
Strategi Inovatif Dalam Meningkatkan Kinerja Pemanfaatan Limbah Plastik Sebagai Bahan Bakar Melalui Metode Pirolisis

Dhiya Suci Auliyah, Dina Aulia Rahmani, Mochammad Iqbal Ramadhan, Agustina Dyah Setyowati, Ade Irawan, Sulanjari

Fakultas Teknik, Universitas Pamulang, Pamulang, Indonesia

Email: dosen00991@unpam.ac.id, dosen00691@unpam.ac.id, dosen00991@unpam.ac.id, dosen01182@unpam.ac.id

Article History:

Received: 01 Januari 2024

Revised: 10 Januari 2024

Accepted: 11 Januari 2024

Keywords: *Pirolisis, Limbah Plastik, Polietilen, Polipropilen, LDPE, HDPE, Zeolit.*

Abstrak: *Peningkatan konsumsi plastik global telah menyebabkan dampak serius terhadap lingkungan dan menimbulkan tantangan dalam manajemen limbah. Salah satu solusi inovatif yang diusulkan adalah pemanfaatan limbah plastik melalui metode pirolisis untuk menghasilkan bahan bakar cair. Studi ini mencakup penelitian mengenai pirolisis limbah plastik memberikan pandangan holistik terhadap implementasi teknologi ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan strategi inovatif dalam meningkatkan kinerja pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan bakar melalui pirolisis. Tujuan penelitian melibatkan optimasi proses pirolisis, analisis produk hasil pirolisis, penentuan efisiensi konversi, pengembangan strategi inovatif, dan pembangunan model konseptual. Penelitian juga mengidentifikasi karakteristik fisik dan kimia dari bahan bakar hasil pirolisis, seperti kestabilan, viskositas, dan nilai kalor. Metode penelitian melibatkan penggunaan reaktor pirolisis berbentuk silinder dengan kontrol suhu otomatis, kondensor untuk mengembalikan hasil pirolisis menjadi bahan bakar cair, dan peralatan analisis karakteristik produk. Bahan utama yang digunakan adalah limbah plastik polietilen dan polipropilen. Hasil analisis menunjukkan bahwa pirolisis limbah plastik, terutama dari jenis polietilen dan polipropilen, dapat menghasilkan bahan bakar cair dengan potensi nilai kalor tinggi. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan katalis, seperti zeolit, dapat mengurangi kuantitas zat cair yang dihasilkan dari proses pirolisis. Berbagai faktor seperti suhu reaktor, waktu pirolisis, dan jenis katalis memengaruhi hasil konversi. Dalam konteks konversi limbah plastik menjadi bahan bakar melalui metode pirolisis, menunjukkan bahwa suhu reaktor, waktu*

pirolisis, dan jenis plastik menjadi faktor kunci yang memengaruhi hasil konversi. Suhu optimal antara 230-300°C dan penambahan katalis dapat meningkatkan yield gas. Tantangan seperti manajemen gas sisa dan dampak lingkungan perlu diatasi. Diperlukan upaya lebih lanjut untuk meningkatkan efisiensi proses dan menangani sifat-sifat khusus bahan bakar hasil pirolisis. Keseluruhan, metode pirolisis menawarkan potensi solusi yang berharga untuk mengelola limbah plastik dan mendukung pemanfaatannya sebagai sumber energi alternatif.

PENDAHULUAN

Peningkatan konsumsi plastik di seluruh dunia telah memberikan dampak serius terhadap lingkungan dan menimbulkan tantangan besar terkait manajemen limbah. Dalam upaya mengatasi masalah ini, salah satu solusi inovatif yang diusulkan adalah pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan bakar melalui metode pirolisis. Metode ini melibatkan dekomposisi termal limbah plastik pada suhu tinggi tanpa adanya oksigen, menghasilkan berbagai produk termal, termasuk bahan bakar cair.

Sejumlah penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pirolisis mampu mengubah limbah plastik menjadi bahan bakar yang dapat dimanfaatkan, memberikan potensi untuk mengurangi jumlah limbah plastik yang masuk ke tempat pembuangan akhir.

Dengan memperhatikan dampak positif yang telah teridentifikasi, penelitian ini memiliki tujuan utama, yaitu mengembangkan dan menerapkan strategi inovatif dalam proses pirolisis untuk meningkatkan kinerja pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan bakar. Tujuan khusus penelitian ini mencakup evaluasi dan optimalisasi parameter-proses pirolisis, seperti suhu, waktu reaksi, dan jenis katalis, dengan tujuan memperoleh hasil yang maksimal dalam konversi limbah plastik menjadi bahan bakar.

Selain itu, penelitian ini akan membentuk model konseptual sebagai dasar untuk mengembangkan strategi inovatif lebih lanjut dalam memanfaatkan limbah plastik sebagai bahan bakar melalui metode pirolisis. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam mendukung keberlanjutan lingkungan serta keberlanjutan sumber daya energi melalui pendekatan inovatif dalam pemanfaatan limbah plastik.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini, digunakan sejumlah alat dan bahan yang dirancang untuk memahami dan meningkatkan kinerja pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan bakar melalui metode pirolisis. Alat utama yang digunakan adalah reaktor pirolisis berbentuk silinder, dilengkapi dengan kontrol suhu otomatis untuk memastikan suhu pirolisis optimal. Proses pemanasan dilakukan menggunakan sistem listrik atau gas, yang diatur untuk mencapai kondisi pirolisis yang diinginkan.

Kondensor juga menjadi bagian dari alat eksperimen, berfungsi untuk mengembalikan hasil pirolisis menjadi fase cair, terutama bahan bakar cair, dengan

tingkat efisiensi yang tinggi. Peralatan analisis karakteristik produk, digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis produk pirolisis dengan rinci.

Peralatan pengukuran parameter fisik seperti alat pengukur suhu dan tekanan, serta alat ukur viskositas dan kestabilan, juga digunakan untuk memantau kondisi pirolisis secara real-time dan memahami sifat fisik produk yang dihasilkan.

Bahan utama yang digunakan adalah limbah plastik polietilen dan polipropilen, sebagai bahan baku utama. Katalis khusus, seperti zeolit, juga ditambahkan untuk perbandingan efisiensi konversi limbah plastik menjadi bahan bakar dengan metode non katalis. Adanya gas pendorong, seperti nitrogen, dan pelarut tertentu dapat diperlukan untuk modulasi atmosfer dalam reaktor pirolisis. Selain itu, calon bahan bakar cair hasil pirolisis limbah plastik juga diperlukan untuk uji coba dan analisis lebih lanjut.

Metode

Identifikasi jenis-jenis limbah plastik yang akan digunakan sebagai bahan baku dalