

**KARAKTERISTIK BAHAN BAKAR DIESEL  
DARI LIMBAH PLASTIK**

**SKRIPSI**

**Oleh :**

**NUR FALACHYAH OKTAVIYANI**

**NIM. 18640030**



**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2024**

**HALAMAN PENGANTAR**

**KARAKTERISTIK BAHAN BAKAR DIESEL  
DARI LIMBAH PLASTIK**

**SKRIPSI**

Diajukan Kepada:  
Fakultas Sains Dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang  
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam  
Memperoleh Gelar Sarjana (S.Si)

Oleh:  
NUR FALACHIAH OKTAVIYANI  
NIM. 18640030

**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2024**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**KARAKTERISTIK BAHAN BAKAR DIESEL  
DARI LIMBAH PLASTIK**

**SKRIPSI**

Oleh:

NUR FALACHYAH OKTAVIYANI  
NIM. 18640030

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji  
Pada tanggal, 28 Maret 2024

Pembimbing I



Drs. Cecep E Rustana, B. Sc Hons., Ph. D.  
NIP. 1959072 9198602 1 001

Pembimbing II



Ahmad Abthoki, M. Pd.  
NIP. 19761003 200312 1 004

Mengetahui,  
Ketua Program Studi



Enam Tazi, M.Si  
NIP. 19740730 200312 1 002

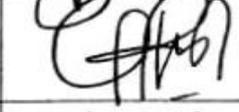
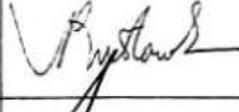
**HALAMAN PENGESAHAN**

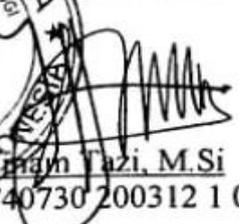
**KARAKTERISTIK BAHAN BAKAR DIESEL  
DARI LIMBAH PLASTIK**

**SKRIPSI**

Oleh:  
NUR FALACHYAH OKTAVIYANI  
NIM. 18640030

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi  
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk  
Memperoleh Gelar Serjana Sains (S.Si)  
Pada Tanggal: 28 April 2024

Penguji I	<u>Dr. Imam Tazi, M.Si</u> NIP. 19740730 200312 1 002	
Penguji II	<u>Dr. Erna Hastuti, M. Si</u> NIP. 19811119200801 2 009	
Pembimbing I	<u>Drs. Cecep E Rustana, B. Sc Hons., Ph. D.</u> NIP. 1959072 9198602 1 001	
Pembimbing II	<u>Ahmad Abthoki, M. Pd.</u> NIP. 19761003 200312 1 004	

Mengesahkan,  
Ketua Program Studi  
  
Dr. Imam Tazi, M.Si  
NIP. 19740730 200312 1 002



## HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Nur Falachiyah Oktaviyani

NIM 18640030

Jurusan : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : Karakteristik Bahan Bakar Diesel dari Limbah Plastik.

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil-alihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil contekan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 20 Mei 2023

Yang Membuat Pernyataan

A handwritten signature in black ink is written over a yellow 1000 Rupiah stamp. The stamp features the number '1000' and the words 'REPUBLIK INDONESIA' and 'METERAI TEMPEL'. A small alphanumeric code '9DC4DAJX005198751' is visible at the bottom of the stamp.

Nur Falachiyah Oktaviyani

NIM. 18640030

**MOTTO**

**YOU CAN!**

**If you think you can 😊**

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah rabbil'alamin, dengan mengucapkan rasa syukur atas rahmat Allah SWT. Sebagai ungkapan terimakasih, skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ibu saya tercinta, ibu Nur Khamidah yang selalu mendo'akan, mendukung, dan selalu mengingatkan untuk selalu menyertakan Allah SWT dalam setiap langkah yang diambil. Terimakasih atas ketulusan doa, semangat dan kasih sayang yang telah diberikan.
2. Cinta pertama saya, ayahanda tercinta yaitu bapak Khusnul Falach S.E. yang selalu mendo'akan, mendukung, menemani dan menyemangati setiap langkah anaknya dalam menentukan pilihannya. Terimakasih atas ketulusan doa, semangat dan kasih sayang yang telah diberikan.
3. Kakak dan adik saya yang senantiasa menunggu kelulusan saya. Terimakasih atas segala semangat yang diberikan.
4. Keluarga besar saya yang selalu mendukung dan memberikan semangat kepada saya.
5. Dosen pembimbing saya Bapak Drs. Cecep E Rustana, B.Sc Hons., Ph.D. dan bapak Ahmad Abthoki, M.Pd. yang senantiasa sabar membimbing saya dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini. Serta terimakasih kepada Bapak/Ibu dosen yang telah membimbing dan mendampingi saya dalam menuntut ilmu di UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
6. As'ad Nur Fadlly, seseorang yang selalu menyediakan tempat untuk mengeluh dan selalu menyemangati, meluangkan waktunya dan kebersamai selama ini. Terimakasih atas segala bantuan baik perihal informasi, waktu dan material.

7. Sahabat, teman-teman dekat yang terlibat dalam proses pengerjaan skripsi ini. Terimakasih atas dukungan, bantuan dan waktunya, semoga selalu senantiasa dalam lindungan Allah.
8. Kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan penulisan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.
9. Terakhir untuk diri saya sendiri, terimakasih telah menyelesaikan dan tetap bertahan dengan keadaan apapun.

## KATA PENGANTAR

Puja dan puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahnya kepada kita semua sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi yang berjudul **“Karakteristik Bahan Bakar Diesel Dari Limbah Plastik”** sebagai tugas akhir untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar sarjana sains (S.Si). Sholawat dan salam penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah memimpin umat manusia dari zaman jahiliah hingga ke zaman pencerahan sempurna seperti saat ini.

Atas selesainya penulisan skripsi ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Prof. Dr. H. M. Zainuddin, M.A., selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Prof. Dr. Hj. Sri Harini, M.Si, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Imam Tazi, M.Si., selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Drs. Cecep Rustana, BSc(Hons). PhD., sebagai Dosen Pembimbing Skripsi dengan sabar membimbing dengan teliti serta memberikan arahan untuk penulisan sehingga mampu menyelesaikan Skripsi dengan baik dan benar.
5. Bapak Ahmad Abthoki, M. Pd selaku Dosen Pembimbing Integrasi Skripsi dengan sabar dan cermat memberikan bimbingan serta memberikan arahan untuk penulisan sehingga mampu menyelesaikan Skripsi dengan baik dan benar.

6. Bapak dan Ibu Penguji yang telah memberikan bimbingan berupa masukan ide dan moral.
7. Seluruh Dosen Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah sabar membagikan ilmunya.
8. Keluarga terutama Ibu, Ayah, Kakak dan Adik yang selama ini selalu memberikan dukungan dan semangat dalam do'anya agar penulis senantiasa diberikan kemudahan dalam setiap langkahnya
9. Teman-teman fisika semua angkatan yang selalu membantu menjadi penyemangat untuk menyelesaikan skripsi ini.
10. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, atas dukungan yang tulus membantu motivasi, doa serta saran sehingga dapat membantu penuli menyelesaikan skripsi ini.

Semoga Allah membalas dengan kebaikan. Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna maka penulis mohon masukkan dan kritikan agar dapat mengevaluasi dan memperbaiki sehingga dapat lebih baik. Akhir kata, penulis berharap semoga penulisan skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Malang, 20 Mei 2024



penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGAJUAN .....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN .....	iii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN .....	v
MOTTO.....	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	vii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xiv
ABSTRAK.....	xv
ABSTRACT .....	xvi
المخلص .....	xvii
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	6
1.3 Tujuan Penelitian .....	6
1.4 Manfaat Penelitian .....	6
1.5 Batasan Masalah .....	7
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>8</b>
2.1 Sampah Plastik.....	8
2.2 Pirolisis .....	13
2.3 Diesel .....	16
2.4 Katalis .....	19
2.5 <i>Fly ash</i> .....	21
2.6 Penelitian Sebelumnya.....	24
2.7 Kerangka Berpikir.....	25
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>28</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	28
3.2 Jenis Penelitian.....	28
3.3 Alat dan Bahan.....	28
3.3.1 Alat Penelitian.....	28
3.3.2 Bahan Penelitian .....	29
3.4 Diagram Alir .....	29
3.5 Prosedur Penelitian.....	30
3.5.1 Skema Alat Penelitian.....	30
3.5.2 Proses Pembuatan Katalis <i>Fly ash</i> .....	31
3.5.3 Proses Pembuatan Diesel berbahan sampah plastik.....	31
3.5.3.1 Tidak Menggunakan Katalis .....	31
3.5.3.2 Menggunakan Katalis.....	32
3.6 Analisis Data .....	32
3.6.1 Penentuan <i>Yield</i> Diesel .....	32
3.6.2 Analisis Spektrum FTIR Diesel .....	33

3.6.3 Uji Karakteristik Diesel .....	33
3.6.3.1 Analisis Viskositas .....	33
3.6.3.2 Analisis Densitas .....	33
3.6.3.3 Analisis Nilai Kalor .....	33
3.6.3.4 Analisis Titik Nyala.....	33
3.6.3.5 Analisis Titik Beku.....	34
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>35</b>
4.1 Data Hasil Penelitian .....	35
4.1.1 Data Hasil Presentase <i>Yield</i> Diesel .....	36
4.1.2 Data Hasil Spektrum FTIR Diesel .....	37
4.1.3 Data Hasil Analisa Karakteristik Diesel .....	40
4.1.3.1 Viskositas Diesel .....	40
4.1.3.2 Densitas (Massa Jenis) Diesel .....	41
4.1.3.3 Titik Nyala Diesel.....	42
4.1.3.4 Titik Beku Diesel.....	43
4.1.3.5 Nilai Kalor Diesel.....	44
4.2 Pembahasan.....	45
4.2.1 Presentase <i>Yield</i> Diesel .....	47
4.2.2 Spektrum FTIR Diesel .....	49
4.2.3 Karakteristik Diesel .....	50
4.2.3.1 Viskositas Diesel .....	50
4.2.3.2 Densitas Diesel .....	51
4.2.3.3 Titik Nyala Diesel.....	53
4.2.3.4 Titik Beku Diesel.....	54
4.2.3.5 Nilai Kalor Diesel.....	55
4.3 Integrasi Dengan Al-Qur'an.....	57
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>61</b>
5.1 Kesimpulan .....	61
5.2 Saran .....	62
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>63</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>68</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	29
Gambar 3.2 Skema Alat Penelitian.....	30
Gambar 4.1 Plot Grafik FTIR Diesel Pirolisis .....	38
Gambar 4.2 Plot Grafik FTIR Solar dan FTIR Diesel Pirolisis Tidak menggunakan katalis.....	39

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis Plastik, Kode dan Penggunaan (Surono, 2013).....	8
Tabel 2.2 Sifat Termal Pada Plastik .....	10
Tabel 2.3 Sifat Bahan Bakar Dari Minyak Bumi .....	12
Tabel 2.4 Standar Mutu Bahan Bakar Diesel .....	17
Tabel 2.5 Kandungan Fly ash dan Bottom ash Paiton.....	23
Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Yield Diesel .....	36
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Yield Diesel .....	36
Tabel 4.3 Bilangan Gelombang, Gugus Fungsi, dan Nama senyawa FTIR Diesel .....	38
Tabel 4.4 Data Hasil Viskositas Diesel .....	41
Tabel 4.5 Data Hasil Densitas Diesel .....	41
Tabel 4.6 Data Hasil Titik Nyala Diesel.....	42
Tabel 4.7 Data Hasil Titik Beku Biodiesel.....	43
Tabel 4.8 Data Hasil Nilai Kalor Diesel.....	44
Tabel 4.9 Hasil Uji Karakteristik Diesel .....	45

## ABSTRAK

Oktaviyani, Nur Falachiyah. 2024. **Karakteristik Bahan Bakar Diesel dari Limbah Plastik**. Skripsi. Progam Studi Fisika. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.  
Pembimbing: (I) Drs. Cecep E Rustana, B. Sc Hons., Ph. D. (II) Ahmad Abtokhi, M.Pd.

---

**Kata Kunci:** Pirolis; Diesel; Sampah Plastik; Fly Ash

Di Indonesia, kebutuhan plastik terus meningkat hingga mengalami kenaikan rata-rata 200 ton per tahun. Setiap hari penduduk Indonesia menghasilkan 0,8 kg sampah per orang atau secara total sebanyak 189 ribu ton sampah per hari. Bahan baku utama untuk membuat plastik adalah naptha yang berasal dari penyulingan minyak bumi. Maka dari itu sampah plastik dapat dikonversi menjadi minyak. Selain itu plastik juga mempunyai nilai kalor cukup tinggi, setara dengan bahan bakar fosil seperti bensin dan solar. Untuk menghasilkan bahan bakar minyak dari sampah plastik metode yang digunakan yaitu pirolisis. Peneliti ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh katalis *fly ash* terhadap karakteristik bahan bakar diesel dari limbah plastik jenis *HDPE* (*High Density Polyethlen* dengan parameter uji *yield*, *FTIR*, viskositas, densitas, titik nyala, titik beku, dan nilai kalor diesel. Proses pirolisis dilakukan sebanyak dua kali. Sampel yang pertama tidak menggunakan katalis, dan sampel yang kedua menggunakan katalis. Sampah plastik yang digunakan sebanyak 2000 gram botol bekas oli berjenis *HDPE* dan katalis *fly ash* sebanyak 20% dari berat sampah plastik. Suhu yang digunakan untuk setiap proses pirolisis di reaktor pertama 300°C dan direaktor kedua dengan suhu 250°C. Pada reaktor pertama menggunakan waktu 120 menit dan direaktor kedua menggunakan waktu 90 menit. Pada hasil *yield* minyak pirolisis di dapatkan nilai tertinggi pada sampel yang menggunakan katalis yaitu 85,3% dengan perbandingan berat hasil minyak pirolisis kedua dengan berat sampah plastik. hasil uji viskositas sampel non katalis dan katalis diperoleh 2,138 cSt dan 2,446 cSt keduanya masuk dalam SNI. Hasil uji densitas sampel non katalis dan katalis diperoleh 791 kg/m<sup>3</sup> dan 796 kg/m<sup>3</sup> hasil tersebut belum memenuhi SNI. Hasil uji titik nyala diperoleh hasil yang sama dari kedua sampel yaitu 28°C hasil tersebut juga belum termasuk dalam SNI. Hasil uji nilai titik beku dengan sample non katalis dan katalis mendapatkan 12°C dan 16°C hasil tersebut telah memenuhi SNI. Dan hasil uji nilai kalor dengan nilai lebih tinggi diperoleh sampel menggunakan katalis dengan nilai 47 Mj/Kg hasil dari uji nilai kalor diesel pirolisis memenuhi SNI.

## ABSTRACT

Oktaviyani, Nur Falachiyah. 2024. **Karakteristik Bahan Bakar Diesel dari Limbah Plastik**. Thesis. Physics Study Program. Faculty of Science and Technology. Maulana Malik Ibrahim State Islamic University Malang.  
Advisor: (I) ) Drs. Cecep E Rustana, B. Sc Hons., Ph. D. (II) Ahmad Abtokhi, M.Pd.

---

**Keywords:** Pyrolysis; Diesel; Plastic Waste; Fly Ash

In Indonesia, the demand for plastic continues to increase, experiencing an average increase of 200 tons per year. Every day, the Indonesian population generates 0.8 kg of waste per person, totaling 189 thousand tons of waste per day. The main raw material for making plastic is naphtha derived from crude oil distillation. Therefore, plastic waste can be converted into oil. Additionally, plastic also has a relatively high calorific value, equivalent to fossil fuels such as gasoline and diesel. To produce oil fuel from plastic waste, the method used is pyrolysis. This study aims to determine the effect of fly ash catalyst on the characteristics of diesel fuel from HDPE (High-Density Polyethylene) plastic waste, with test parameters including yield, FTIR, viscosity, density, flash point, freezing point, and diesel calorific value. The pyrolysis process was conducted twice. The first sample did not use a catalyst, while the second sample used a catalyst. The plastic waste used was 2000 grams of used HDPE oil bottles, with fly ash catalyst comprising 20% of the plastic waste weight. The temperatures used for each pyrolysis process in the first reactor were 300°C and in the second reactor were 250°C. The first reactor operated for 120 minutes, while the second reactor operated for 90 minutes. The highest oil yield from pyrolysis was obtained in the sample using a catalyst, which was 85.3%, compared to the weight of the second pyrolysis oil yield to the weight of the plastic waste. The viscosity test results for both non-catalyst and catalyst samples were 2.138 cSt and 2.446 cSt, respectively, both meeting the national standards (SNI). The density test results for non-catalyst and catalyst samples were 791 kg/m<sup>3</sup> and 796 kg/m<sup>3</sup>, respectively, both of which did not meet the national standards (SNI). The flash point test results were the same for both samples, at 28°C, which also did not meet the national standards (SNI). The freezing point test results for non-catalyst and catalyst samples were 12°C and 16°C, respectively, meeting the national standards (SNI). The calorific value test results showed a higher value for the sample using a catalyst, with a value of 47 Mj/Kg, meeting the national standards for pyrolysis diesel calorific value (SNI).

## المخلص

اوكتافيانى، نور فلاخيه. 2024. خصائص وقود الديزل من النفايات البلاستيكية. أطروحة. برنامج دراسة الفيزياء. كلية العلوم والتكنولوجيا. جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج.  
المشرف: (أ) الدكتورة. سيسيب إي روستانا، بكالوريوس العلوم مع مرتبة الشرف، دكتوراه.  
د. (ثانياً) أحمد ابطوخي، دكتوراه في الطب.

لكلمات الرئيسية: بيروليس؛ ديزل؛ النفايات البلاستيكية؛ الرماد المتطاير

في إندونيسيا، تستمر حاجة البلاستيك في الارتفاع مع زيادة متوسطها بمقدار 200 طن سنويًا. ينتج كل فرد في إندونيسيا يوميًا 0.8 كيلو غرام من النفايات أو بمجموع 189 ألف طن من النفايات يوميًا. المادة الخام الرئيسية لصنع البلاستيك هي النافثة التي تأتي من تقطير النفط الخام. لذا يمكن تحويل النفايات البلاستيكية إلى زيت. بالإضافة إلى ذلك، يحتوي البلاستيك أيضًا على قيمة حرارية عالية، مما يعادل وقود الأحفوري مثل البنزين والديزل. لإنتاج وقود الزيت من النفايات البلاستيكية، يتم استخدام طريقة البيروليس. تهدف هذه الدراسة إلى معرفة تأثير محفز الرماد المتطاير على خصائص وقود الديزل من البلاستيك نوع HDPE (بولي إيثيلين عالي الكثافة) من خلال تحليل العائد، والأشعة تحت الحمراء بالتحويل الفوري، واللزوجة، والكثافة، ونقطة الوميض، ونقطة التجمد، وقيمة الحرارة لوقود الديزل. تم إجراء عملية البيروليس مرتين. تم استخدام عينة تحتوي على 2000 جرام من زجاجات الزيت المستعملة من نوع HDPE ومحفز الرماد المتطاير بنسبة 20٪ من وزن النفايات البلاستيكية. تم استخدام درجة حرارة مقدارها 300 درجة مئوية لكل عملية بيروليس في المفاعل الأول و250 درجة مئوية في المفاعل الثاني. تم استخدام فترة زمنية تبلغ 120 دقيقة في المفاعل الأول و90 دقيقة في المفاعل الثاني. تم الحصول على أعلى قيمة لعائد الزيت من البيروليس في العينة التي استخدمت المحفز وبلغت 85.3٪ بالمقارنة بوزن الزيت المنتج مع وزن النفايات البلاستيكية. تم الحصول على قيم اللزوجة للعينتين غير المحفزة والمحفزة على التوالي 2.138 و 2.446 سننيسوك، وكلاهما يتوافق مع المواصفات القياسية الإندونيسية. تم الحصول على قيم الكثافة للعينتين غير المحفزة والمحفزة على التوالي 791 و 796 كيلوجرام/متر مكعب، وهذه النتائج لا تزال تحتاج إلى المزيد من العمل لتلبية المواصفات القياسية الإندونيسية. تم الحصول على نفس قيمة نقطة الوميض للعينتين وهي 28 درجة مئوية، وهذه النتيجة لا تزال تحتاج إلى المزيد من العمل لتلبية المواصفات القياسية الإندونيسية. تم الحصول على قيمة نقطة التجمد للعينتين غير المحفزة والمحفزة على التوالي 12 و 16 درجة مئوية على التوالي، وهذه النتائج تلي المواصفات القياسية الإندونيسية. وتم الحصول على قيمة أعلى لقيمة الحرارة للعينة التي استخدمت المحفز بقيمة 47 ميجاجول/كيلوجرام، ونتيجة اختبار قيمة حرارة ديزل البيروليس تلي المواصفات القياسية الإندونيسية.

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Salah satu permasalahan terbesar di Indonesia adalah limbah. Terutama limbah plastik yang sangat sulit terurai oleh tanah. Tidak banyak orang yang peduli dengan limbah plastik yang ada di sekitar kita. Akibat kurangnya kepedulian masyarakat menyebabkan kondisi lingkungan semakin hari semakin buruk. Sejak pertama kali ditemukan pada tahun 1907, penggunaan plastik dan barang-barang berbahan dasar plastik semakin meningkat. Peningkatan penggunaan plastik ini merupakan konsekuensi dari berkembangnya teknologi, industri, dan juga jumlah populasi penduduk. Di Indonesia, kebutuhan plastik terus meningkat hingga mengalami kenaikan rata-rata 200 ton per tahun. Setiap harinya, penduduk Indonesia menghasilkan 0,8 kg sampah per orang atau secara total sebanyak 189 ribu ton sampah per hari. Dari jumlah tersebut, 15% berupa sampah plastik atau sejumlah 28,4 ribu ton sampah plastik per hari (Arifin & Ihsan, 2018).

Semakin banyak plastik yang digunakan oleh masyarakat, maka semakin banyak pula sampah plastik yang akan dihasilkan. Peningkatan perekonomian, perubahan gaya hidup, dan meningkatnya mobilitas penduduk dapat meningkatkan volume sampah plastik. Sampah plastik berdampak buruk terhadap lingkungan karena tidak dapat terurai dengan cepat dan dapat mempengaruhi kesuburan tanah. Sampah plastik yang dibuang sembarangan juga dapat menyumbat saluran drainase, selokan dan sungai sehingga bisa menyebabkan banjir (Prianto et al., 2019).

Sampah plastik sangat sulit untuk diuraikan secara alami. Sampah plastik merupakan masalah lingkungan berskala global karena sangat sulit untuk

dipisahkan. Untuk dapat menguraikan limbah plastik secara alami membutuhkan waktu kurang lebih 100 tahun agar plastik dapat terurai dengan sempurna. Sedangkan kini semua orang tahu bahwa kebutuhan plastik khususnya di Indonesia semakin meningkat setiap tahunnya sehingga hal itu dapat menyebabkan semakin banyaknya limbah dari sampah plastik tersebut. Pengelolaan sampah di Indonesia masih merupakan permasalahan yang belum dapat ditangani dengan baik (Purwaningrum, 2016). Dan di Indonesia sendiri tentu sudah kita ketahui tentang fenomena limbah plastik yang semakin menggunung, yang tentu saja sangat mengganggu kenyamanan.

Masyarakat pada umumnya membakar atau membuang sampah ke TPA dan sebagian sampah plastik diambil untuk daur ulang. Penanganan sampah tersebut seperti dibakar tidak terlalu efektif karena menghasilkan emisi gas yang berbahaya. Tidak hanya itu dampak dari sampah plastik yang semakin hari semakin meningkat akan menyebabkan kerusakan lingkungan seperti kurangnya lahan, pencemaran air, tanah, laut dan udara. Oleh karena itu kita sebagai penduduk bumi sudah seharusnya menjaga dan merawat bumi kita seperti yang dijelaskan dalam Al- Qur'an Surat Ar-Rum (30): 41-42 sebagai berikut:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ ﴿41﴾  
 فَلْ سِيرُوا فِي الْأَرْضِ فَانظُرُوا كَيْفَ كَانَ عَاقِبَةُ الَّذِينَ مِنْ قَبْلُ كَانَ أَكْثَرُهُمْ مُشْرِكِينَ ﴿42﴾

Artinya: “Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar). Katakanlah: “Adakanlah perjalanan di muka bumi dan perhatikanlah bagaimana kesudahan orang-orang yang terdahulu. kebanyakan dari mereka itu adalah orang-orang yang mempersekutukan (Allah).” (QS. Ar Rum 41-42).

Ayat tersebut dengan jelas menyatakan bahwa segala kerusakan di muka bumi ini adalah akibat ulah manusia yang akibatnya akan kembali kepada manusia itu

sendiri. Misalnya, sekarang manusia sudah bisa merasakan cuaca yang semakin panas akibat penggunaan sumber alam yang berlebihan seperti listrik untuk lemari pendingin (kulkas) atau pendingin ruangan (*Air Conditioner/AC*), yang dibiarkan menyala siang dan malam, entah digunakan atau tidak. Belum lagi penggunaan bahan bakar minyak untuk industri dan transportasi yang mengeluarkan asap polusi sehingga dapat mempertipis lapisan ozon yang menyelimuti bumi. Itu semua dapat meningkatkan suhu udara di luar ruangan dan melelehnya es di kutub utara dan selatan sehingga tingkat air laut meninggi yang pada jangka waktu yang panjang bisa menenggelamkan sebagian pulau-pulau yang ada di bumi. Itu semua adalah karena ulah keserakahan manusia. Jika tidak segera dihentikan, maka akibat dari kerusakan tersebut akan dirasakan semua penghuni bumi tanpa terkecuali.

Demikian pula dengan meningkatnya timbunan sampah plastik tentunya menjadi masalah yang memerlukan penanganan dengan baik dan benar karena sampah plastik merupakan material yang tidak dapat terurai oleh mikroorganisme. Pengolahan sampah plastik yang tidak efisien juga dapat menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan sehingga diperlukan cara pengolahan lain untuk mengolah sampah plastik. Plastik adalah salah satu jenis makromolekul yang dibentuk dengan proses polimerisasi dengan penyusun utamanya hidrogen dan karbon. Bahan baku utama untuk membuat plastik adalah naphtha yang berasal dari penyulingan minyak bumi. Maka dari itu sampah plastik dapat dikonversi menjadi minyak. Selain itu plastik juga mempunyai nilai kalor cukup tinggi, setara dengan bahan bakar fosil seperti bensin dan solar. Untuk menghasilkan bahan bakar minyak dari sampah plastik metode yang banyak dilakukan pada penelitian sebelumnya, antara lain oleh Wicaksono & Arijanto (2017), yaitu metode pirolisis. Pada penelitian tersebut

menunjukkan bahwa metode pirolisis yang digunakan untuk mengolah sampah plastik menjadi bahan bakar alternatif dapat memperoleh hasil yaitu pirolisis menggunakan sampah *PET* dengan suhu efektif pada temperature  $>250^{\circ}\text{C}$ . Minyak yang didapat pada pengujian parallel flow lebih banyak dibandingkan dengan counter flow. Volume minyak pada proses pirolisis yang paling banyak yaitu pada suhu  $260^{\circ}\text{C}$  - $350^{\circ}\text{C}$  Kondensor 1 lebih banyak menghasilkan minyak dibandingkan kondensor 2. Minyak yang dihasilkan kondensor 2 lebih murni karna mengandung materi hidrokarbon yang lebih ringan.

Pirolisis merupakan proses dekomposisi secara termal dari material organik tanpa keterlibatan oksigen di dalamnya. Proses ini mengakibatkan terjadinya pemutusan rantai senyawa kimia, sehingga akan dihasilkan senyawa yang baru, yang memiliki rantai ikatan lebih pendek. Plastik sebagai bentuk polimer dengan monomer utama berupa rantai hidrokarbon memiliki peluang untuk diolah melalui proses pirolisis dengan harapan dapat dihasilkan senyawa hidrokarbon dengan rantai C yang lebih pendek sebagai bahan bakar minyak, khususnya diesel. Pirolisis pada polimer hidrokarbon memerlukan energi yang besar (suhu tinggi), dan merupakan reaksi endotermis yang berlangsung pada temperatur  $350\text{--}500^{\circ}\text{C}$ , mengikuti reaksi radikal bebas. Pada beberapa penelitian menunjukkan temperatur reaksi mencapai  $700\text{--}900^{\circ}\text{C}$  untuk mendapatkan produk yang diinginkan (Pratiwi & Dahani, 2015). Penggunaan energi yang besar tentunya membuat proses pirolisis menjadi tidak efisien digunakan dalam pembuatan bahan bakar diesel. Pada penelitian sebelumnya dilakukan proses pirolisis menggunakan katalis yang bertujuan untuk mendapatkan kondisi proses terbaik dalam pembuatan bahan bakar minyak (BBM) yang berbahan baku sampah plastik dan katalis *fly ash*. Dari

penelitian tersebut dapat diketahui jika jumlah katalis yang digunakan berpengaruh dengan hasil minyak yang didapatkan. Katalis dalam jumlah yang berlebih dapat memproduksi lebih banyak gas sulit terkondensasi yang menyebabkan peningkatan jumlah katalis lebih lanjut akan menurunkan jumlah bahan bakar minyak. Hasil paling banyak yang didapatkan dalam penelitian ini yaitu pada proses pirolisis menggunakan katalis 40% dan dengan suhu proses 400 °C dengan jumlah minyak sebanyak 70 ml. Pada proses pirolisis tanpa katalis jumlah bahan bakar minyak tertinggi didapat pada suhu proses 350 °C yaitu sebesar 47 ml (Rambe et al., 2018). Sehingga untuk meningkatkan efisiensi pembuatan bahan bakar diesel berbahan sampah plastik melalui proses pirolisis dan sekaligus untuk meningkatkan kualitas bahan bakar diesel yang dihasilkan tersebut, maka penelitian ini dirancang untuk menggunakan katalis.

Katalis memiliki peranan yang sangat penting terhadap kualitas hidrokarbon yang dihasilkan dan selain itu sebagaimana dijelaskan oleh (Ermawati, 2011) bahwa katalis juga digunakan untuk menurunkan energi yang dibutuhkan pada proses pembakaran. Katalis tidak hanya mempengaruhi struktur produk, tapi juga hasil bahan bakar diesel yang dihasilkan. Katalis yang dapat digunakan untuk mengubah sampah plastik menjadi bahan bakar cair antara lain zeolit HZM-5, SiO<sub>2</sub>- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Amorf dan MCM-41. Sayangnya pembuatan katalis tersebut memerlukan biaya bahan baku dan proses pembuatan yang cukup mahal. Oleh karena itu, mengacu kepada Jonathan et al. (2003), yang menjelaskan bahwa *fly ash* dapat dijadikan menjadi bahan alternatif pembuatan katalis lain yang cukup murah, maka dalam pembuatan bahan bakar minyak melalui proses pirolisis pada penelitian ini juga akan menggunakan *fly ash* sebagai katalis.

*Fly ash* (abu terbang batubara) merupakan salah satu material yang dapat digunakan sebagai katalis dalam pembuatan bahan bakar minyak (Rambe et al., 2018). *Fly ash* (abu terbang batubara) merupakan limbah industri yang pada umumnya dibuang di *landfill* atau ditumpuk begitu saja di dalam area industri. Penumpukkan *fly ash* akan menimbulkan masalah bagi lingkungan karena menghasilkan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Untuk itu diperlukan suatu upaya pemanfaatan limbah *fly ash* ini agar mampu meningkatkan nilai ekonomisnya serta mengurangi dampak buruknya terhadap lingkungan (Ghofur et al., 2014).

Berdasarkan uraian diatas, maka penelitian ini difokuskan pada karakterisasi minyak berbahan limbah plastik yang dibuat melalui proses pirolisis dengan katalis *fly ash*. Untuk itu, penelitian diberi judul: **“Pengaruh *Fly ash* Terhadap Karakteristik Bahan Bakar Diesel Dari Limbah Plastik”**.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Dari latar belakang diatas, rumusan masalah dari penelitian ini yaitu bagaimana karakteristik bahan bakar diesel (Viskositas, Densitas, Titik Beku, Titik Nyala, dan Nilai Kalor) dari limbah plastik jenis *HDPE (High Density Polyethylene)* ?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini yaitu mengetahui karakteristik bahan bakar diesel (Viskositas, Densitas, Titik Beku, Titik Nyala, dan Nilai Kalor) dari limbah plastik jenis *HDPE (High Density Polyethylene)*.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

1. Mendapatkan pengetahuan dan keterampilan untuk dapat menghasilkan bahan bakar diesel dari limbah plastik.

2. Memberikan pengetahuan tentang pengaruh katalis berupa *fly ash* terhadap bahan bakar diesel hasil dari limbah plastik.
3. Menghasilkan produk berupa bahan bakar diesel hasil dari limbah plastik untuk membantu masyarakat.
4. Memberi kontribusi dalam menjaga lingkungan dan memanfaatkan limbah menjadi energi terbarukan.

### **1.5 Batasan Masalah**

1. Penelitian menggunakan bahan limbah sampah plastik jenis *HDPE (High Density Polyethylene)*.
2. Penelitian menggunakan katalis berupa *Fly ash* (abu batu bara).
3. Penelitian menggunakan metode pirolisis.
4. Penelitian dilakukan untuk mengetahui karakteristik (viskoaitas, densitas, titik nyala, titik beku, nilai kalor, *yield*, dan FTIR) bahan bakar diesel yang dihasilkan dari limbah plastik.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sampah Plastik

Plastik adalah bahan organik sintesis yang diproduksi oleh polimerisasi yang memiliki massa molekul tinggi, dan mengandung zat-zat lain selain polimer untuk meningkatkan kinerja dan mengurangi biaya. Plastik umumnya terbuat dari polimer sintesis yang mengandung hidrogen, karbon dan oksigen. Sebagai material organik sintetik atau material organik sintetik atau material organik semi sintetik, plastik dibuat dari minyak bumi dan gas alam, Dari produk plastik, dihasilkan *PET* (*polyethylene terephthalate*), *HDPE* (*Highdensity Polyethylene*) *PVC* (*Polyvinyl Chloride*) *LDPE* (*Low-density Polyethylene*) *PP* (*Polypropylene* Atau *Polypropene*) *PS* (*Polystyrene*), *polyurethane* dan *polifenol* menghasilkan limbah plastik yang kira-kira terdiri dari 50-60% jenis *PE*, 20-30% dari *PP*, 10-20% dan 10% *PVC* (K. Mustofa & Fuad, 2014).

Tabel 2. 1 Jenis Plastik, Kode dan Penggunaan (Surono, 2013)

No. Kode	Jenis Plastik	Penggunaan
1	PET (polyethylene terephthalate)	botol kemasan air mineral, botol minyak goreng, jus, botol sambal, botol obat, dan botol kosmetik
2	HDPE (High-density Polyethylene)	botol obat, botol susu cair, jerigen pelumas, dan botol kosmetik
3	PVC (Polyvinyl Chloride)	pipa selang air, pipa bangunan, mainan, taplak meja dari plastik, botol shampo, dan botol sambal.
4	LDPE (Low-density Polyethylene)	kantong kresek, tutup plastik, plastik pembungkus daging beku, dan berbagai macam plastik tipis lainnya.
5	PP (Polypropylene atau Polypropene)	cup plastik, tutup botol dari plastik, mainan anak, dan margarine
6	PS (Polystyrene)	kotak CD, sendok dan garpu plastik, gelas plastik, atau tempat makanan dari styrofoam, dan tempat makan plastik transparan
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

Tipe plastik masa kini cenderung sulit untuk diuraikan dan bahkan tidak mudah menyatu dengan alam. Salah satu bahan untuk membuat plastik yang sering

digunakan adalah nafta, yaitu bahan yang dihasilkan dari penyulingan minyak bumi atau gas alam. Sebagai gambaran, pembuatan 1 kg plastik memerlukan 1,75 kg minyak bumi, untuk pemenuhan kebutuhan bahan baku maupun kebutuhan energi prosesnya (Zurohaina et al., 2019).

Menurut Mujiarto (2005), plastik dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu *thermoplastic* dan *thermosetting*. *Thermoplastic* merupakan bahan plastik yang jika dipanaskan sampai temperatur tertentu akan mencair dan dapat dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan dan dapat terjadi berulang-ulang tanpa terjadi perubahan khusus. *Thermoplastic* termasuk turunan *ethylene* dan dinamakan plastik *vinyl* karena mengandung gugus *vinyl* atau *polyolefin*. Bahan ini sebagian besar dipakai untuk mengemas atau kontak dengan bahan makanan. *Thermosetting* merupakan jenis plastik yang melunak jika dilakukan proses pemanasan dan pembentukan, serta mengeras secara permanen dan dapat hangus atau hancur apabila dilakukan pemanasan. Jenis plastik ini berubah menjadi arang pada suhu tinggi, karena struktur kimianya bersifat 3 dimensi dan cukup kompleks. Pemakaian jenis plastik ini dalam industri pangan terutama untuk membuat tutup botol. Produk didalam botol tidak akan kontak langsung dengan tutup botol karena selalu diberi lapisan perapat yang juga berfungsi sebagai pelindung. Kebanyakan material komposit modern menggunakan plastik *thermosetting*, yang biasanya disebut resin. Kelebihan dari plastik jenis ini adalah pada ketahanannya yang kuat (Mujiarto, 2005).

Plastik memiliki banyak kelebihan dibandingkan bahan lainnya, yaitu mempunyai densitas yang lebih rendah daripada bahan lain, bersifat isolator terhadap listrik, memiliki kekuatan mekanik yang bervariasi, ketahanan suhu yang

terbatas, dan ketahanan terhadap bahan kimia yang bervariasi. Sifat termal dari berbagai jenis plastik sangat berguna untuk proses pembuatan dan daur ulang plastik. Sifat-sifat termal yang penting adalah titik lebur ( $T_m$ ), temperatur transisi ( $T_g$ ) dan temperatur dekomposisi (Bow et al., 2018).

Titik lebur merupakan titik dimana plastik mulai melunak dan berubah wujud menjadi cair. Temperatur transisi merupakan temperatur ketika plastik mengalami proses perenggangan struktur sehingga terjadi perubahan dari kondisi kaku menjadi lebih lunak atau fleksibel. Di atas titik lebur, plastik mengalami pembesaran volume sehingga molekul bergerak lebih bebas yang ditandai dengan peningkatan kelenturannya. Temperatur dekomposisi adalah batasan dari proses pencairan dari plastik. Plastik akan mudah mengalir dan struktur akan mengalami dekomposisi jika suhu dinaikkan diatas titik lebur. Proses ini terjadi karena energi termal melebihi energi yang mengikat rantai molekul dan polimer akan mengalami dekomposisi pada saat suhu diatas 1,5 kali dari temperatur transisinya (Bow et al., 2018). Sifat termal yang penting pada proses daur ulang plastik dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut ini (Surono, 2013):

Tabel 2. 2 Sifat Termal Pada Plastik

Jenis Bahan	$T_m$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_g$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	Temperatur Dekomposisi ( $^{\circ}\text{C}$ )
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

Sejak ditemukan pertama kalinya pada tahun 1907, penggunaan plastik dan barang-barang berbahan dasar plastik semakin meningkat. Peningkatan penggunaan plastik ini merupakan konsekuensi dari berkembangnya teknologi, industri, dan juga jumlah populasi penduduk. Di Indonesia, kebutuhan plastik terus meningkat hingga mengalami kenaikan rata-rata 200 ton per tahun.–Semakin banyak penggunaan plastik maka semakin banyak pula sampah plastik yang akan dihasilkan. Seiring dengan meningkatnya tingkat ekonomi, perubahan gaya hidup, dan meningkatnya mobilitas penduduk dapat meningkatkan volume sampah plastik (Prianto et al., 2019).

Setiap hari penduduk Indonesia menghasilkan 0,8 kg sampah per orang atau secara total sebanyak 189 ribu ton sampah per hari. Dari jumlah tersebut 15% berupa sampah plastik atau sejumlah 28,4 ribu ton sampah plastik per hari (Arifin dan Sobar, 2018). Padahal penggunaan plastik yang berlebihan dan pembuangan sampah plastik yang tidak dapat terkontrol akan menimbulkan masalah bagi lingkungan, karena sifat plastik yang tidak dapat teruraikan di dalam tanah. Berbagai metode sudah dilakukan oleh pakar lingkungan dan ilmuwan dari berbagai disiplin ilmu, salah satu metode yang digunakan yaitu dengan mendaur ulang sampah plastik tersebut menjadi barang yang memiliki fungsi lainnya, namun dengan cara tersebut hasilnya tidak terlalu efektif. Dan metode yang dapat mengurangi jumlah sampah plastik yaitu pirolisis.

Masyarakat pada umumnya membakar atau membuang sampah plastik sebagai bagian dari sampah rumah tangga ke TPA. Sebagian sampah plastik diambil untuk didaur ulang. Penanganan sampah tersebut biasanya dibakar, tetapi tidak terlalu efektif karena menghasilkan emisi gas yang berbahaya. Oleh karena itu, sebagai

salah satu sumber daya yang menjanjikan untuk memproduksi bahan bakar karena panas yang tinggi dari pembakaran dan meningkatkan ketersediaannya di masyarakat, maka sampah plastik perlu dikelola secara efektif dan efisien. Metode konversi limbah plastik menjadi bahan bakar tergantung pada jenis plastik yang ditargetkan dan sifat-sifat limbah lainnya yang digunakan dalam proses (Chanashetty & Patil, 2015). Salah satu metode yang digunakan untuk mengkonversi sampah plastik menjadi bahan bakar minyak adalah metode pirolisis.

Beberapa literatur tentang penelitian pirolisis menggunakan berbagai macam jenis plastik, menunjukkan sifat hasil perolehan minyak yang mendekati sifat bahan bakar dari minyak bumi yaitu bensin dan solar dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut ini (Sharuddin et al., 2016):

Tabel 2. 3 Sifat Bahan Bakar Dari Minyak Bumi

Sifat	Jenis Plastik						Hasil Standar (ASTM 1979)	
	PET	HDPE	PVC	LDPE	PP	PS	Bensin	Solar
Nilai Kalor (MJ/Kg)	28,2	40,5	21,1	39,5	40,8	43	42,5	43
API Gravity @60°F	n.a	27,48	38,98	47,75	33,03	n.a	55	38
Viskositas (mm <sup>2</sup> /s)	n.a	5,08a	6,36b	5,56c	4,09a	1,4d	1,17	1,9-4,1
Jumlah MON (menit)	n.a	85,3	n.a	n.a	87,6	n.a	81-85	
Jumlah RON (menit)	n.a	95,3	n.a	n.a	97,8	90-98	91-95	
Massa Jenis @ 15°C (g/cm <sup>3</sup> )	0,90	0,89	0,84	0,78	0,86	0,85	0,78	0,807
Arang (wt%)	n.a	0	n.a	n.a	0	0,006		0,01
Titik Nyala (°C)	n.a	48	40	41	30	26,1	42	52
n.a	tidak ada diliteratur							
a	Viskositas pada suhu 40 °C							
b	Viskositas pada suhu 30 °C							
c	Viskositas pada suhu 25 °C							
d	Viskositas pada suhu 50 °C							

Nilai kalor yang dimiliki oleh minyak pirolisis *HDPE*, *PP*, dan *PS* semua diatas 40 MJ/kg yang mana dianggap tinggi untuk penggunaan energi. Jenis plastik *PET*

dan *PVC* memiliki nilai kalor dibawah 30 MJ/kg dengan adanya asam *benzoate* pada *PET* dan senyawa klorin pada *PVC* yang mana akan memperburuk kualitas bahan bakar.

## 2.2 Pirolisis

Pirolisis berasal dari dua kata, yaitu *pyro* yang berarti panas dan *lysis* yang berarti penguraian atau degradasi. Sehingga, pirolisis berarti penguraian biomassa karena panas pada suhu yang lebih dari 150°C (Kamaruddin dalam Oktora et al., 2019). Pirolisis merupakan proses dekomposisi secara termal dari material organik tanpa keterlibatan oksigen di dalamnya. Proses ini mengakibatkan terjadinya pemutusan rantai senyawa kimia, sehingga akan dihasilkan senyawa yang baru, yang memiliki rantai ikatan lebih pendek. Plastik sebagai bentuk polimer dengan monomer utama berupa rantai hidrokarbon memiliki peluang untuk diolah secara pirolisis dengan harapan dapat dihasilkan senyawa hidrokarbon dengan rantai C yang lebih pendek (Pratiwi & Dahani, 2015).

Hal ini merupakan salah satu rahmat yang patut disyukuri dan dimanfaatkan sebaik-baiknya. Allah SWT menciptakan unsur karbon di bumi sangat melimpah. Salah satu ayat Al-Qur'an yang membahas mengenai karbon dari hasil pembakaran kayu adalah Q.S Yasin ayat 80, yang berbunyi:

الَّذِي جَعَلَ لَكُم مِّنَ الشَّجَرِ الْأَخْضَرِ نَارًا فَإِذَا أَنْتُمْ مِّنْهُ تُوقِنُونَ ﴿٨﴾

Artinya: “Yaitu (Allah) yang menjadikan api untukmu dari kayu yang hijau, maka seketika itu kamu nyalakan (api) dari kayu itu.”

Ayat diatas menjelaskan tentang proses pembakaran yang menghasilkan gas oksigen dan unsur karbon. Kedua unsur ini (oksigen dan karbon) merupakan unsur yang penting untuk menghasilkan api dengan proses pembakaran yang sempurna.

Pirolisis secara umum didefinisikan sebagai pemanasan terkendali materi dalam ketiadaan oksigen. Dalam plastik Pirolisis, struktur makromolekul polimer dipecah menjadi molekul yang lebih kecil atau *oligomer* dan unit kadang-kadang monomer. Degradasi lebih lanjut dari molekul-molekul berikutnya tergantung pada sejumlah kondisi yang berbeda termasuk (dan tidak terbatas pada) suhu, waktu tinggal, kehadiran katalis dan kondisi proses lainnya. Reaksi Pirolisis dapat dilakukan dengan atau tanpa kehadiran katalis (Chanashetty & Patil, 2015).

Pirolisis pada polimer hidrokarbon memerlukan energi yang besar (suhu tinggi), dan merupakan reaksi endotermis yang berlangsung pada temperatur 350–500 °C, mengikuti reaksi radikal bebas. Pada beberapa penelitian menunjukkan temperatur reaksi mencapai 700–900 °C untuk mendapatkan produk yang diinginkan (Pratiwi & Dahani, 2015).

Proses pirolisis dapat disebut juga dengan proses perengkahan atau *cracking*. *Cracking* adalah proses pemecahan rantai polimer menjadi senyawa dengan berat molekul yang lebih rendah. Hasil dari proses *cracking* plastik ini dapat digunakan sebagai bahan kimia atau bahan bakar (Nazif et al., 2016). Pirolisis adalah suatu metode yang dapat digunakan untuk proses daur ulang plastik dalam skala besar. Manfaat dari pirolisis ini yaitu ramah lingkungan, serta plastik yang bermacam-macam ataupun plastik sisa yang masih baik dapat diproses secara bersamaan. Selain itu, pirolisis dapat dicapai pada unit lokasi yang tidak terbatas, terutama yang dapat mengubah produk cairan menjadi bahan bakar berkualitas tinggi (Erkiaga et al., 2015).

Proses pirolisis terbagi menjadi dua jenis antara lain (Kiswanto, 2017):

### 1) *Thermal Cracking*

*Thermal Cracking* adalah proses pirolisis dengan cara memanaskan bahan polimer tanpa oksigen. Proses ini biasanya dilakukan pada temperatur antara 350 °C sampai 900 °C. Dari proses ini menghasilkan arang, minyak dari kondensasi gas seperti parafin, *iso* parafin, olefin, *naphthene*, dan *aromatik*, serta gas yang memang tidak bisa terkondensasi.

### 2) *Hidro Cracking*

*Hidro Cracking* adalah proses *cracking* dengan mereaksikan plastik dengan hidrokarbon didalam wadah tertutup yang dilengkapi dengan pengaduk pada temperatur antara 432-673 K dengan tekanan hidrogen 3- 10 Mpa.

Dalam pirolisis plastik, parameter dapat mempengaruhi produksi produk akhir seperti minyak cair, gas dan arang. Parameter penting itu dapat diringkas sebagai suhu, jenis reaktor, tekanan dan waktu tinggal, jenis dan laju gas fluidisasi, dan katalis. Produk yang diinginkan dapat dicapai dengan mengontrol parameter pada pengaturan yang berbeda (Sharuddin et al., 2016). Beberapa parameter yang memainkan peran utama dalam mengoptimalkan hasil dan produk komposisi dalam setiap proses pirolisis, antara lain adalah:

#### 1. *Temperature*

Suhu adalah salah satu parameter operasi yang paling signifikan dalam pirolisis karena ia mengontrol reaksi perengkahan polimer rantai (Sharuddin et al., 2016). Berpengaruh pada produk yang dihasilkan, hal ini disebabkan karena semakin bertambahnya suhu maka proses peruraian akan semakin sempurna (Sitorus et al., 2018).

## 2. Tekanan dan Waktu

Tekanan dan waktu juga mengatur kinerja proses pirolisis. Tekanan dan waktu adalah faktor ketergantungan suhu yang mungkin memiliki pengaruh potensial pada distribusi produk pirolisis plastik pada suhu yang lebih rendah. Tekanan yang lebih tinggi meningkatkan hasil produk gas dan mempengaruhi distribusi berat molekul untuk produk cair dan gas tetapi hanya terlihat pada suhu tinggi. Berdasarkan literatur, sebagian besar peneliti melakukan studi pirolisis plastik pada tekanan atmosfer dan lebih berfokus pada faktor suhu. Waktu tidak diperhatikan saat melakukan percobaan sehingga efeknya akan menjadi kurang jelas pada suhu yang lebih tinggi. Selain itu, dalam hal sudut pandang ekonomi, unit tambahan seperti kompresor dan pemancar tekanan perlu ditambahkan ke dalam sistem keseluruhan, sehingga meningkatkan biaya operasi jika faktor tekanan dipertimbangkan. Namun, harus dicatat bahwa kedua faktor ini harus dipertimbangkan berdasarkan preferensi distribusi produk terutama ketika beroperasi pada suhu di bawah 450°C (Sharuddin et al., 2016).

### 2.3 Diesel

Bahan bakar diesel merupakan salah satu hasil minyak bumi yang dimanfaatkan untuk kebutuhan sehari-hari, dimana untuk menghasilkan minyak bumi dilakukan pengolahan minyak mentah dengan cara penyulingan dan lain sebagainya. Pembentukan minyak bumi merupakan kondisi percampuran dari senyawa hidrokarbon yang berasal dari senyawa organik dengan unsur lain (mineral) dalam tekanan dan suhu tinggi.

Bahan bakar diesel merupakan hasil proses penyulingan pada temperatur 200-340 °C. sifat utama bahan bakar diesel yaitu, tidak mudah menguap, berbau

menyengat, berwarna mirip seperti minyak tanah dan Mempunyai titik nyala tinggi (40-100°C), akan terbakar pada suhu 350 °C, berat jenis bahan bakar diesel yaitu 0,82-0,86 kg/l, panas yang dihasilkan besar yaitu sekitar 10.500 kcal/kg, kandungan sulfur dalam bahan bakar diesel lebih besar dari bensin, memiliki rantai hidrokarbon C<sub>14</sub>-C<sub>18</sub> (Iskandar et al., 2021).

Tabel 2. 4 Standar Mutu Bahan Bakar Diesel (Iskandar et al., 2021)

Sifat	Jenis minyak diesel		
	Mesin putaran tinggi	Mesin industri	Mesin putaran rendah dan sedang
Angka setane	≥ 40	≥ 40	≥ 30
Titik didih (°C)	288	288-388	-
Viskositas pada (38° mm <sup>2</sup> /s)	1,4 - 2,5	2,0 – 4,3	5,8 – 26,4
Titik nyala (°C)	≥ 38	≥ 52	≥ 55
Kadar sulfur (% berat)	≥ 0,50	≥ 0,50	≥ 2,0
Kadar air dan endapan (% volume)	≥ 0,05	≥ 0,05	≥ 0,5
Kadar abu (% berat)	≥ 0,01	≥ 0,01	≥ 0,1
Ramsboton residu karbon dalam 10%, residu destilasi (% massa)	≥ 0,15	V 0,035	-

Karakteristik bahan bakar diesel meliputi (Iskandar et al., 2021):

#### 1. Volatilitas (Penguapan)

Penguapan adalah sifat kecenderungan bahan bakar untuk berubah menjadi uap. Pada suhu ruangan tertentu, sebuah zat dengan tekanan uap yang tinggi akan lebih mudah menguap daripada zat yang tekanan uapnya rendah.

#### 2. Titik Nyala

Titik nyala adalah suhu terendah saat bahan bakar dapat menguap untuk membentuk campuran yang bisa menyulut api.

### 3. Viskositas

Viskositas adalah tahanan yang dimiliki fluida yang dialirkan dalam pipa kapiler terhadap gaya gravitasi, dinyatakan dalam waktu yang diperlukan untuk mengalir pada jarak tertentu. Jika viskositas semakin tinggi, maka tahanan untuk mengalir akan semakin tinggi. Karakteristik ini sangat penting karena mempengaruhi kinerja injektor pada mesin diesel. Pada umumnya, bahan bakar harus mempunyai viskositas yang relatif rendah dapat mengalir dan teratomisasi. Hal ini dikarenakan putaran mesin yang cepat membutuhkan injeksi bahan bakar yang cepat pula.

### 4. Kadar Sulfur

Kadar sulfur dalam bahan bakar diesel yang berlebihan dapat menyebabkan terjadinya keausan pada bagian-bagian mesin. Hal ini terjadi karena adanya partikel – partikel padat yang terbentuk ketika terjadi pembakaran.

### 5. Kadar Air

Kandungan air yang terkandung dalam bahan bakar dapat membentuk kristal yang dapat menyumbat aliran bahan bakar.

### 6. Kadar Abu

Kadar abu menyatakan banyaknya jumlah logam yang terkandung dalam bahan bakar. Tingginya konsentrasi dapat menyebabkan penyumbatan pada injeksi, penimbunan sisa pembakaran.

### 7. Kadar Residu Karbon

Kadar residu karbon menunjukkan kadar fraksi hidrokarbon yang mempunyai titik didih lebih tinggi dari bahan bakar, sehingga karbon tertinggal setelah penguapan dan pembakaran bahan bakar.

#### 8. Titik Tuang

Titik tuang adalah temperatur terendah dimana bahan bakar masih dapat dituang atau mengalir bila bahan bakar tersebut didinginkan dengan tanpa diganggu pada kondisi yang ditentukan

#### 9. Kadar Karbon

Kadar karbon menunjukkan banyaknya jumlah karbon yang terdapat dalam bahan bakar.

#### 10. Kadar Hidrogen

Kadar hidrogen menunjukkan banyaknya jumlah karbon yang terdapat dalam bahan bakar.

#### 11. Kadar Setana

Angka setana menunjukkan ukuran suatu bahan bakar yang menunjukkan kualitas dari bahan bakar. Semakin tinggi angka setana maka lebih mudah bahan bakar untuk terbakar dalam kompresi.

#### 12. Nilai Kalor

Nilai kalor menunjukkan jumlah energi yang dilepaskan ketika suatu bahan bakar dibakar secara sempurna dalam suatu proses aliran tunak (*steady*) dan produk dikembalikan lagi kedalam dari reaktan.

#### 13. Massa Jenis

Masa jenis menunjukan besarnya perbandingan antara massa dari suatu bahan bakar dengan volumenya.

### **2.4 Katalis**

Katalis adalah suatu fenomena dimana reaksi kimia mengalami percepatan dikarenakan sedikit zat asing, yang disebut katalis. Katalis yang sesuai dengan

bahannya dapat meningkatkan laju reaksi secara termodinamika, namun tidak dapat mengubah titik kesetimbangannya. Sebagian besar katalis merupakan zat padat atau cairan, tetapi bisa juga berupa gas. Reaksi katalitik adalah proses siklik. Menurut model sederhana, reaktan menjadi kompleks dikarenakan katalis, sehingga membuka jalur transformasi ke dalam produk. Setelah itu, katalis dilepaskan dan tahap selanjutnya dapat berlanjut. Namun, katalis memiliki jangka waktu yang terbatas. Reaksi samping dari produk atau perubahan struktur katalis dapat menyebabkan katalis menjadi tidak berfungsi. Sehingga, katalis harus diaktifkan kembali dengan regenerasi atau diganti dengan yang baru.

Katalis memiliki peran menurunkan kebutuhan energi ketika proses pirolisis. Penurunan kebutuhan energi membuat proses pirolisis lebih cepat dan meningkatkan kualitas serta kuantitas hasil pirolisis. Penggunaan katalis dalam proses pirolisis mampu mempercepat konversi yang menghasilkan minyak dengan kualitas lebih baik. Katalis mampu meningkatkan perekahan yang terjadi dalam proses pirolisis. Rantai hidrokarbon yang panjang mampu dikonversi menjadi gas hidrokarbon lebih cepat sehingga minyak yang terbentuk dari kondensasi akan semakin banyak (Syamsiro et al., 2014).

Menurut Stöcker (2008), cara untuk meningkatkan kualitas minyak pirolisis adalah salah satunya dengan metode katalitik pirolisis. Katalis digunakan untuk menurunkan energi yang terjadi pada proses pembakaran, katalis juga berperan untuk menurunkan konsentrasi klorida (Cl) yang ada pada cairan yang terbentuk sebagai hasil produk pembakaran (Ermawati, 2011).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Jonathan et al. (2003), menunjukkan bahwa abu terbang (*fly ash*) dapat digunakan sebagai katalis dalam pirolisis. Pada

penelitian tersebut menguji perbedaan aktivator katalis dengan menggunakan tiga larutan basa yang berbeda. Hasilnya menunjukkan bahwa ada peningkatan dari setiap penambahan konsentrasi yang digunakan.

Demikian juga hasil pirolisis yang dilakukan oleh (Rahman et al., 2017). Kolaborasi antara variasi suhu dan variasi persen katalis yang digunakan dapat memberikan jumlah hasil pirolisis yang lebih banyak pada suhu tertinggi 400°C dan varian katalis terbesar dengan persen katalis *zeolite* sebesar 7%. Selain itu pada penelitian ini menyebutkan bahwa kualitas yang didapat sudah mencapai standar mutu meski tidak memiliki perbandingan dengan pirolisis tanpa katalis.

## **2.5 Fly ash**

*Fly ash* batubara (*Coal Fly ash*) adalah limbah industri yang dihasilkan dari proses pembakaran yang merupakan campuran heterogen yang kompleks dari fase amorf dan kristal dan umumnya mengandung bahan *ferro aluminosilikat* dengan Al, Ca, Mg, Fe, Na dan Si sebagai elemen dominan. Saat lebih dari 300 ton *Fly ash* batubara diproduksi di seluruh dunia, hanya sekitar 10-30% persen dari *Fly ash* batubara digunakan di seluruh dunia terutama sebagai aditif dalam beton semen dan mengisi struktural dan sisanya harus disimpan dalam kolam atau disimpan di tambang tua, dan tetap menjadi sumber udara, air dan polusi tanah (Mondal et al., 2017).

*Fly ash* atau abu terbang adalah limbah abu hasil dari sisa pembakaran batubara pada PLTU. Limbah abu dihasilkan dari sisa pembakaran batubara pada ruang pembakaran (ketel) yang kemudian disaring oleh *electrostatic precipitator* (ESP) sebelum dibuang ke udara. Pada pembakaran batubara tersebut, terdapat dua jenis limbah abu yang dihasilkan yaitu *fly ash* dan *bottom ash*. Perbedaan pada dua jenis

limbah abu ini adalah *bottom ash* memiliki bobot dan ukuran yang lebih besar dibandingkan dengan *fly ash*. Karena ukuran dan bobotnya yang ringan, *fly ash* yang terbang ke udara kemudian akan disaring oleh ESP (Rambe et al., 2018).

*Fly ash* (abu terbang batubara) merupakan salah satu material yang dapat digunakan sebagai katalis dalam pembuatan bahan bakar minyak (Stoch, 2015). *Fly ash* (abu terbang batubara) merupakan limbah industri yang pada umumnya dibuang di *landfill* atau ditumpuk begitu saja di dalam area industri. Penumpukkan *fly ash* akan menimbulkan masalah bagi lingkungan karena menghasilkan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Untuk itu diperlukan suatu upaya pemanfaatan limbah *fly ash* ini agar mampu meningkatkan nilai ekonomisnya serta mengurangi dampak buruknya terhadap lingkungan (Ghofur et al., 2014).

Silika dapat ditemukan pada makhluk hidup berupa *amorf* dan dapat ditemukan pada bebatuan berbentuk kristalin. Sedangkan *Fly ash* memiliki kandungan silika yang sangat tinggi, sehingga *Fly ash* dapat menjadi katalis dalam pirolisis karena mengandung  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  yang cukup tinggi.  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  merupakan bahan utama pembuatan katalis pirolisis (Prianto et al., 2019).

*Fly ash* juga termasuk limbah batu bara yang tidak mudah terurai dan kebanyakan *fly ash* hanya disimpan sehingga dapat mengakibatkan polusi udara, tanah, dll. Maka dari itu penelitian ini menggunakan katalis dari limbah *fly ash* agar dapat memanfaatkan limbah *fly ash*. Selain itu juga katalis pada umumnya memiliki bahan baku dan proses pembuatan yang mahal sehingga cukup sulit jika penggunaan katalis ini diterapkan untuk pirolisis di masyarakat. Dengan begitu alternatif yang dapat digunakan sebagai katalis adalah *fly ash* karena kandungan silikanya yang tinggi.

Sebagai salah satu PLTU yang terbesar di Indonesia, Paiton menghasilkan limbah abu yang tidak sedikit tiap harinya. Dalam sehari bisa menghasilkan 500-1000 ton limbah abu. Banyak-nya limbah abu yang dihasilkan dapat membuat polusi di kawasan PLTU Paiton tersebut sehingga dapat berdampak pada kesehatan manusia dan juga performa alat-alat listrik PLTU Paiton. Pada Tabel 2.8 merupakan data kandungan limbah abu yang terdapat pada PLTU Paiton Unit 9 (Rambe et al., 2018).

