000 gram

Berbeda dengan residu dari bungkus mie instan, residu dari sachet kopi berwarna hitam pekat, berbau tidak sedap dan terdapat alumunium foil hasil dari residu tidak bisa di gunakan lagi. Dari massa 1000 gram sachet kopi residu yang di dihasilkan 500 gram dapat di lihat pada gambar 4.9



**Gambar 4.9** hasil residu sachet kopi 1000 gram

Minyak yang dihasilkan dari proses pirolisis limbah sampah plastik bungkus mie instan dan sachet kopi dilakukan percobaan pembakaran seperti gambar 4.10



**Gambar 4.10** Uji coba membakar minyak pirolisis

Api yang di hasilkan dari uji coba membakar minyak pirolisis berwarna merah termaksud dalam jenis api yang suhu panasnya paling rendah jika dibandingkan dengan api biru, asap pembakaran minyak pirolisis berwarna hitam dan berbau tidak sedap mengganggu indra penciuman

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah di lakukan dapat disimpulkan beberapa hal yang sebagai berikut :

1. Dari penelitian menunjukan tipe plastik yang diuji, plastik tipe LDPE bungkus mie instan dengan massa 500 gram menghasilkan minyak pirolisis 350ml lebih banyak di bandingkan sachet kopi dengan massa 500 gram menghasilkan minyak pirolisi 125 ml. Untuk bungkus mie instan 1000 gram menghasilkan minyak pirolisis 650 ml sedangkan sachet kopi dengan massa 1000 gram menghasilkan minyak pirolisis 350 ml
2. Hasil residu dari proses pirolisis antara bungkus mie instan dan sachet kopi berbeda, di mana residu bungkus mie instan berbentuk butiran pasir sedangkan sachet kopi terdapat lapisan dalam dari sachet kopi terserbut yaitu alumunium foil
3. Massa berpengaruh terhadap hasil minyak yang di dapatkan dan waktu yang di perlukan untuk proses pirolisis semakin lama
4. Dari segi untuk mengurangi limbah sampah plastik proses pirolisis ini lebih baik, dari pada di bakar maupun di kubur di dalam tanah yang membutuhkan waktu yang lama untuk terurai

### 5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat di berikan untuk penelitian selanjut nya adalah :

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang modifikasi mesin pirolisis agar hasil minyak pirolisis yang di hasilkan lebih banyak dan energi yang di pakai untuk proses efisien
2. Hasil minyak pirolisis perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap kandungan minyak pirolisis

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada pihak dosen pembimbing, Fakultas teknik serta jajarannya, rekan – rekan mahasiswa teknik angkatan 2016 dan pihak golimbah

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ismanto SU dan. Jurnal Mekanika dan Sistem Termal (JMST). *Syamsiro J Mek dan Sist Termal*. 2016;1(1):7-13.
- [2] Liestiono RP, Cahyono MS, Widyawidura W, Prasetya A, Syamsiro M. Karakteristik Minyak dan Gas Hasil Proses Dekomposisi Termal Plastik Jenis Low Density Polyethylene (LDPE). *J Offshore Oil, Prod Facil Renew Energy*. 2017;1(2):1. doi:10.30588/jo.v1i2.288
- [3] Republika. KLHK: Produksi Sampah Nasional 65,8 Juta Ton per Tahun. [Republika.co.id](http://Republika.co.id).
- [4] Sukadi S, Novarini N. Rancang Bangun Alat Pirolisis Untuk Daur Ulang Sampah Kantong Plastik. *Tek J Tek*. 2019;5(2):96. doi:10.35449/teknika.v5i2.86
- [5] K E, Mukhtar G, dkk. Pengolahan Sampah Plastik dengan Metoda Pirolisis menjadi Bahan Bakar Minyak. *Pengemb Teknol Kim untuk Pengolah Sumber Daya Alam Indones*. 2016;ISSN 1693-:1-7.
- [6] Coniwanti P, Putri AG, Chandra M. Pembuatan Briket Komposit Plastik Polyethylene, Arang Tempurung Kelapa, Dan Arang Sekam Padi Sebagai Bahan Bakar Alternatif. 2019:272-286.
- [7] Amalia Ardianti D. Rancang Bangun Alat Pengkonversi Sampah Plastik Menggunakan Metode Pirolisis menjadi Bahan Bakar Minyak dalam Upaya Penanganan Masalah Lingkungan. *J Ilmu dan Inov Fis*. 2019;3(2):91-96. doi:10.24198/jiif.v3i2.23152

- 
- [8] Surono UB. Berbagai Metode Konversi Sampah Plastik. *J Tek.* 2013;3(1):32-40.
- [9] Landi T, Arijanto A. Perancangan Dan Uji Alat Pengolah Sampah Plastik Jenis Ldpe (Low Density Polyethylene) Menjadi Bahan Bakar Alternatif. *J Tek Mesin Undip.* 2017;5(1):1-8.
- [10] Nasrun N, Kurniawan E, Sari I. Pengolahan Limbah Kantong Plastik Jenis Kresek Menjadi Bahan Bakar Menggunakan Proses Pirolisis. *J Energi Elektr.* 2017;4(1):1-5. doi:10.29103/jee.v4i1.11
- [11] Munson, Bruce R, Donald F. Young, Theodore H. Okiishi. 2005. *Mekanika Fluida*. Jakarta: Erlangga