Tabel 2. 5 Kandungan *Fly ash* dan *Bottom ash* Paiton

No.	Kandungan	Hasil (%)	
		<i>Fly ash</i>	<i>Bottom ash</i>
1	SiO <sub>2</sub>	46.96	51.74
2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.13	4.26
3	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.02	5.14
4	CaO	4.31	9.04
5	Na <sub>2</sub> O	0.09	0.10
6	K <sub>2</sub> O	0.10	0.17
7	MgO	3.35	4.82
8	SO <sub>3</sub>	2.77	1.05
9	LOI	1.30	5.71

*Fly ash* adalah residu halus yang terdiri dari partikel yang tidak terbakar yang mengeras saat tersuspensi dalam gas buang. *Fly ash* dibawa dalam tumpukan gas dari unit boiler, dan dikumpulkan dengan metode mekanis atau *presipitator elektrostatik*. Karena dikumpulkan dari gas buang, *fly ash* terdiri dari partikel butiran halus berbentuk bulat dalam kisaran 0,074 hingga 0,005 mm (Upadhyay & Kamal, 2007).

*Fly ash* dapat berwarna abu-abu gelap, tergantung adanya konstituen kimia dan mineral. Warna gelap dan warna terang biasanya terkait dengan kandungan kapur

tinggi. Warna kecoklatan biasanya terkait dengan konten besi. Warna abu-abu gelap menjadi hitam biasanya dikaitkan dengan peningkatan kandungan karbon yang tidak terbakar. Warna abu terbang biasanya sangat konsisten untuk setiap pembangkit listrik termal dan batubara (American Coal Ash Association, 2013).

Sifat kimia dari *fly ash* sangat mempengaruhi dampak lingkungan yang mungkin timbul dari penggunaan/pembuangannya. Dampak buruk tersebut adalah adanya kontaminasi di permukaan air dan tanah dengan logam berat beracun yang terkandung dalam abu batubara, hilangnya kesuburan tanah di sekitar lokasi pabrik, dan lain-lain. Keragaman sifat kimia dan fisik dari *fly ash* tergantung pada beberapa faktor seperti jenis batubara dan sumber, jenis *boiler*, kondisi selama pembakaran, jenis perangkat kontrol emisi, dan penyimpanan dan metode penanganan (Upadhyay & Kamal, 2007).

## **2.6 Penelitian Sebelumnya**

Telah diketahui bahwa sudah banyak penelitian mengenai pengolahan limbah plastik dengan metode pirolisis yang dilakukan oleh Endang et al., (2016), hasil yang didapatkan yaitu minyak pirolisis terbanyak dari sampah plastik *PP* diperoleh dari proses pirolisis suhu 400 °C sedangkan sampah plastik *LDPE* diperoleh dari proses pirolisis suhu 300 °C. Nilai densitas minyak hasil pirolisis plastik jenis *PP* dan *LDPE* mendekati nilai densitas dari minyak tanah dan solar. Nilai viskositas minyak hasil pirolisis *PP* dan *LDPE* mendekati nilai viskositas bensin. Nilai kalor minyak pirolisis hasil pirolisis *PP* mendekati nilai kalor solar sedangkan nilai kalor hasil pirolisis *LDPE* mendekati nilai kalor solar. Nilai kalor pirolisis sampah plastik jenis *PP* dan *LDPE* meningkat dengan peningkatan suhu dinding reactor.

Kemudian penelitian dari Wicaksono & Arijanto (2017) hasil yang diperoleh yaitu Suhu pirolisis pada *PET* berlangsung efektif pada temperature  $> 250$  °C. Oil yang didapat pada pengujian parallel flow lebih banyak dibandingkan dengan counter flow. Volume oil pada proses pirolisis yang paling banyak yaitu pada suhu 260 °C -350 °C Kondensor 1 lebih banyak menghasilkan oil dibandingkan kondensor 2. Minyak yang dihasilkan kondensor 2 lebih murni karna mengandung materi hidrokarbon yang lebih ringan.

Penelitian lainnya yaitu tentang proses pirolisis menggunakan katalis yang bertujuan untuk mendapatkan kondisi proses terbaik dalam pembuatan bahan bakar minyak (BBM) yang berbahan baku sampah plastik dan katalis *fly ash*. Hasil yang didapatkan yaitu kenaikan suhu dalam proses pirolisis dapat menaikkan jumlah bahan bakar minyak sampai titik suhu dimana produksi gas yang sulit terkondensasi lebih banyak sehingga peningkatan suhu pirolisis lebih lanjut akan menurunkan jumlah bahan bakar minyak. Dan juga jumlah katalis yang digunakan berpengaruh dengan hasil minyak yang didapatkan. Katalis dalam jumlah yang berlebih dapat memproduksi lebih banyak gas sulit terkondensasi yang menyebabkan peningkatan jumlah katalis lebih lanjut akan menurunkan jumlah bahan bakar minyak. Hasil paling banyak yang didapatkan dalam penelitian ini yaitu pada proses pirolisis menggunakan katalis 40% dan dengan suhu proses 400 °C dengan jumlah minyak sebanyak 70 ml. Pada proses pirolisis tanpa katalis jumlah bahan bakar minyak tertinggi didapat pada suhu proses 350 °C yaitu sebesar 47 ml (Rambe et al., 2018).

## **2.7 Kerangka Berpikir**

Peningkatan kuantitas sampah kota merupakan konsekuensi logis dari perkembangan kota. Peningkatan penggunaan plastik untuk keperluan rumah

angga berdampak pada peningkatan timbunan sampah plastik. Sampah plastik yang tidak terpungut oleh pemulung, penanganannya tidak bisa dilakukan dengan metode *landfill* atau *open dump*. Pemusnahan sampah plastik dengan cara pembakaran (*incineration*), kurang efektif dan beresiko sebab dengan pembakaran munculnya polutan dari emisi gas buang (CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, dan SO<sub>x</sub>) dan beberapa partikulat pencemar lainnya sehingga diperlukan cara pengolahan lain untuk mengolah sampah plastik.

Perlu adanya alternatif proses daur ulang yang lebih menjanjikan dan berprospek ke depan. Salah satunya mengonversi sampah plastik menjadi minyak. Hal ini bisa dilakukan karena pada dasarnya plastik berasal dari minyak bumi, sehingga tinggal dikembalikan ke bentuk semula. Selain itu plastik juga mempunyai nilai kalor cukup tinggi, setara dengan bahan bakar fosil seperti bensin dan solar. Beberapa penelitian seputar konversi sampah plastik menjadi produk cair berkualitas bahan bakar telah dilakukan dan menunjukkan hasil yang cukup prospektif untuk dikembangkan. Perlu dicari data-data kinetika pirolisis dan penentuan kondisi operasi yang sesuai.

Pirolisis adalah proses fraksinasi material oleh suhu. Proses pirolisis dimulai pada temperatur sekitar 230 °C, ketika komponen yang tidak stabil secara termal, dan *volatile matters* pada sampah akan pecah dan menguap bersamaan dengan komponen lainnya. Produk cair yang menguap mengandung tar dan *polyaromatik hidrokarbon*. Plastik merupakan polimer yang berat molekulnya tidak bisa ditentukan, ataupun dihitung. Karena itu, kecepatan reaksi dekomposisi didasarkan pada perubahan massa atau fraksi massa per satuan waktu. Produk pirolisis selain dipengaruhi oleh suhu dan waktu, juga oleh laju pemanasan.

Ada kalanya produk dari pirolisis tidak sesuai dengan keinginan seperti jumlahnya yang sedikit dan kualitas yang buruk. Pada pirolisis dapat dinaikkan kualitas dan kuantitasnya dengan menambahkan katalis dalam Keberadaan katalis dapat menurunkan kebutuhan energinya dan dapat menghasilkan formasi hidrokarbon yang lebih banyak sehingga pirolisis berjalan lebih efisien. Pada penelitian Firman et al., (2016), menjelaskan bahwa semakin luas permukaan katalis yang digunakan maka akan semakin banyak kontak yang terjadi dengan katalis ketika proses pirolisis sedang berlangsung. Hal tersebut akan membuat minyak hasil pirolisis semakin banyak.

Katalis yang digunakan dalam penelitian kali ini yaitu *fly ash*, *Fly ash* merupakan salah satu material yang dapat digunakan sebagai katalis dalam pembuatan bahan bakar minyak. Katalis mampu mempercepat proses dan menurunkan temperatur pirolisis sehingga lebih hemat energi. Selain itu, katalis juga mampu meningkatkan kualitas produk yang dihasilkan sehingga tidak memerlukan tahap pemrosesan lebih lanjut.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian yang berjudul “Pengaruh *Fly ash* Terhadap Karakteristik Bahan Bakar Diesel Dari Limbah Plastik” dilaksanakan pada bulan 6 juli 2023 di bengkel Elang Jaya Metalindo (EJM) Karangenom Klaten Jawa Tengah.

#### **3.2 Jenis Penelitian**

Jenis penelitian yang dilaksanakan kali ini adalah penelitian yang bersifat eksperimen sekaligus menganalisa karakteristik pada bahan bakar diesel dan pengaruh katalis berupa *fly ash* hasil dari limbah plastik. Objek pada penelitian ini menggunakan limbah plastik jenis *HDPE (High Density Polyethylene)* dan limbah *fly ash* dari Paiton.

#### **3.3 Alat dan Bahan**

##### **3.3.1 Alat Penelitian**

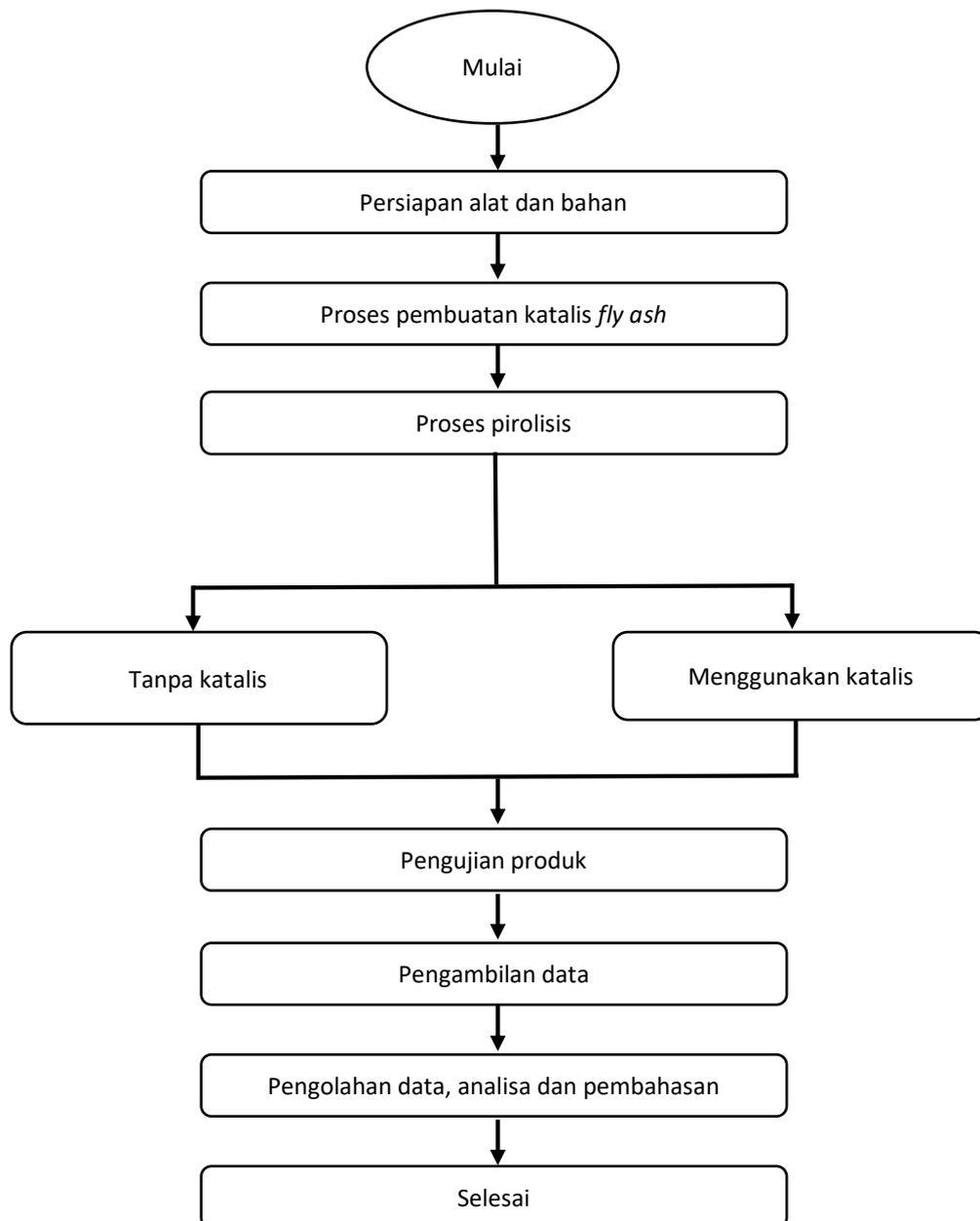
Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Alat Pirolisis
2. Kompor
3. Tabung Gas 3Kg
4. Tempat Penampungan Minyak
5. Ayakan 40-60 *mesh*
6. Oven
7. Gelas Ukur

### 3.3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sampah plastik jenis *HDPE (High Density Polyethylene)*. Dan menggunakan katalis berupa *fly ash* (abu terbang) limbah padat yang dihasilkan dari pembakaran batu bara pada pembangkit tenaga listrik yang diperoleh dari PLTU Paiton.

### 3.4 Diagram Alir

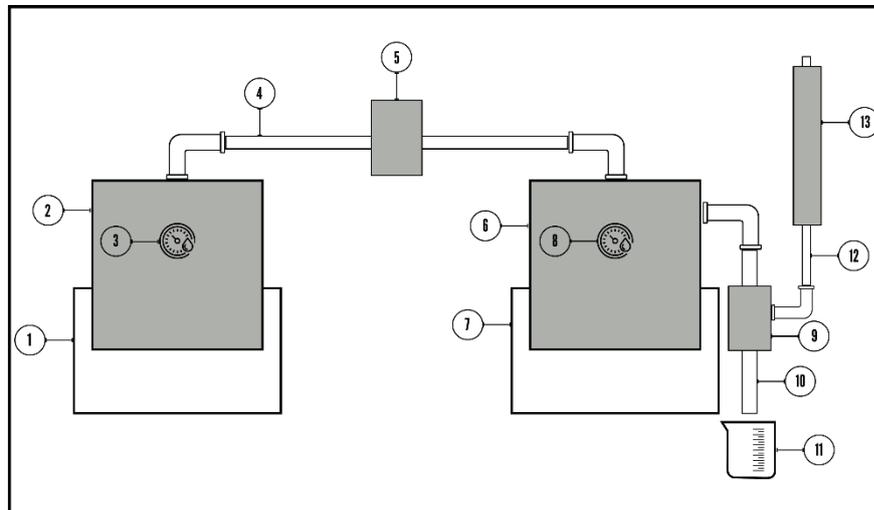


Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

### 3.5 Prosedur Penelitian

#### 3.5.1 Skema Alat Penelitian

Skema alat penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.2 sebagai berikut:



Gambar 3. 2 Skema Alat Penelitian

Keterangan:

1. Kompor 1, sebagai pemanas reaktor pertama
2. Reaktor pertama, untuk tempat pembakaran sampah plastik
3. Indikator Suhu reaktor pertama, untuk mengetahui suhu yang ada didalam reaktor pertama
4. Pipa, untuk mengalirkan uap dan minyak hasil pirolisis dari tabung reaktor pertama ke tabung reaktor kedua
5. Filter dan siklus udara, sebagai penyaring uap yang akan dikeluarkan
6. Reaktor kedua, untuk tempat pembakaran hasil pirolisis reaktor pertama
7. Kompor 2, sebagai pemanas reaktor kedua
8. Indikator Suhu reaktor kedua, untuk mengetahui suhu yang ada didalam reaktor kedua

9. Filter dan siklus udara, sebagai penyaring uap yang akan dikeluarkan
10. Pipa, untuk mengalirkan hasil pirolisis yang sudah menjadi minyak
11. Penampung minyak hasil pirolisis
12. Pipa, untuk pembuangan uap dari tabung reaktor kedua
13. Filter dan siklus udara, sebagai penyaring uap yang akan dikeluarkan

### **3.5.2 Proses Pembuatan Katalis *Fly ash***

1. *Fly ash* digerus menggunakan lumpung & alu.
2. *Fly ash* yang sudah dihaluskan diayak menggunakan ayakan 40-60 *mmesh*.
3. *Fly ash* dioven dengan suhu 110 °C selama 2 jam untuk mengurangi kadar air dari *fly ash*.

### **3.5.3 Proses Pembuatan Diesel berbahan sampah plastik**

#### **3.5.3.1 Tidak Menggunakan Katalis**

1. Sampah plastik yang digunakan dicacah terlebih dahulu kemudian dibersihkan dan dikeringkan
2. Limbah plastik dimasukkan ke dalam reaktor pertama dengan berat yang sudah ditentukan tanpa menggunakan *fly ash* dan ditutup rapat sehingga tidak ada kontak langsung dengan udara.
3. Dipanaskan hingga mencapai suhu yang sudah ditentukan.
4. Hasil minyak dari reaktor pertama dimasukkan ke dalam reaktor kedua.
5. Dipanaskan hingga mencapai suhu yang sudah ditentukan.
6. Dicatat waktu, tekanan dan volume hasil produk yang keluar.

### 3.5.3.2 Menggunakan Katalis

1. Sampah plastik yang digunakan dicacah terlebih dahulu kemudian dibersihkan dan dikeringkan.
2. Limbah plastik dimasukkan kedalam reaktor pertama dengan berat yang sudah ditentukan.
3. Ditambahkan katalis *fly ash* kedalam reaktor pertama dengan berat yang sudah ditentukan dan ditutup rapat sehingga tidak ada kontak langsung dengan udara.
4. Dipanaskan hingga mencapai suhu yang sudah ditentukan.
5. Hasil minyak dari reaktor pertama dimasukkan ke dalam reaktor kedua dan ditutup rapat sehingga tidak ada kontak langsung dengan udara.
6. Dipanaskan hingga mencapai suhu yang sudah ditentukan.
7. Dicatat waktu, tekanan dan volume hasil produk yang keluar.

## 3.6 Analisis Data

### 3.6.1 Penentuan *Yield* Diesel

*Yield* adalah perbandingan antara berat minyak hasil pirolisis terhadap berat bahan mula-mula. *Yield* dapat diketahui menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$yield = \frac{\text{berat minyak hasil pirolisis}}{\text{berat bahan mula - mula}} \times 100\% = \frac{m_t}{m_0} \times 100\%$$

### 3.6.2 Analisis Spektrum FTIR Diesel

Analisis uji spektrum FTIR dilakukan pengujian di CV. Itharari Solisindo Asia.

### 3.6.3 Uji Karakteristik Diesel

Kandungan karkteristik diesel yang akan diuji dan dibandingkan dengan standar mutu bahan bakar diesel disajikan dalam tabel dibawah ini:

<i>Sample</i>	<b>Viskositas</b>	<b>Densitas</b>	<b>Titik Nyala</b>	<b>Titik Beku</b>	<b>Nilai Kalor</b>	<i>Yield</i>
Non Katalis						
Katalis						

#### 3.6.3.1 Analisis Viskositas

Analisis uji Viskositas dilakukan pengujian di PT. Sucofindo Laboratorium.

#### 3.6.3.2 Analisis Densitas

Analisis uji Titik Nyala dilakukan pengujian di PT. Sucofindo Laboratorium.

#### 3.6.3.3 Analisis Nilai Kalor

Analisis uji nilai kalor dilakukan pengujian di CV. Itharari Solusindo Asia.

#### 3.6.3.4 Analisis Titik Nyala

Analisis uji Titik Nyala dilakukan pengujian di PT. Sucofindo Laboratorium.

### **3.6.3.5 Analisis Titik Beku**

Analisis uji titik beku dilakukan pengujian di CV. Itharari Solusindo Asia.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Data Hasil Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada analisis karakteristik diesel hasil dari pirolisis sampah plastik jenis *HDPE (High Density Polyethylene)*, menggunakan metode eksperimen di bengkel Elang Jaya Metalindo (EJM) Karangenom Klaten Jawa Tengah, karena data yang diambil langsung dari objek penelitian. *Sample* yang digunakan adalah sampah plastik berupa botol bekas oli yang berjenis *HDPE (High Density Polyethylene)*. Botol dibersihkan terlebih dahulu kemudian dicacah +- 4cm, setelah itu dicuci hingga benar benar bersih dan dijemur hingga kering tidak ada minyak atau air yang menempel. Botol oli yang digunakan dalam percobaan ini membutuhkan 2kg setiap pembakaran.

*Sample* yang pertama tidak menggunakan katalis *fly ash* dan *sample* yang kedua menggunakan katalis *fly ash*. Untuk mengurangi kadar air dalam *fly ash*, *fly ash* diayak terlebih dahulu menggunakan ayakan 40-60 *mesh*, kemudian dipanaskan menggunakan oven selama 120 menit dengan suhu 110° C. *Fly ash* yang digunakan untuk katalis pada *sample* kedua yaitu 20% dari berat sampah plastik yang digunakan. Proses setiap pembakaran direaktor pertama membutuhkan waktu 120 menit dengan suhu maximal 300° C. Kemudian hasil minyak dari pembakaran reaktor pertama dibakar kembali direaktor kedua dengan waktu 90 menit dengan suhu tetap 250 °C. Minyak hasil dari proses pirolisis tersebut kemudian dikarakterisasi dengan menentukan viskositas, densitas, titik nyala, titik beku, dan nilai kalornya. Nilai hasil karakterisasi selanjutnya dibandingkan dengan Standar Mutu Dirjen Migas (No. 146.K/10/DJM/2020) untuk mengetahui kualitas bahan

bakar tersebut. Sebelum itu, bahan bakar minyak yang dihasilkan diuji strukturnya dengan FTIR kemudian dibandingkan dengan spektrum FTIR solar untuk mengetahui hasil dari minyak penelitian ini memiliki bilangan gelombang yang sama dengan yang dimiliki oleh minyak solar.

#### 4.1.1 Data Hasil Presentase Yield Diesel

Persentase *yield* merupakan suatu parameter yang penting untuk mengetahui nilai ekonomis dan efektivitas suatu proses produksi atau bahan. Dengan mengetahui persentase *yield* diesel, maka dapat mengetahui seberapa ekonomis proses pembuatan diesel dengan metode yang diterapkan. Data hasil penelitian mengenai persentase *yield* diesel yang dihasilkan dari hasil pirolisis sampah plastik dipresentasikan pada tabel 4.1 dan 4.2 sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan Yield Diesel

Perlakuan	Berat Hasil Minyak Reaktor 1	Berat Bahan Mula-Mula (Sampah Plastik)	<i>Yield</i> Diesel
Non Katalis	1.736 gram	2000 gram	86,8%
Katalis	1.587 gram	2000 gram	79,3%

Persentase *yield* pada tabel diatas yaitu perbandingan antara berat minyak yang dihasilkan dalam reaktor pirolisis pada proses pertama dengan berat bahan mula-mula yaitu sampah plastik. Karena terdapat dua kali proses sehingga mendapatkan hasil minyak lebih banyak dari pada hasil pirolisis pada proses pertama. Namun dalam proses pirolisis pertama menghasilkan minyak yang belum sempurna, dimana minyak tersebut akan membeku pada suhu ruangan.

Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Yield Diesel

Perlakuan	Berat Hasil Minyak Reaktor 2	Berat Bahan Mula-Mula (Sampah Plastik)	<i>Yield</i> Diesel
Non Katalis	1.699 gram	2000 gram	83,4%
Katalis	1.706 gram	2000 gram	85,3%

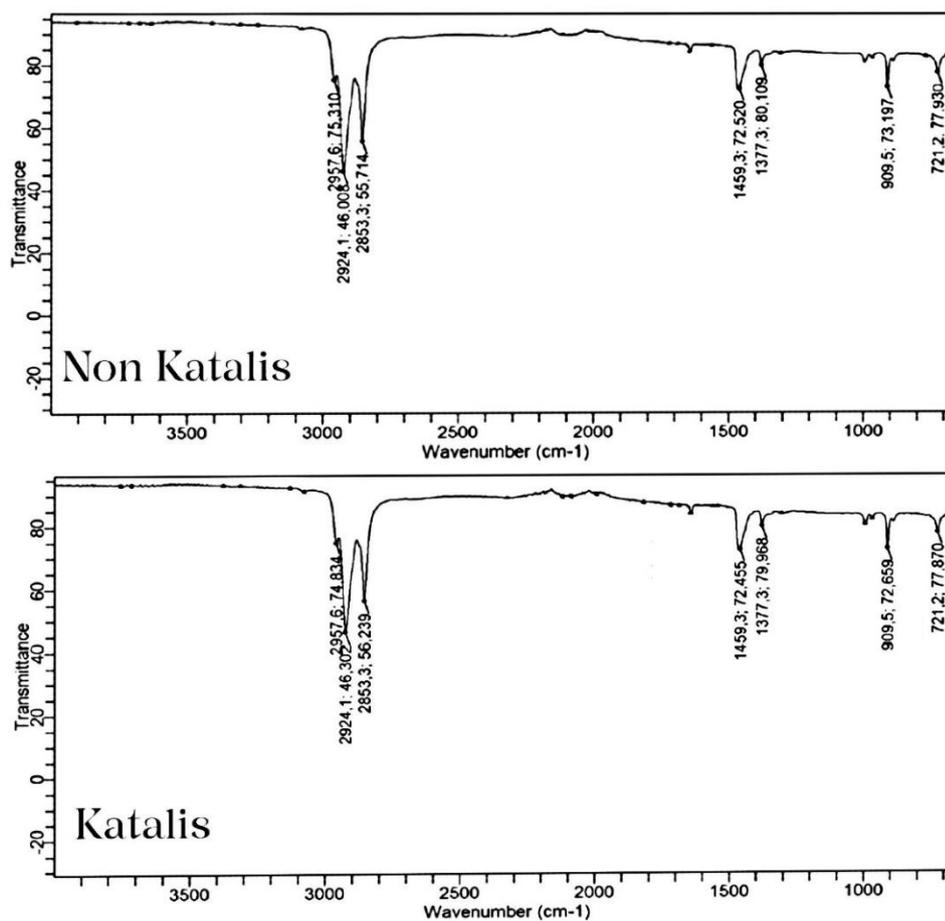
Presentase *yield* pada tabel diatas adalah perbandingan antara jumlah berat minyak pada proses pirolisis kedua dengan berat bahan mula-mula yaitu sampah plastik. Pada proses ini hasil minyak yang didapatkan sudah tidak membeku pada suhu ruang. Sehingga hasil minyak pada proses kedua yang akan diuji karakteristiknya. Pada tabel diatas dapat diketahui bahwa presentase *yield* pada sample yang menggunakan katalis lebih tinggi dari pada sample yang tidak menggunakan katalis. Artinya pada proses yang kedua sampel yang menggunakan katalis menghasilkan lebih banyak minyak dari pada hasil minyak di reaktor pertama.

Pada tabel 4.1 presentase yang dihasilkan lebih tinggi *sample* yang tidak menggunakan katalis dikarenakan pada proses pirolisis pertama hasil minyak lebih banyak yang tidak menggunakan katalis. Sedangkan pada tabel 4.2 *sample* yang menggunakan katalis mendapatkan nilai presentase *yield* lebih tinggi. Pada proses pirolisis kedua, *sample* yang menggunakan katalis menghasilkan minyak dengan volume lebih banyak. Pada proses pirolisis kedua dimana proses tersebut membakar ulang hasil minyak pada pirolisis pertama, dengan hasil minyak lebih banyak dari pada hasil minyak pirolisis pertama. Sehingga hasil presentase *yield* di proses pirolisis kedua lebih tinggi nilainya.

#### **4.1.2 Data Hasil Spektrum FTIR Diesel**

Bahan bakar yang dihasilkan dari penelitian ini kemudian diuji dengan metode FTIR. Dimana pengujian FTIR ini digunakan untuk mengetahui gugus fungsi senyawa yang tergantung pada bahan bakar minyak yang dihasilkan. Bahan baku solar berawal dari minyak bumi, dimana minyak bumi merupakan senyawa hidrokarbon yang berasal dari zat hidup seperti tumbuh-tumbuhan,

hewan dan manusia. Kemudian zat hidup tersebut mengalami pemecahan atau decomposisi yang membentuk senyawa hidrokarbon. Sehingga kandungan utama pada solar yaitu hidrokarbon jenuh dan aromatik. Plot grafik hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Plot Grafik FTIR Diesel Pirolisis Limbah Plastik

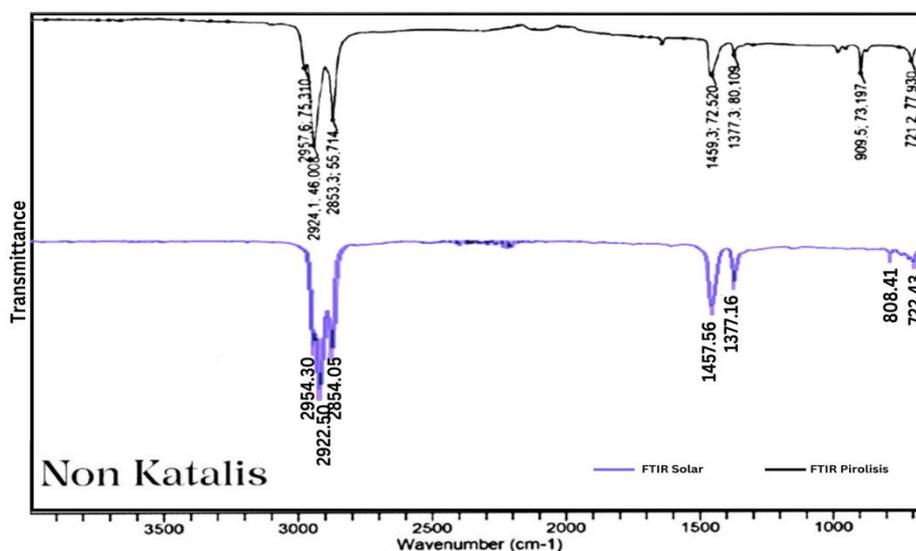
Hasil pembacaan spektrum menggunakan FTIR ditunjukkan pada tabel 4.3

Tabel 4. 3 Bilangan Gelombang, Gugus Fungsi, dan Nama senyawa FTIR Diesel

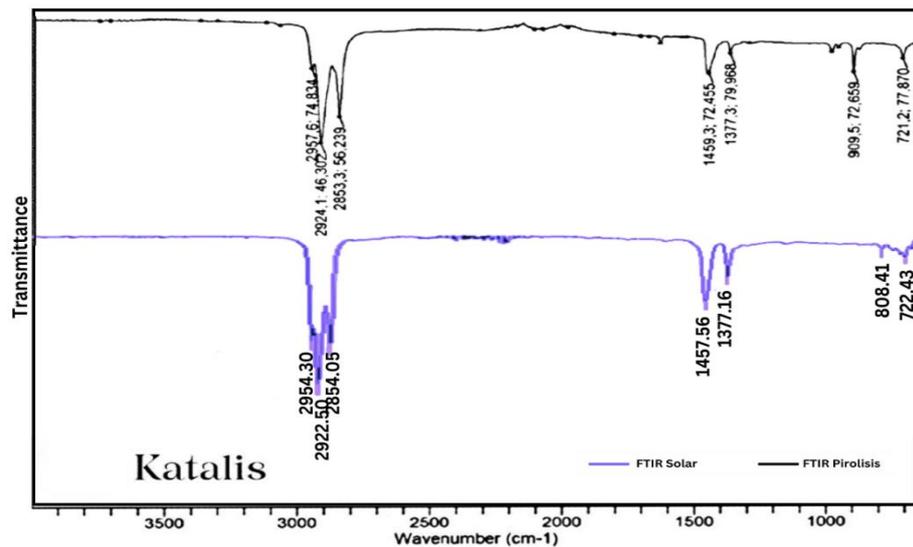
Nama Sample	Bilangan Gelombang (cm <sup>-1</sup> )	Gugus Fungsi	Nama Senyawa
Non Katalis	2853 – 2957 cm <sup>-1</sup>	C – H	Hidrokarbon
	1377,3 – 1459,3 cm <sup>-1</sup>	C – C	Aromatik Group
	909,5 ; 72,659 cm <sup>-1</sup>	- CH <sub>2</sub> – CHO	Aldehydes Group
	721 cm <sup>-1</sup>		Aromatik Compound

Katalis	2853 – 2957 $\text{cm}^{-1}$	C – H	Hidrokarbon
	1377,3 – 1459,3 $\text{cm}^{-1}$	C – C	Aromatik Group
	909,5 ; 72,659 $\text{cm}^{-1}$	- CH <sub>2</sub> – CHO	Aldehydes Group
	721 $\text{cm}^{-1}$		Aromatik Compound

Berdasarkan tabel 4.3 gugus fungsi yang terbentuk pada *sample* keduanya menunjukkan bahwa *sample* memiliki gugus fungsi dan puncak-puncak transmittansi yang hampir sama. Gugus fungsi C – H terdeteksi pada bilangan gelombang 2853 – 2957  $\text{cm}^{-1}$ , dan gugus fungsi C – C terdeteksi pada bilangan gelombang 1377,3 – 1459,3  $\text{cm}^{-1}$ , gugus fungsi - CH<sub>2</sub> – CHO terdeteksi pada bilangan gelombang 909,5 ; 72,659  $\text{cm}^{-1}$ , dan pada bilangan gelombang 721  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan senyawa *aromatic compound*. Pada gambar 4.2 berikut ini menunjukkan hasil spektrum FTIR yang dimiliki oleh solar (A Marcos dkk, 2017) dan FTIR minyak pirolisis.



Gambar 4. 2 Plot Grafik FTIR Solar dan FTIR Diesel Pirolisis Limbah Plastik Tidak menggunakan katalis



Gambar 4. 3 Plot Grafik FTIR Solar dan FTIR Diesel Pirolisis Limbah Plastik Menggunakan Katalis

Grafik diatas adalah grafik spektrum FTIR solar dengan spektrum FTIR diesel hasil pirolisis, dimana pada grafik diatas memiliki bilangan gelombang yang hampir sama dengan bilangan gelombang yang dimiliki oleh diesel hasil pirolisis. Sehingga hasil minyak yang didapatkan pada penelitian ini dapat dikatakan berupa bahan bakar diesel jenis solar.

#### 4.1.3 Data Hasil Analisa Karakteristik Diesel

Diesel yang sudah teridentifikasi dengan adanya uji FTIR, maka langkah selanjutnya dilakukan karakterisasi disel yang dihasilkan tersebut. Berdasarkan uji tersebut, maka diperoleh hasil sebagai berikut:

##### 4.1.3.1 Viskositas Diesel

Viskositas kinematik secara konvensional diukur pada temperatur standar 40°C dan 100°C seperti pada ASTM D 445. Karakteristik viskositas sangat penting dalam bahan bakar diesel karena akan mempengaruhi kinerja injektor pada mesin diesel. Karakteristik ini juga merupakan salah satu parameter keberhasilan dalam pembuatan bahan

bakar diesel. Syarat viskositas kinematik diesel sesuai dengan spesifikasi SNI adalah 2,0 – 4,5 mm<sup>2</sup>/s. Data hasil pengujian viskositas diesel diperoleh pada tabel 4.4 sebagai berikut:

Tabel 4. 4 Data Hasil Viskositas Diesel

<i>Sample</i>	Viskositas 40° C Diesel	SNI	Metode Uji
Non Katalis	2,138 mm <sup>2</sup> /s (cSt)	2,0 – 4,5 mm <sup>2</sup> /s (cSt)	ASTM D 445
Katalis	2,446 mm <sup>2</sup> /s (cSt)		

Tabel 4.4 Diatas menunjukkan bahwa penambahan katalis dapat berpengaruh pada karakteristik viskositas diesel dengan jenis solar. Dari tabel hasil data diatas menunjukkan bahwa nilai viskositas keduanya adalah 2,138 mm<sup>2</sup>/s (cSt) dan 2,446 mm<sup>2</sup>/s (cSt) yang artinya hasil nilai viskositas pada minyak pirolisis sampah plastik keduanya masuk dalam SNI.

#### 4.1.3.2 Densitas (Massa Jenis) Diesel

Densitas menunjukkan besarnya perbandingan antara massa dari suatu bahan bakar dengan volumenya. Dikarenakan setiap zat memiliki densitas yang berbeda sehingga perlu adanya pengujian densitas. Semakin tinggi nilai densitasnya maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Densitas pada bahan bakar diesel menurut SNI yaitu 815 – 870 kg/m<sup>3</sup> dengan metode uji ASTM D 1298. Tabel 4.5 Berikut ini adalah hasil pengujian densitas diesel yang diperoleh.

Tabel 4. 5 Data Hasil Densitas Diesel

<i>Sample</i>	Densitas 15° C Diesel	SNI	Metode Uji
Non Katalis	791 kg/m <sup>3</sup>	815 – 870 kg/m <sup>3</sup>	ASTM D 1298
Katalis	796 kg/m <sup>3</sup>		

Dari tabel diatas diketahui bahwa densitas minyak hasil pirolisis dengan menggunakan katalis mendapatkan nilai densitas lebih tinggi dari pada yang tidak menggunakan katalis. Nilai dari kedua *sample* hampir mendekati standar mutu. Nilai densitas ini juga berpengaruh terhadap viskositas, semakin rendah nilai viskositas maka nilai densitas juga semakin rendah. Pada tabel diatas diketahui bahwa nilai densitas pada *sample* yang menggunakan katalis lebih tinggi, artinya dalam penambahan katalis berpengaruh pada karakteristik minyak yang dihasilkan lebih bagus.

#### 4.1.3.3 Titik Nyala Diesel

Titik nyala adalah suhu terendah dari bahan bakar minyak dimana dapat menimbulkan penyalaan api sesaat, apabila pada permukaan minyak tersebut didekatkan dengan api. Titik nyala juga perlu diujikan dikarenakan untuk menjaga keamanan dari penimbunan minyak dan pengangkutan terhadap bahaya kebakaran. Titik nyala api pada bahan bakar diesel menurut standar SNI minimal 52°C dengan metode uji ASTM D 93. Hasil pengujian titik nyala pada diesel diperoleh pada tabel 4.6 sebagai berikut:

Tabel 4. 6 Data Hasil Titik Nyala Diesel

<i>Sample</i>	Titik Nyala Diesel	SNI	Metode Uji
Non Katalis	28°C	Min 52°C	ASTM D 93
Katalis	28°C		

Tabel 4.6 Diatas menunjukkan hasil uji titik nyala dari bahan bakar diesel dimana nilai titik nyala disetiap *sampelnya* menunjukkan nilai yang sama dan titik nyala bahan bakar diesel menurut standar SNI

minimal 52°C dimana nilai hasil bahan bakar diesel lebih rendah daripada minimum nilai SNI yang tertera pada tabel. Titik nyala pada suatu bahan bakar juga disebabkan oleh besarnya nilai viskositas, apabila viskositas minyak tersebut rendah maka titik nyala pada bahan bakar tersebut juga akan rendah karena bahan bakar tersebut lebih encer.

#### 4.1.3.4 Titik Beku Diesel

Titik beku pada bahan bakar juga salah satu parameter yang diuji dalam penelitian ini. Dimana titik beku adalah temperatur terendah pada bahan bakar minyak yang sudah tidak dapat mengalir lagi. titik beku dalam bahan bakar minyak ini digunakan untuk menjaga aliran bahan bakar pada mesin yang digunakan agar tidak mengganggu proses kerja mesin yang digunakan. Berdasarkan SNI ambang batas titik beku pada bahan bakar minyak diesel maksimum 18°C dengan metode uji ASTM D 2500. Hasil pengujian titik beku diesel diperoleh pada tabel 4.7 Sebagai berikut:

Tabel 4. 7 Data Hasil Titik Beku Biodiesel

<i>Sample</i>	Titik Beku Diesel	SNI	Metode Uji
Non Katalis	12°C	Maks	ASTM D
Katalis	16°C	18°C	2500

Hasil pengukuran pada tabel diatas menunjukkan nilai titik beku hasil pirolisis pada *Sample* Katalis 16°C dan untuk nilai titik beku *Sample* Non-Katalis didapat sebesar 12°C, dimana nilai titik beku menurut SNI yaitu maksimal 18°C artinya hasil nilai titik beku dari bahan bakar diesel pirolisis dibawah standar maksimum nilai bahan bakar diesel menurut SNI. Sehingga produk bahan bakar diesel dari hasil penelitian ini akan

mulai membeku pada temperatur lebih rendah dibandingkan nilai titik beku menurut SNI. Jika nilai titik beku semakin tinggi maka proses membekunya bahan bakar tersebut akan semakin cepat.

#### 4.1.3.5 Nilai Kalor Diesel

Nilai kalor menunjukkan jumlah energi yang dilepaskan ketika suatu bahan bakar dibakar secara sempurna. Nilai kalor juga dapat didefinisikan sebagai energi kalor yang dikandung tiap satuan massa bahan bakar (Wibowo, 2016). Pengujian parameter nilai kalor ini bertujuan untuk mengetahui berapa nilai kalor bahan bakar tersebut yang akan dibandingkan dengan nilai kalor bahan bakar pada standar SNI. Hasil pengujian nilai kalor diesel diperoleh pada tabel 4.8 Sebagai berikut:

Tabel 4. 8 Data Hasil Nilai Kalor Diesel

<i>Sample</i>	Nilai Kalor Diesel	SNI
Non Katalis	11.029 kal/gr atau 46.1762 MJ/kg	45.6 MJ/kg
Katalis	11.235 kal/gr atau 47.0387 MJ/kg	

Tabel 4.8 Menunjukkan hasil pengujian nilai kalor dari bahan bakar diesel yang dihasilkan dalam penelitian ini. Nilai kalor pada *sample* dengan menggunakan katalis yaitu 11.235 kal/gr atau setara dengan 47.0387 MJ/kg, sedangkan nilai kalor pada *sample* yang tidak menggunakan katalis yaitu 11.029 kal/gr atau setara dengan 46.1762 MJ/kg. Sementara itu SNI pada nilai kalor diesel sebesar 45.6 MJ/kg, Sehingga nilai kalor bahan bakar diesel hasil pirolisis lebih baik dari standar SNI diesel.

## 4.2 Pembahasan

Bahan bakar diesel merupakan senyawa kompleks molekul hidrokarbon, yang umumnya mendidih dalam kisaran suhu 150 °C hingga 380 °C (Zvirin & Greif, 1979). Minyak solar adalah campuran kompleks yang dihasilkan melalui penyulingan minyak mentah. Ini terdiri dari hidrokarbon yang memiliki jumlah karbon dominan pada kisaran C<sub>9</sub>–C<sub>20</sub> (Gad, 2005).

Kandungan utama dalam bahan bakar diesel yaitu hidrokarbon jenuh. Dari hasil uji FTIR yang teridentifikasi terdapat kandungan hidrokarbon. Hal ini telah menunjukkan bahwa penelitian ini telah menghasilkan bahan bakar minyak berupa bahan bakar diesel atau solar. Dimana bahan bakar tersebut berawal dari limbah masyarakat yaitu sampah plastik dan juga limbah *fly ash*. Penambahan katalis pada *sample* juga berpengaruh terhadap karakteristik hasil bahan bakar diesel yang dihasilkan. Karakteristik diesel yang dihasilkan pada penelitian ini yang sudah dijelaskan diatas secara terintegrasi dapat diperlihatkan pada tabel 4.9 Dibawah ini.

Tabel 4. 9 Hasil Uji Karakteristik Diesel

Sample	Yield	Viskositas 40° C	Densitas 15° C	Titik Nyala	Titik Beku	Nilai Kalor Diesel
Non Katalis	83,4%	2,138 mm <sup>2</sup> /s (cSt)	791 kg/m <sup>3</sup>	28°C	12°C	46.1762 MJ/kg
Katalis	85,3%	2,446 mm <sup>2</sup> /s (cSt)	796 kg/m <sup>3</sup>	28°C	16°C	47.0387 MJ/kg
Standar Mutu Dirjen Migas (No.146.K/10/DJ M/2020)		2,0 – 4,5 mm <sup>2</sup> /s (cSt)	815 – 870 kg/m <sup>3</sup>	Min 52°C	Maks 18°C	45.6 MJ/kg
Spesifikasi World Wide Fuel Charter (WWFC)		2,0 – 4,0 mm <sup>2</sup> /s (cSt)	820 – 850 kg/m <sup>3</sup>	Min 55°C	Maks 18°C	

Pada tabel diatas, bahan bakar diesel yang diperoleh dalam penelitian ini memiliki nilai kalor yang lebih tinggi. Ini bisa diinterpretasikan bahwa bahan bakar

diesel pada penelitian ini akan lebih efisien. Dikarenakan jika nilai kalor pada suatu bahan bakar semakin tinggi, maka proses pembakaran akan jauh lebih baik (Sarfat et al., 2023). Nilai kalor ini merupakan nilai yang penting dari suatu bahan bakar. Hal ini untuk mengetahui panas pembakaran yang dapat dihasilkan dari suatu bahan bakar tersebut. Semakin tinggi nilai kalor yang dihasilkan maka akan semakin tinggi pula temperatur laju pembakarannya (Ekayuliana & Hidayati, 2020).

Plastik yang digunakan pada saat pirolisis juga berpengaruh terhadap sifat minyak yang diperoleh. Plastik jenis HDPE memiliki rantai polimer yang panjang di bandingkan dengan jenis plastik lainnya. Pada penelitian yang dilakukan oleh Endang et al., (2016) menyatakan bahwa semakin panjang ikatan struktur kimia, maka nilai viskositas akan semakin besar. Namun dengan suhu yang tinggi dapat mengubah minyak semakin encer. Menurut Ademiluyi & Adebayo (2007), pada suhu rendah minyak pirolisis yang dihasilkan akan cenderung membentuk lilin, dimana semakin tinggi suhu pirolisis maka produksi lilin akan semakin berkurang.

Pada tabel 4.9 menunjukkan bahwa nilai viskositas, titik beku, dan nilai kalor memenuhi standar mutu bahan bakar diesel (solar) di Indonesia yang ditetapkan oleh dirjen migas (No. 146. K/10/DJM/2020) dan juga dapat memenuhi standar mutu World Wide Fuel Charter (WWFC) dimana WWFC adalah spesifikasi yang digunakan di seluruh dunia. Artinya bahan bakar diesel pirolisis sampah plastik dari penelitian ini dapat digunakan di dalam negeri maupun di luar negeri karena sudah memenuhi standar mutu nasional dan juga internasional.

#### 4.2.1 Presentase *Yield* Diesel

Data hasil penelitian pada tabel 4.9 Menunjukkan bahwa presentase *yield* diesel dipengaruhi oleh adanya penambahan katalis. Menurut penelitian sebelumnya yaitu Rambe et al., (2018), penambahan jumlah katalis dapat mempengaruhi hasil volume minyak yang didapatkan. Penggunaan katalis yang berlebihan juga dapat mengurangi jumlah volume minyak yang dihasilkan. Tidak hanya penambahan katalis, pengaruh suhu dalam proses pirolisis juga dapat mempengaruhi hasil volume minyak yang didapatkan.

Dalam penelitian ini menggunakan katalis 20% dari berat bahan mula-mula yaitu sampah plastik. Pada proses pertama hasil presentase *yield* lebih tinggi *sample* yang tidak menggunakan katalis, dikarenakan pada proses pirolisis pertama *sample* yang menggunakan katalis suhu yang dikeluarkan lebih stabil sehingga pada proses ini membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mendapatkan hasil yang lebih banyak. Dan penggunaan katalis membuat distribusi produk menjadi kurang signifikan pada temperatur tinggi (Nazif et al., 2016). Sedangkan pada *sample* tanpa katalis hasil minyak yang didapatkan meningkat seiring dengan peningkatan suhu, pada suhu tertinggi cairan yang dikeluarkan tetap stabil, hal ini disebabkan suhu pirolisis yang digunakan menghasilkan gas yang tidak mudah terkondensasi lebih sedikit sehingga menghasilkan lebih banyak cairan (Nazif et al., 2016).

Pada proses kedua dimana presentase *yield* perbandingan antara berat hasil minyak pirolisis yang kedua dengan berat bahan mula-mula yaitu sampah plastik. Pada tabel 4.9 menunjukkan bahwa nilai dari presentasi *yield* yang dimiliki sampel menggunakan katalis lebih tinggi. Artinya pada proses ini hasil

minyak pada *sample* yang menggunakan katalis lebih banyak menghasilkan minyak dari pada *sample* yang tidak menggunakan katalis. Pada proses ini hasil minyak pada proses pirolisis pertama akan dibakar kembali dengan suhu antara 250°C dengan waktu 90 menit. Sehingga penambahan katalis juga dapat meningkatkan hasil minyak yang diperoleh. Menurut Nazif et al., (2016), jumlah katalis terlalu banyak, membuat tidak terlalu berpengaruh terhadap konversi yang dihasilkan. Artinya Penambahan katalis juga dapat berpengaruh dalam hasil minyak yang didapatkan dengan presentase penambahan yang tidak berlebihan dan tidak kurang.

Pada proses pertama sampel yang menggunakan katalis, presentase yang dihasilkan 79,3% sedangkan pada proses kedua menghasilkan presentase 85,3%. Artinya pada proses kedua pada sampel menggunakan katalis mendapatkan hasil minyak yang lebih banyak. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan penambahan katalis dapat breaksi pada proses pirolisis yang kedua. Pengaruh suhu yang tinggi juga dapat menjadi faktor kenaikan hasil pada proses pirolisis (Nazif et al., 2016). Pada proses kedua, dimana proses tersebut membakar ulang hasil pirolisis yang pertama sehingga pada proses kedua dapat memisahkan komponen tertentu yang pada proses pertama tidak dapat dipisahkan dengan sempurna. Dan pada proses pertama kemungkinan adanya residu yang belum terpisahkan sepenuhnya dan diproses ulang dipirolisis kedua, sehingga hal tersebut dapat menghasilkan komponen yang baru yang mengakibatkan jumlah hasil minyak menjadi lebih banyak.

#### 4.2.2 Spektrum FTIR Diesel

Plastik adalah polimer *non-biodegradable* sebagian besar mengandung karbon, hidrogen, dan beberapa unsur lainnya seperti klorin, nitrogen dan lain lain. Sedangkan katalis memiliki peranan yang sangat penting terhadap kualitas hidrokarbon yang dihasilkan. Katalis digunakan untuk menurunkan energi yang terjadi pada proses pembakaran (Ermawati, 2011).

Katalis tidak hanya mempengaruhi struktur produk, tapi juga hasil bahan bakar minyak yang dihasilkan (Panda, 2011). Dari data yang dihasilkan melalui uji FTIR dalam penelitian ini dapat diketahui bahwa adanya identifikasi kandungan hidrokarbon yang merupakan komponen utama diesel. Pada *sample* keduanya, hasil uji FTIR diesel gugus fungsi yang diperoleh yaitu C – H terdeteksi pada bilangan gelombang 2853 – 2957  $\text{cm}^{-1}$ , dan gugus fungsi C – C terdeteksi pada bilangan gelombang 1377,3 – 1459,3  $\text{cm}^{-1}$ , gugus fungsi - CH<sub>2</sub> – CHO terdeteksi pada bilangan gelombang 909,5 ; 72,659  $\text{cm}^{-1}$ , dan pada bilangan gelombang 721  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan senyawa *aromatic compound*. Bilangan gelombang yang dihasilkan pada minyak hasil pirolisis ini mendekati bilangan gelombang yang dimiliki minyak solar. Dapat dilihat pada gambar 4.2 dan 4.3 dimana bilangan gelombang dari spektrum FTIR solar memiliki gelombang yang sama dengan bilangan gelombang hasil spektrum FTIR minyak hasil pirolisis. Artinya pada penelitian ini hasil minyak pirolisis menghasilkan minyak berupa solar.

### 4.2.3 Karakteristik Diesel

#### 4.2.3.1 Viskositas Diesel

Nilai viskositas kinematik pada tabel 4.9 dimana nilai viskositas dari kedua *sample* tersebut bisa dikatakan memenuhi SNI yaitu *sample* tidak menggunakan katalis 2,1 cSt dan *sample* menggunakan katalis 2,4 cSt. Dimana nilai viskositas pada *sample* menggunakan katalis lebih tinggi dari pada *sample* yang tidak menggunakan katalis. Menurut 'Uyun (2017), jika viskositas terlalu rendah (*encer*) maka berpengaruh terhadap sulitnya pembakaran dan kebocoran pada pipa injeks. Jika viskositas terlalu tinggi (*kental*) maka akan mengakibatkan sulitnya pemompaan bahan bakar ke ruang bakar ('Uyun, 2017), dan mempengaruhi kualitas atomisasi yang sulit terjadi (Hidayat & Siregar, 2022).

Perbedaan antara viskositas juga dapat dipengaruhi dari perbedaan suhu dalam proses pirolisis dan juga jenis plastik yang digunakan. Pernyataan ini juga didukung dengan penelitian Lubis & Fitrianiingsih (2021), yang menyatakan bahwa jenis plastik juga dapat mempengaruhi nilai viskositas dimana dalam penelitian tersebut membandingkan antara pirolis sampah plastik jenis *HDPE* dan jenis *PET* dengan proses suhu yang berbeda beda. Hasil pirolisis menggunakan sampah *HDPE* nilai viskositasnya lebih rendah dari pada nilai viskositas menggunakan sampah *PET*.

Karakteristik ini sangat penting karena mempengaruhi kinerja injektor pada mesin diesel. Pada umumnya, bahan bakar harus mempunyai viskositas yang relatif rendah, sehingga bahan bakar dapat mengalir dan

teratomisasi. Hal ini dikarenakan putaran mesin yang cepat membutuhkan injeksi bahan bakar yang cepat pula (Nasrun et al., 2016).

Berdasarkan hasil penelitian yang didapatkan nilai viskositas terhadap hasil minyak pirolisis sampah plastik berjenis *HDPE* ini masuk dalam karakteristik solar Indonesia, dimana nilai viskositas solar menurut standar mutu dirjen migas (No. 146. K/10/DJM/2020) yaitu 2,0 cSt – 4,5 cSt. Nilai viskositas hasil pirolisis keduanya tidak lebih rendah maupun tidak lebih tinggi dari standar mutu yang sudah ditetapkan. Dan penambahan katalis mempengaruhi hasil pada parameter ini. Karena hasil diesel yang didapatkan pada sample menggunakan katalis nilainya lebih tinggi, namun tidak melebihi dari standar mutu.

#### **4.2.3.2 Densitas Diesel**

Hasil pengujian yang didapatkan pada tabel 4.9 yaitu nilai densitas dari minyak hasil pirolisis sampah plastik. Dari tabel tersebut diketahui bahwa nilai densitas bahan bakar yang tidak menggunakan katalis adalah sebesar 791 Kg/m<sup>3</sup>, sedangkan nilai densitas minyak yang menggunakan katalis yaitu 796 Kg/m<sup>3</sup>. Nilai dari keduanya tidak jauh berbeda dan nilai tersebut masih mendekati (sedikit lebih rendah) nilai densitas SNI. Sutomo et al., (2012) menjelaskan bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan bahan bakar, maka viskositas dan densitas bahan bakar akan semakin menurun. Ini akan memudahkan proses terjadinya pembakaran yang lebih sempurna. Sehingga semakin rendahnya nilai densitas maka bahan bakar tersebut semakin bagus untuk mesin yang digunakan.

Hasil pirolisis memiliki beberapa fase yang disebabkan oleh perbedaan suhu, dimana semakin tinggi suhu maka semakin ringan pula minyak yang dihasilkan. Dikarenakan dalam penelitian ini alat yang digunakan tidak bisa menstabilkan suhu dengan sempurna sehingga hasil minyak yang didapatkan lebih encer dan ringan. Totten & Mackenzie (2003) menyatakan bahwa semakin tinggi suhu yang digunakan, maka produk bahan bakar yang dihasilkan akan semakin ringan. Semakin tinggi suhu yang digunakan maka hidrokarbon ringan yang dihasilkan akan semakin banyak. Sementara itu, penelitian Rahmania et al., (2016) menyatakan bahwa semakin tinggi massa jenis suatu benda maka semakin besar pula massa setiap volumenya atau dengan kata lain untuk masa tertentu volumenya semakin kecil jika densitasnya semakin kecil. Hal ini dapat ditunjukkan dengan volume bahan bakar yang dihasilkan pada proses pirolisis yang kedua lebih banyak, sehingga nilai densitas pada hasil minyak diesel yang diuji memiliki densitas lebih rendah. Prianto et al., (2019) juga menyatakan bahwa apabila nilai densitas yang nilainya rendah akan semakin mudah menguap. Apabila suatu bahan bakar mudah menguap, maka bahan bakar tersebut dapat mudah terbakar.

Densitas yang rendah akan menghasilkan nilai kalor yang tinggi. Semakin besar angka densitas akan berpengaruh terhadap peningkatan konsumsi bahan bakar. Hal ini disebabkan karena dibutuhkan lebih banyak bahan bakar untuk diinjeksikan kedalam ruang pembakaran untuk mendapatkan tenaga mesin yang sama (Setiawati & Edwar, 2012).

Sehingga apabila densitas bahan bakar semakin tinggi maka akan membutuhkan bahan bakar yang lebih banyak.

Penambahan katalis pada *sample* penelitian ini mempengaruhi nilai densitas minyak hasil pirolisis, dengan adanya penambahan katalis nilai densitasnya lebih mendekati standar mutu diesel yang ditetapkan. Hasil penelitian ini, menunjukkan bahwa bahan bakar yang dihasilkan sedikit lebih efisien dalam penggunaannya dibandingkan bahan bakar standar.

#### **4.2.3.3 Titik Nyala Diesel**

Nilai titik nyala pada penelitian ini terdapat pada tabel 4.9. Tabel tersebut menunjukkan bahwa nilai titik nyala keduanya sama. Sehingga penambahan katalis pada salah satu *sample* tidak berpengaruh terhadap titik nyala minyak yang dihasilkan. Titik nyala pada minyak diesel hasil pirolisis lebih rendah dari pada standar mutu bahan bakar diesel yang ada di Indonesia. Pada uji parameter ini minyak yang diperoleh jauh lebih rendah dibandingkan dengan standar mutu yang ditetapkan.

Titik nyala (*flash point*) adalah titik temperatur terendah dimana bahan bakar dapat menyala pada kondisi tertentu pada tekanan satu atmosfer. Titik nyala (*flash point*) merupakan faktor penting untuk keamanan terhadap kebakaran. Penentuan nilai titik nyala ini juga berkaitan dengan keamanan dalam penyimpanan penanganan bahan bakar (Nasrun et al., 2016). Titik nyala yang tinggi diperlukan untuk keamanan dari kebakaran selama proses penyimpanan (Munack, 2006). Bahan bakar dengan titik nyala yang rendah akan membahayakan, karena akan

menyebabkan timbulnya denotasi yaitu ledakan kecil yang terjadi sebelum bahan bakar masuk ke ruang pembakaran. Hal ini juga mampu mengakibatkan meningkatnya resiko bahaya pada saat waktu penyimpanan.

Titik nyala pada minyak diesel hasil pirolisis lebih rendah dikarenakan suhu yang digunakan dalam proses pirolisis membutuhkan suhu yang tinggi, sehingga kandungan air dalam minyak lebih sedikit. Hal tersebut sesuai dengan penelitian sebelumnya yaitu semakin tinggi suhu pirolisis maka semakin sedikit kandungan air dalam minyak tersebut sehingga api cepat menyambar dan titik nyala yang diperoleh semakin kecil (Tjokrowisastro & Widodo, 1990). Apabila titik nyala pada suatu minyak semakin rendah maka bahan bakar tersebut mudah terbakar, sehingga bahan bakar tersebut lebih bagus dalam penggunaan mesin diesel. Titik nyala merupakan fase dimana suatu bahan dapat memantik api dalam bentuk uap. Semakin kecil suhu titik nyala maka akan semakin mudah bahan tersebut terbakar (Prianto et al., 2019). Sehingga bagus dalam penggunaan mesin, namun membutuhkan tempat penyimpanan yang lebih aman karena bahan bakar lebih mudah terbakar.

#### **4.2.3.4 Titik Beku Diesel**

Titik beku pada tabel 4.9 Menunjukkan bahwa kedua *sample* diesel hasil pirolisis memenuhi persyaratan standar mutu. Dimana nilai titik beku pada kedua *sample* masih dibawah maksimum standar mutu nilai titik beku. *Sample* yang menggunakan katalis nilai titik bekunya lebih tinggi dari pada *sample* yang tidak menggunakan katalis.

Titik beku (cloud point) didefinisikan sebagai suhu ketika padatan mulai terbentuk dalam larutan polimer. Kondisi pada saat terbentuknya padatan tersebut dapat dinyatakan sebagai kondisi kesetimbangan komponen terlarut antara fasa cair dan fasa padat (Soewarno et al., 2006).

Titik beku pada bahan bakar, sebagai penentu suhu berapa bahan bakar mulai membeku, menjadi sangat penting. Kerusakan dan kemacetan mesin dapat disebabkan oleh pembekuan yang terjadi pada mesin. (Damayanti & Fatnasari, 2011). Apabila titik beku memiliki nilai yang tinggi akan mengakibatkan proses pembekuan lebih cepat. Pada penelitian ini kedua sample mendapatkan nilai dibawah standar maksimum bahan bakar diesel, artinya hasil minyak diesel yang didapatkan pada penelitian memiliki karakteristik yang lebih bagus. Dikarenakan semakin rendahnya titik beku maka bahan bakar tersebut tidak mudah membeku. Sehingga dalam penambahan katalis pada parameter ini menunjukkan bahwa titik beku bahan bakar yang dihasilkan dengan menggunakan katalis lebih tinggi dari pada yang tidak menggunakan katalis. Artinya, bahan bakar yang dihasilkan tanpa katalis akan membeku pada temperatur lebih rendah dibandingkan dengan yang memakai katalis.

#### **4.2.3.5 Nilai Kalor Diesel**

Data hasil pengujian nilai kalor pada tabel 4.9 menunjukkan bahwa nilai kalor dari hasil minyak diesel pirolisis masuk dalam standar mutu bahan bakar diesel jenis solar. Nilai kalor minyak hasil pirolisis pada penelitian ini yaitu 46.1762 MJ/Kg dan 47.0387 MJ/Kg. Nilai kalor tersebut memiliki nilai yang cukup tinggi dan lebih tinggi dari standar

mutu yang sudah ditetapkan. Nilai kalor dari kedua *sample* mendapatkan nilai yang berbeda, dimana nilai dari *sample* yang menggunakan katalis lebih tinggi dari pada *sample* yang tidak menggunakan katalis. Penambahan katalis dalam proses pirolisis sampah plastik berpengaruh terhadap nilai kalor. Semakin tinggi nilai kalor yang didapatkan maka semakin cepat panas yang akan didapatkan pada bahan bakar tersebut. Sehingga penambahan katalis dapat meningkatkan kualitas bahan bakar diesel.

'Uyun (2017) menyebutkan bahwa nilai kalor bahan bakar sangat berkaitan dengan densitasnya dimana nilai kalor berbanding terbalik dengan densitas hal ini karena sumbangan komposisi fraksi hidrokarbon rantai pendek lebih banyak daripada fraksi hidrokarbon rantai panjang yang ada pada minyak pirolisis. Hasil penelitian Hidayat & Siregar (2022) menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur pada reaktor, maka nilai kalor bahan bakar yang dihasilkan dari proses pirolisis semakin rendah. Sehingga nilai kalor juga dapat dipengaruhi oleh tinggi rendahnya suhu dalam proses pirolisis.

Menurut Tazi & Sulistiana (2011), nilai kalor bahan bakar menentukan jumlah konsumsi bahan bakar tiap satuan waktu. Makin tinggi nilai kalor bahan bakar menunjukkan bahan bakar tersebut semakin sedikit pemakaiannya. Dewi & Hasfita (2016) juga menyatakan bahwa nilai kalor sangat penting karena ada kaitannya dengan efisiensi atau penghematan suatu bahan bakar. Apabila nilai kalor rendah berarti jumlah bahan bakar yang digunakan dan dibutuhkan untuk pembakaran akan lebih banyak,

tetapi bila nilai kalornya tinggi berarti jumlah bahan bakar yang digunakan untuk pembakaran akan lebih sedikit. Hal ini terjadi karena nilai kalor menunjukkan jumlah energi yang dihasilkan oleh suatu bahan bakar per satuan massa setelah terbakar sempurna. Semakin tinggi nilai kalor suatu bahan bakar maka energi yang dihasilkan pun akan semakin efisien, karena menghasilkan panas yang lebih besar dengan massa yang sedikit (Irzon, 2012). Artinya hasil minyak dalam penelitian ini lebih efisien penggunaannya, dikarenakan nilai kalor yang dihasilkan lebih tinggi dari standar mutu nilai kalor yang ditetapkan. Dan penambahan katalis berpengaruh pada parameter ini, dimana *sample* minyak yang menggunakan katalis lebih baik dari pada yang tidak menggunakan katalis, karena nilai *sample* dengan katalis lebih tinggi dari pada nilai *sample* yang tidak menggunakan katalis.

#### **4.3 Integrasi Dengan Al-Qur'an**

Di Indonesia saat ini semakin banyak penduduk yang menggunakan plastik. Kemasan makanan saat ini cenderung menggunakan bahan plastik. Tidak hanya untuk memudahkan, plastik juga termasuk bahan yang mudah didapatkan dengan harga yang relatif murah. Sehingga tidak heran jika banyak yang menggunakan plastik. Namun masyarakat tidak memperdulikan banyaknya sampah plastik yang terkumpul akibat penggunaan plastik yang semakin meningkat. Peningkatan penggunaan plastik ini juga merupakan konsekuensi dari perkembangan teknologi, industri, dan juga jumlah populasi penduduk.

Sampah plastik sangat berdampak negatif terhadap lingkungan dikarenakan sampah plastik yang tidak mudah terurai dengan cepat dan berdampak dengan

kesuburan tanah yang semakin menurun. Sampah plastik yang dibuang sembarangan juga akan menyumbat saluran drainase, selokan dan juga sungai sehingga dapat menyebabkan banjir. Di Alqur'an Allah SWT. sudah menjelaskan bahwa kita sebagai umat manusia yang hidup di bumi sudah seharusnya menjaga dan merawat bumi kita dengan menjaga lingkungan disekitar kita. Sebagaimana yang tercantum dalam surat Ar-Rum (30): 41-42

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ ﴿٤١﴾  
 فَلَّ سَيْرُوًا فِي الْأَرْضِ فَانظُرُوا كَيْفَ كَانَ عَاقِبَةُ الَّذِينَ مِنْ قَبْلُ كَانَ أَكْثَرُهُمْ مُشْرِكِينَ ﴿٤٢﴾

Artinya: *“Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar). Katakanlah: “Adakanlah perjalanan di muka bumi dan perhatikanlah bagaimana kesudahan orang-orang yang terdahulu. kebanyakan dari mereka itu adalah orang-orang yang mempersekutukan (Allah).” (QS. Ar Rum 41-42).*

Ayat tersebut dengan jelas menyatakan bahwa segala kerusakan dimuka bumi ini adalah akibat ulah manusia yang akibatnya akan kembali lagi pada manusia. Oleh karena itu sebagai penduduk bumi sudah seharusnya menjaga dan merawat lingkungan kita agar tidak ada bencana yang dapat merusak dan juga musibah yang akan dirasakan oleh penghuni bumi sendiri akibat dari pencemaran yang dilakukannya sendiri. Maka dari itu, pengolahan sampah plastik yang menjadi limbah terbanyak di Indonesia dapat membantu mengurangi pencemaran lingkungan, dengan mengubah sampah plastik menjadi bahan bakar diesel.

Allah SWT juga berfirman dalam Al-Qur'an surat Al-Nahl ayat 16:

وَعَلَّمْتُمُوهَا بِالنَّجْمِ هُمْ يَهْتَدُونَ ﴿١٦﴾

Artinya: *“Dan (Dia juga mengendalikan) apa yang Dia ciptakan untukmu di bumi ini dengan berbagai jenis dan macam warnanya. Sungguh, pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda (kebesaran Allah) bagi kaum yang mengambil pelajaran”.*

Dalam ayat tersebut dapat dipahami bahwa sumber daya alam juga salah satu ciptaan Allah SWT yang dapat dimanfaatkan oleh umat manusia, agar dapat bertahan hidup dan memudahkan dalam menjalani kehidupan di dunia. Salah satu dari sumber daya alam tersebut adalah minyak bumi.

Dalam Al-Qur'an proses pembentukan minyak bumi tersirat dalam Surat Al-A'la ayat 4-5 sebagai berikut:

وَالَّذِي أَخْرَجَ الْمَرْعَىٰ (٤) فَجَعَلَهُ غُثَاءً أَحْوَىٰ (٥)

Artinya: “Dan Yang menumbuhkan rerumputan (4), lalu dijadikan-Nya (rumput-rumput) itu kering kehitam-hitaman (5).”

Dari ayat tersebut, ada dua elemen yang teridentifikasi menyatakan dengan jelas urutan pembentukan minyak bumi. Pertama, istilah kata al-mar‘ā yang berarti padang rumput, menunjuk pada bahan organik pembentuk minyak bumi. Al-mar‘ā pada ayat ke-4 ini diyakini mengacu pada substansi organik. Yakni tumbuh-tumbuhan berupa rerumputan termasuk di dalam kategori ini tumbuh-tumbuhan air seperti ganggang atau alga dan hydrilla. Kedua, kata ahwā yang biasa digunakan untuk menunjukkan warna hitam, hitam kehijauan, atau warna jelaga. Hal ini bisa jadi menggambarkan bagaimana bahan organik yang menumpuk di dalam tanah yang berasal dari tanaman akan membusuk dan perlahan berubah warna menjadi kehitaman.

Minyak bumi disebut sebagai sumber daya alam yang tidak dapat diubah. Dibutuhkan waktu yang sangat lama untuk menyelesaikan proses pembuatannya. Dimulai dari Minyak Mentah yang disebutkan dalam QS. Surat Al-A'la ayat 4-5 yang memerlukan waktu satu setengah tahun. Selanjutnya campuran tersebut dibuat

dari minyak mentah hingga menjadi campuran minyak yang dapat digunakan dengan mudah.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan proses pengolahan data dan hasil penelitian mengenai proses pirolisis limbah plastik melalui uji spektrum FTIR, didapatkan bahwa proses tersebut dapat mengkonversi limbah plastik menjadi bahan bakar diesel yaitu dalam bentuk minyak (solar). Melalui hasil karakteristik (viskositas; densitas; titik nyala; titik beku; kalor) yang didapatkan menunjukkan bahwa proses pirolisis limbah plastik menjadi bahan bakar diesel dapat dikatakan memenuhi standar mutu bahan bakar diesel yang ditetapkan di dalam maupun di luar negeri dengan acuan standar mutu nasional oleh dirjen migas (No. 146.K/DJM/2020) dan spesifikasi internasional oleh World Wide Fuel Charter (WWFC), yang artinya hasil bahan bakar diesel pada penelitian ini dapat digunakan di Indonesia maupun di luar negeri. Pada penelitian ini didapatkan hasil karakteristik nilai kalor yang lebih tinggi sehingga menunjukkan bahwa bahan bakar yang didapat memiliki hasil yang lebih efisien. Walaupun dalam beberapa aspek penambahan katalis pada proses pirolisis ini tidak berpengaruh terhadap minyak yang dihasilkan, namun penggunaan katalis *fly ash* pada penelitian ini dapat meningkatkan volume (yield) minyak yang dihasilkan. Dikarenakan adanya katalis dapat membantu proses pembentukan minyak dengan lebih efisien. Katalis mempercepat reaksi, mengarahkan pembentukan produk yang diinginkan, dan membantu memanfaatkan bahan baku secara lebih efisien.

## 5.2 Saran

Dari hasil penelitian yang didapatkan terdapat beberapa saran untuk penelitian selanjutnya antara lain:

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi proses pirolisis seperti adanya variasi suhu, temperatur dan waktu. Sehingga dapat mengetahui hasil dari perbedaan faktor-faktor tersebut.
2. Perlu dilakukan pengulangan proses pirolisis dengan variasi perbandingan katalis yang ditambahkan dengan sampah plastik. Sehingga dapat mengetahui berapa persen katalis yang dibutuhkan dalam proses pirolisis sehingga mendapatkan hasil yang lebih efisien.

## DAFTAR PUSTAKA

- 'Uyun, I. Q. (2017). Produksi Bahan Bakar Cair Hidrokarbon (C8-C13) dari Limbah Plastik Polipropilena Hasil Konversi Katalitik dengan Variasi Jumlah Katalis Al-MCM-41. In *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Ademiluyi, T., & Adebayo, T. (2007). Fuel gases from pyrolysis of waste Polyethylene sachets. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 11(2), 21–26. <https://doi.org/10.4314/jasem.v11i2.54979>
- American Coal Ash Association. (2013). Fly Ash Facts for Highway Engineers. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Arifin dan Sobar, 2018. (2018). *Jurnal EEICT* <https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/eeict>. 1(1), 53–60.
- Arifin, J., & Ihsan, S. (2018). Analisa Dan Perancangan Limbah Plastik Sampah Polyethylene Terephthalate Untuk Menghasilkan Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal EEICT (Electric, Electronic ..., 1(1)*, 53–60.
- Bow, Y., Zulkarnain, Lestari, S. P., Sihombing, S. R. M., Kharissa, S. A., & Salam, Y. A. (2018). Pengolahan Sampah Low Density Polyethylene (LDPE) Dan Polypropylene (PP) Menjadi Bahan Bakar Cair Alternatif Menggunakan Prototipe Pirolisis Thermal Cracking. *Jurnal Kinetika*, 9(03), 1–6. <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index>
- Chanashetty, V. B., & Patil, B. M. (2015). Fuel from Plastic Waste. *International Journal on Emerging Technologies*, 6(2), 121–128.
- Damayanti, A., & Fatnasari, H. (2011). Pengaruh Konsentrasi Biodiesel Minyak Jarak Pagar Dalam Bahan Bakar Diesel Terhadap Emisi Hidrokarbon Dan Karbon Monoksida. *Penelitian Masalah Lingkungan Di Indonesia, January 2011*. <https://www.researchgate.net/profile/Alia-Damayanti/publication/299387778>
- Dewi, R., & Hasfita, F. (2016). PEMANFAATAN LIMBAH KULIT JENGKOL (Pithecellobium jiringa) MENJADI BIOARANG DENGAN MENGGUNAKAN PEREKAT CAMPURAN GETAH SUKUN DAN TEPUNG TAPIOKA. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 5(1), 105–123. <https://doi.org/10.29103/jtku.v5i1.83>
- Ekayuliana, A., & Hidayati, N. (2020). Analisis Nilai Kalor dan Nilai Ultimate Briket Sampah Organik Dengan Bubur Kertas. *Jurnal Mekanik Terapan*, 1(2), 107–115. <https://doi.org/10.32722/jmt.v1i2.3357>
- Endang, K., Mukhtar, G., Abed, N., & Sugiyana, F. X. A. (2016). Pengolahan

Sampah Plastik Dengan Metoda Pirolisis Menjadi Bahan Bakar Minyak. *Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan*.

- Erkiaga, A., Lopez, G., Barbarias, I., Artetxe, M., Amutio, M., Bilbao, J., & Olazar, M. (2015). HDPE pyrolysis-steam reforming in a tandem spouted bed-fixed bed reactor for H<sub>2</sub> production. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, *116*, 34–41. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2015.10.010>
- Ermawati, R. (2011). Konversi Limbah Plastik Sebagai Sumber Energi Alternatif. *Jurnal Riset Industri*, *5*(3), 257–263.
- Firman, M. A. A., Bahri, S., & Khairat. (2016). Pirolisis Biomassa Kayu Pinus (Wood Pine) Dengan Katalis Mo/Lempung Menjadi Bio-Oil. *Jurnal FTEKNIK*, *3*(1), 78–89.
- Gad, S. C. (2005). Diesel Fuel. In *Encyclopedia of Toxicology* (2nd editio, pp. 19–22). Elsevier.
- Ghofur, A., Atikah, Soemarno, & Hadi, A. (2014). Karateristik Fly Ash Batubara Sebagai Bahan Katalik Konverter dalam Mereduksi Gas Buang HC dan CO Kendaraan Bermotor. *Prosiding SNST Ke-5 Tahun 2014 Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang*, 33–37.
- Hidayat, F. F. D., & Siregar, I. H. (2022). Uji Karakteristik Minyak Pirolisis Berbahan Baku Limbah Plastik Polypropylene. *Jurnal Teknik Mesin*, *10*(01), 13–20. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/view/43904>
- Irzon, R. (2012). Perbandingan Calorific Value Beragam Bahan Bakar Minyak yang Dipasarkan di Indonesia Menggunakan Bomb Calorimeter. *Geo-Resources*, *22*(4), 438.
- Iskandar, T., Anggraini, S. P. A., & Melinda. (2021). Pembuatan Bahan Bakar Diesel dari Limbah Plastik HDPE dengan Proses Pirolisis. *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Dan Teknik Kimia*, *6*(1), 23–29. <https://doi.org/10.33366/rekabuana.v6i1.2251>
- Jonathan, M., Hokliansyah, Hartono, S. B., & Ismadji, S. (2003). Pembuatan katalis dari abu terbang untuk pirolisis plastik menjadi bahan bakar cair. *Design and Application of Technology*.
- K. Mustofa, D., & Fuad, Z. (2014). PIROLISIS SAMPAH PLASTIK HINGGA SUHU 900oC SEBAGAI UPAYA MENGHASILKAN BAHAN BAKAR RAMAH LINGKUNGAN. *Simposium Nasional RAPI XIII*, 98–102.
- Kiswanto, A. H. (2017). Pengaruh Campuran Sampah Plastik dan Katalis Terhadap Hasil Produk Pyrolisis [Universitas Nusantara PGRI Kediri]. In *Artikel Skripsi Universitas Nusantara PGRI Kediri*. [simki.unpkediri.ac.id](http://simki.unpkediri.ac.id)

- Lubis, D. A., & Fitriyaningsih, Y. (2021). Pengolahan Sampah Plastik HDPE (High Density Polyethylene) dan PET (Polyethylene Terephthalate) Sebagai Bahan Bakar Alternatif dengan Proses Pirolisis. *Jurnal Ilmu Lingkungan Undip*, 20(4), 735–742.
- Mondal, B. K., Islam, M. N., Hossain, M. E., & Abser, M. N. (2017). Fuel Grade Liquid Hydrocarbons From Postconsumer Waste Plastics By Using Coal Fly Ash As Catalyst. *Fifth International Conference on Chemical Engineering: Energy, Environment, and Sustainability, December*.
- Mujiarto, I. (2005). Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif. *Traksi*, 3(2), 65–74.
- Munack, A. (2006). *Biodiesel – A comprehensive handbook* (M. Mittelbach & C. Renschmidt (Eds.)).
- Nasrun, Kurniawan, E., & Sari, I. (2016). Studi Awal Produksi Bahan Bakar Dari Proses Pirolisis Kantong Plastik Bekas. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 5(1), 30–44. <https://doi.org/10.29103/jtku.v5i1.77>
- Nazif, R., Wicaksana, E., & Halimatuddahlia. (2016). Pengaruh Suhu Pirolisis Dan Jumlah Katalis Karbon Aktif Terhadap Yield Dan Kualitas Bahan Bakar Cair Dari Limbah Plastik Jenis Polipropilena. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 5(3), 49–55. <https://doi.org/10.32734/jtk.v5i3.1545>
- Oktora, R., Alwie, H. R., & Utari, S. A. (2019). Inovasi Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak di Desa Jampang Bogor. *Seminar Nasional Pengabdian Masyarakat LPPM UMJ, September*, 1–6.
- Panda, A. K. (2011). Studies on Process Optimization for Production of Liquid Fuels from Waste Plastics. In *Chemical Engineering Department National Institute of Technology Rourkela* (Issue July 2011). National Institute of Technology.
- Pratiwi, R., & Dahani, W. (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, 17 November 2015, November*, 1–5.
- Prianto, D. W., Yuriandala, Y., & Purnama, H. (2019). Pyrolysis of instant noodle wrap plastic waste with mount Merapi ash as alternative catalyst. *AIP Conference Proceedings*, 2085, 1–8. <https://doi.org/10.1063/1.5094982>
- Purwaningrum, P. (2016). Upaya Mengurangi Timbulan Sampah Plastik Di Lingkungan. *Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology*, 8(2), 141–147. <https://doi.org/10.25105/urbanenvirotech.v8i2.1421>
- Rahman, M. T. A., Daud, S., & Reza, M. (2017). Pengaruh Suhu Dan Porsen Katalis

- Zeolit Terhadap Yield Pirolisis Limbah Plastik Polypropylene (PP). *Jurnal FTEKNIK*, 4(2), 1–7.
- Rahmaniah, Nurhalimah, & Sahara. (2016). Uji Kualitas Fisis Pengelolaan Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Teknosains*, 10(2), 223–234.
- Rambe, S. M., Dina, S. F., Sipahutar, E. H., & Maha, K. M. (2018). Potensi Bio-Oil Dari Reject Plastic Hasil Proses Katalitik Pirolisis Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Jurnal Teknik Dan Teknologi*, 13(25), 29–36.
- Sarfat, M. R., Hasria, Ngkoimani, L. O., Okto, A., Arisona, Muliddin, Hamimu, L., Hasan, E. S., & Haraty, S. R. (2023). Kualitas dan Kelas Batubara di Kecamatan Uluiwoi Kabupaten Kolaka Timur, Provinsi Sulawesi Tenggara. *Jurnal Geosains Dan Teknologi*, 5(3), 151–162. <https://doi.org/10.14710/jgt.5.3.2022.151-162>
- Setiawati, E., & Edwar, F. (2012). Teknologi Pengolahan Biodiesel Dari Minyak Goreng Bekas Dengan Teknik Mikrofiltrasi Dan Transesterifikasi Sebagai Alternatif Bahan Bakar Mesin Diesel. *Riset Industri*, 6(2), 1–11.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.037>
- Sitorus, C., Sukeksi, L., & Sidabutar, A. J. (2018). Ekstraksi Kalium dari Kulit Buah Kapuk (Ceiba petandra). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 7(2), 17–22. [http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=1434032&val=4138&title=EKSTRAKSI KALIUM DARI KULIT BUAH KAPUK Ceiba petandra](http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=1434032&val=4138&title=EKSTRAKSI%20KALIUM%20DARI%20KULIT%20BUAH%20KAPUK%20Ceiba%20petandra)
- Soewarno, N., Sumarno, Wibawa, G., & Bahruddin. (2006). Cloud Point Campuran Minyak Solar Dan Plastik Polietilena. *Seminar Nasional Teknik Kimia Teknologi Oleo Dan Petrokimia Indonesia*, 1–8.
- Stoch, A. (2015). *Fly ash from coal combustion-characterization* (Issue February). IST Instituto Superior Técnico, Portugal.
- Stöcker, M. (2008). Biofuels and biomass-to-liquid fuels in the biorefinery: Catalytic conversion of lignocellulosic biomass using porous materials. *Angewandte Chemie - International Edition*, 47(48), 9200–9211. <https://doi.org/10.1002/anie.200801476>
- Surono, U. B. (2013). Berbagai Metode Konversi Sampah Plastik menjadi Bahan Bakar Minyak. *Jurnal Teknik*, 3(1), 32–40.
- Sutomo, Murni, & Rahmat. (2012). Pengaruh Suhu Bahan Bakar Terhadap Keperluan Bahan Bakar Pada Motor Diesel Satu Silinder 20 Hp Dengan

Elektroliser. *Gema Teknologi*, 16(3), 122.  
<https://doi.org/10.14710/gt.v16i3.4708>

- Syamsiro, M., Saptoadi, H., Norsujianto, T., Noviasri, P., Cheng, S., Alimuddin, Z., & Yoshikawa, K. (2014). Fuel oil production from municipal plastic wastes in sequential pyrolysis and catalytic reforming reactors. *Energy Procedia*, 47(December), 180–188. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.212>
- Tazi, I., & Sulistiana. (2011). Uji Kalor Bakar Bahan Bakar Campuran Bioetanol Dan Minyak Goreng Bekas. *Jurnal Neutrino*, 3(2), 163–174. <https://doi.org/10.18860/neu.v0i0.1653>
- Tjokrowisastro, E. H., & Widodo, B. U. K. (1990). *Teknik Pembakaran Dasar dan Bahan Bakar*. ITS.
- Totten, G. E., & Mackenzie, D. S. (Eds.). (2003). *Handbook of Aluminum: Vol. 1: Physical Metallurgy and Processes* (1st editio). CRC Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1201/9780203912591>
- Upadhyay, A., & Kamal, M. (2007). Characterization and Utilization of Fly Ash [National Institute of Technology Rourkela]. In *Geotechnical and Geological Engineering* (Vol. 10, Issue 1). <https://doi.org/10.1007/s10706-019-01139-x>
- Wibowo, S. (2016). KARAKTERISTIK BIO-OIL DARI LIMBAH INDUSTRI HASIL HUTAN MENGGUNAKAN PIROLISIS CEPAT. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 34(1), 61–76.
- Wicaksono, M. A., & Arijanto. (2017). Pengolahan Sampah Plastik Jenis Pet (Polyethylene Perephthalathe) Menggunakan Metode Pirolisis Menjadi Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Teknik Mesin*, 5(1), 9–15. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jtm>
- Widyastuti, L. (2007). *Reaksi Transesterifikasi Minyak Biji Jarak Pagar Menjadi Metil Ester Sebagai Bahan Bakar Pengganti Minyak Diesel Dengan Menggunakan Katalis KOH*. Universitas Negeri Semarang.
- Zurohaina, Tahdid, Zikri, A., Bow, Y., Zulkarnain, Sari, D. N., Wulandari, N., Putra, M. R., & Rafilanda, A. (2019). Analisa Bahan Bakar Minyak Hasil Pirolisis Sampah Plastik Jenis Pp Dan Pet Terhadap Kinerja Generator Set Pada Pltsa Plastik Kapasitas 1000 Watt. *Jurnal Kinetika*, 10(01), 24–30. <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index>
- Zvirin, Y., & Greif, R. (1979). Transient behavior of natural circulation loops: Two vertical branches with point heat source and sink. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 22(4), 499–504. [https://doi.org/10.1016/0017-9310\(79\)90053-X](https://doi.org/10.1016/0017-9310(79)90053-X)

# LAMPIRAN

## Lampiran 1

STANDAR DAN MUTU (SPESIFIKASI) BAHAN BAKAR MINYAK JENIS MINYAK SOLAR MURNI (B-0) DENGAN ANGKA SETANA (CN) 48

No.	Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode Uji	
			Min.	Maks.	ASTM	lainnya
1.	Bilangan Setana :					
	Angka Setana, atau		48	-	D613	-
	Indeks Setana		45	-	D4737	-
2.	Berat Jenis (pada Suhu 15°C)	kg/m <sup>3</sup>	815	870	D4052/ D1298	-
3.	Viskositas (pada Suhu 40°C)	mm <sup>2</sup> /s	2,0	4,5	D445	-
4.	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,25 0,05 <sup>1)</sup> 0,005 <sup>2)</sup>	D4294/ D5453/ D2622	-
5.	Distilasi : 90% vol. Penguapan	°C	-	370	D86	-
6.	Titik Nyala	°C	52	-	D93	-
7.	Titik Kabut, atau	°C	-	18	D2500/ D5773	-
	Titik Tuang	°C	-	18	D97/ D5949	-
8.	Residu Karbon	% m/m	-	0,1	D189/ D4530	-
9.	Kandungan Air	mg/kg	-	400	D6304/ D1744	-
10.	Korosi Bilah Tembaga	Kelas	-	Kelas 1	D130	-
11.	Kandungan Abu	% m/m	-	0,01	D482	ISO 6245
12.	Kandungan Sedimen	% m/m	-	0,01	D473	-
13.	Bilangan Asam Kuat	mg KOH/g	0		D664	-
14.	Bilangan Asam Total	mg KOH/g	-	0,6	D664	-
15.	Penampilan Visual	-	Jernih dan Terang			Visual
16.	Warna	No. ASTM	-	3	D1500	-
17.	Lubrisitas (HFRR wear scar dia.@60°C)	micron	-	460 <sup>3)</sup>	D6079	-

Standar Mutu Bahan Bakar Diesel (Solar) Menurut Dirjen Migas (No.146.K/10/DJM/2020)

No	Bahan Bakar	Nilai Kalor (MJ/Kg)
1	Solar	42,6
2	Bensin	43,4
3	Metil Ester (Biodiesel)	37,5
4	Minyak Nabati (Biodiesel)	37,8
5	Minyak Tanah	43
6	Minyak Gas	42,8

Nilai Kalor Beberapa Bahan Bakar

([https://www.engineeringtoolbox.com/amp/fuels-higher-calorific-values-d\\_169.html](https://www.engineeringtoolbox.com/amp/fuels-higher-calorific-values-d_169.html))

Lampiran 2  
Gambar Penelitian



Gambar Alat Pirolisis



Proses Pengolahan Bahan



Proses Pirolisis Reaktor 1



Proses Pirolisis Reaktor 2

Lampiran 3  
Tabel Data Proses Penelitian

a) Non Katalis

Reaktor 1

<b>Berat Sampah (gram)</b>	<b>Berat Katalis (gram)</b>	<b>Waktu (menit)</b>	<b>Suhu (°C)</b>
2000	0	30	100
		60	260
		90	300
		120	200
Total Berat Minyak Yang Dihasilkan		1736 gram	

Reaktor 2

<b>Berat Minyak (gram)</b>	<b>Waktu (menit)</b>	<b>Suhu (°C)</b>
1736	90	250-300
Total Berat Minyak Yang Dihasilkan		1699 gram

b) Katalis

Reaktor 1

<b>Berat Sampah (gram)</b>	<b>Berat Katalis (gram)</b>	<b>Waktu (menit)</b>	<b>Suhu (°C)</b>
2000	400	30	130
		60	150
		90	250
		120	300
Total Berat Minyak Yang Dihasilkan		1587 gram	

Reaktor 2

<b>Berat Minyak (gram)</b>	<b>Waktu (menit)</b>	<b>Suhu (°C)</b>
1587	90	250-300
Total Berat Minyak Yang Dihasilkan		1706 gram

## Lampiran 4 Data Hasil Uji Karakteristik

Issuing Office:  
Jl. Jend. A. Yani. No. 315 Surabaya 60234, Indonesia  
Phone/Facs: +62 31 8470547/8470635  
Email: jum.sba@sucofindo.co.id

### REPORT OF ANALYSIS

CLIENT : PT. NUR FALACHYAH OKTAVIYANI  
Sunan Giri 18-C/27 RT. 004 RW. 001 Giri, Kebomas, Gresik

THE FOLLOWING SAMPLE(S) WERE/ WAS SUBMITTED AND IDENTIFIED BY CLIENT AS :

TYPE OF SAMPLE : SOLAR 15°

TEST REQUIRED : Density at °C, Kinematic Viscosity at 40°C, Pour point and Flash Point PMCC

SAMPLE IDENTIFICATION : Following statement were stated by Client and not verified by SUCOFINDO  
SOLAR | TANPA KATALIS

DATE OF RECEIVED : July 12 2023

DESCRIPTION OF SAMPLE : Form : Liquid  
Volume received : 1500 ml (approx)  
Packing : Bottle

PERIOD OF ANALYSIS : 12 up to July 25, 2023

We have tested the sample(s) submitted and the following results were obtained

Parameter	Unit	Result	Methods
Density at °C	kg/l	0.7914	ASTM D. 1298
Kinematic Viscosity at 40°C	cSt	2.138	ASTM D. 445
Pour point	°C	3	ASTM D. 97
Flash Point PMCC	°C	28	ASTM D. 93

*This result related to the samples submitted only and the report/certificate can not be reproduced  
In anyway, except in full context and with prior approval in writing from Sucofindo Laboratory*

This Certificate/report is issued under our General Terms and Conditions, copy of which is available upon request or may be accessed at [www.sucofindo.co.id](http://www.sucofindo.co.id)

**Dept. of Commercial 3 - Testing & Eco-Framework**

LSB/7103/10-103-01/000076/07/2023-1

KA/ydi

71030623002372-01

**Khoiril Anam**

## REPORT OF ANALYSIS

CLIENT : PT. NUR FALACHYAH OKTAVIYANI  
 Sunan Giri 18-C/27 RT. 004 RW. 001 Giri, Kebomas, Gresik

THE FOLLOWING SAMPLE(S) WERE/ WAS SUBMITTED AND IDENTIFIED BY CLIENT AS :

TYPE OF SAMPLE : SOLAR 15°

TEST REQUIRED : Density at °C, Kinematic Viscosity at 40°C, Pour point and Flash Point PMCC

SAMPLE IDENTIFICATION : Following statement were stated by Client and not verified by SUCOFINDO  
 SOLAR | KATALIS

DATE OF RECEIVED : July 12 2023

DESCRIPTION OF SAMPLE : Form : Liquid  
 Volume received : 1500 ml (approx)  
 Packing : Bottle

PERIOD OF ANALYSIS : 12 up to July 25, 2023

We have tested the sample(s) submitted and the following results were obtained

Parameter	Unit	Result	Methods
Density at °C	kg/l	0.7960	ASTM D. 1298
Kinematic Viscosity at 40°C	cSt	2.446	ASTM D. 445
Pour point	°C	9	ASTM D. 97
Flash Point PMCC	°C	28	ASTM D. 93

*This result related to the samples submitted only and the report/certificate can not be reproduced  
 In anyway, except in full context and with prior approval in writing from Sucofindo Laboratory*

This Certificate/report is issued under our General Terms and Conditions, copy of which is available upon request or may be accessed at [www.sucofindo.co.id](http://www.sucofindo.co.id)

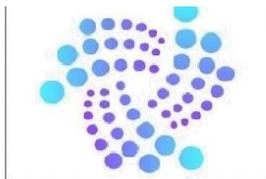
**Dept. of Commercial 3 - Testing & Eco-Framework**

LSB/7103/10-103-01/000076/07/2023-2

KA/ydi

71030623002372-02

**Khoiril Anam**



## I Solusindo Asia, CV

Solution of Asia

Karah Agung XII no 15, Surabaya, 60232

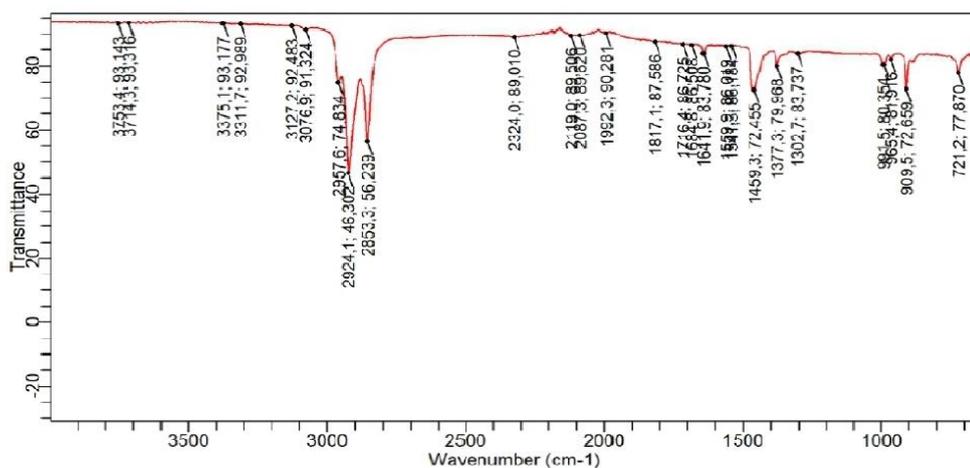
### LAPORAN HASIL ANALISA

Nomor : 001/LHP/IX/2023

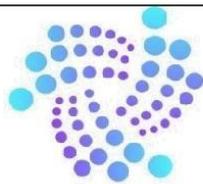
1. Nama Pelanggan : Nur Falachiyah
2. Alamat : Fisika – UIN Malang
3. Nama Pengirim Sampel : -
4. No. Telepon/HP : 08983421135
5. Kode sampel : Katalis, Non-Katalis
6. Nama sampel : Solar
7. Tanggal penerimaan sampel : 13 Agustus 2023
8. Tanggal pengujian :
9. Jenis Uji : FTIR, Titik Beku, Nilai Kalor
10. Metode Uji : Terlampir
11. Hasil pengujian

#### a. Hasil Uji FTIR

##### i) Katalis



Peak Number	Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )	Intensity
1	723.10354	83.78213



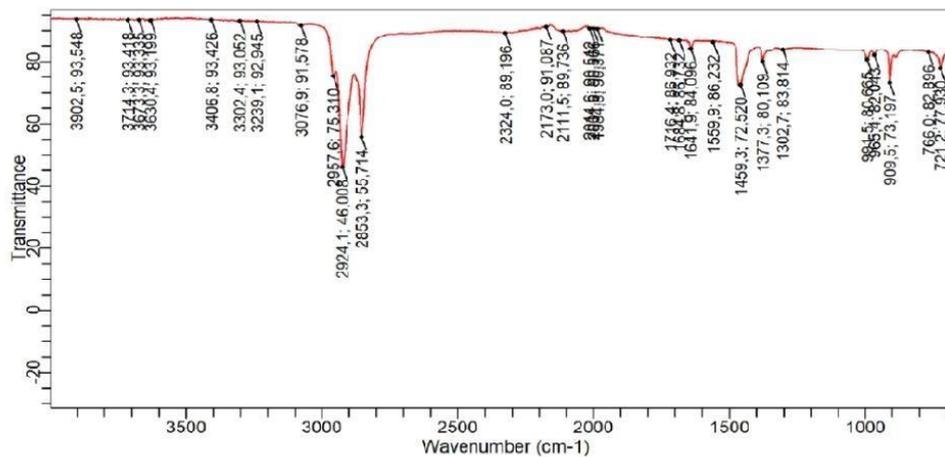
## I Solusindo Asia, CV

Solution of Asia

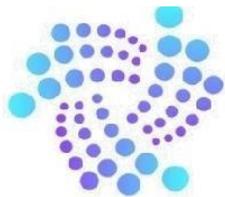
Karah Agung XII no 15, Surabaya, 60232

2	849.83303	94.58014
3	1013.83589	90.92945
4	1170.38408	68.44132
5	1356.75097	89.32614
6	1461.11643	80.48493
7	1744.39411	52.06878
8	2855.14078	65.89970
9	2922.23286	54.04504

### ii) Non-Katalis



Peak Number	Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )	Intensity
1	723.10354	83.79051
2	849.83303	94.62610
3	1013.83589	91.13547
4	1170.38408	68.48759
5	1364.20565	89.30094
6	1461.11643	80.36129
7	1744.39411	52.06390
8	2855.14078	65.81858
9	2922.23286	53.96743



## I Solusindo Asia, CV

Solution of Asia

Karah Agung XII no 15, Surabaya, 60232

### b. Uji Nilai Kalor dan Cloud Point

Suhu : 23,8 °C

Humidity : 48%

No.	Nama Contoh	Jenis Uji	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
1	Katalis	Nilai Kalor	11.235	kal/gr	IKA/LEL-ITS/BK
		<i>Cloud Point</i>	16	°C	ASTM D2500
2	Non Katalis	Nilai Kalor	11.029	kal/gr	IKA/LEL-ITS/BK
		<i>Cloud Point</i>	12	°C	ASTM D2500

### c. Catatan

- Hasil pengujian hanya berlaku untuk sampel yang diuji

Surabaya, 4 September 2023

COO CV ITHARARI  
SOLUSINDO ASIA

Afifatul Jannah, ST

10/06/24, 17:42

Sistem Informasi Akademik Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang 2.0



KEMENTERIAN AGAMA  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG

Jalan Gajayana Nomor 50, Telepon (0341)551354, Fax. (0341) 572533  
Website: <http://www.uin-malang.ac.id> Email: [info@uin-malang.ac.id](mailto:info@uin-malang.ac.id)

## JURNAL BIMBINGAN SKRIPSI/TESIS/DISERTASI

## IDENTITAS MAHASISWA

NIM : 18640030  
 Nama : NUR FALACHIYAH OKTAVIYANI  
 Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI  
 Jurusan : FISIKA  
 Dosen Pembimbing 1 : Drs. CECEP E RUSTANA, B.Sc Hons., Ph.D.  
 Dosen Pembimbing 2 : AHMAD ABTOKHI, M.Pd  
 Judul Skripsi/Tesis/Disertasi : KARAKTERISTIK BAHAN BAKAR DIESEL DARI LIMBAH PLASTIK

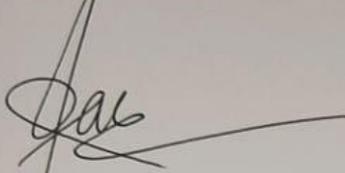
## IDENTITAS BIMBINGAN

No	Tanggal Bimbingan	Nama Pembimbing	Deskripsi Proses Bimbingan	Tahun Akademik	Status
1	19 Agustus 2022	Drs. CECEP E RUSTANA, B.Sc Hons., Ph.D.	Konsultasi BAB I, II, dan III	Ganjil 2022/2023	Sudah Dikoreksi
2	18 September 2022	Drs. CECEP E RUSTANA, B.Sc Hons., Ph.D.	Konsultasi BAB I, II dan III	Ganjil 2022/2023	Sudah Dikoreksi
3	29 September 2022	Drs. CECEP E RUSTANA, B.Sc Hons., Ph.D.	Konsultasi BAB I, II dan III ACC	Ganjil 2022/2023	Sudah Dikoreksi
4	26 Oktober 2023	Drs. CECEP E RUSTANA, B.Sc Hons., Ph.D.	Konsultasi BAB IV	Ganjil 2022/2023	Sudah Dikoreksi
5	01 November 2023	Drs. CECEP E RUSTANA, B.Sc Hons., Ph.D.	Konsultasi BAB IV	Ganjil 2022/2023	Sudah Dikoreksi
6	15 November 2023	Drs. CECEP E RUSTANA, B.Sc Hons., Ph.D.	Konsultasi BAB IV	Ganjil 2022/2023	Sudah Dikoreksi
7	17 November 2023	Drs. CECEP E RUSTANA, B.Sc Hons., Ph.D.	Konsultasi BAB IV ACC	Ganjil 2022/2023	Sudah Dikoreksi
8	06 Desember 2023	AHMAD ABTOKHI, M.Pd	Konsultasi BAB I, II dan IV ACC	Ganjil 2022/2023	Sudah Dikoreksi

9	07 Desember 2023	Drs. CECEP E RUSTANA, B.Sc Hons., Ph.D.	Konsultasi BAB V	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
10	04 Juni 2024	Drs. CECEP E RUSTANA, B.Sc Hons., Ph.D.	Konsultasi Jurnal	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi

Telah disetujui  
Untuk mengajukan ujian Skripsi/Tesis/Desertasi

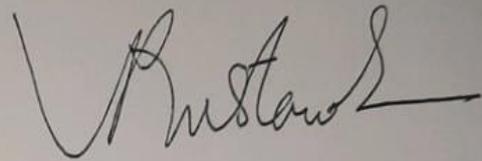
Dosen Pembimbing 2



**AHMAD ABTOKHL, M.Pd**

Malang, 11 Juni 2024

Dosen Pembimbing 1



**Drs. CECEP E RUSTANA, B.Sc Hons., Ph.D.**

Kajur / Kaprodi



**Dr. Imam Tazi, M.Si**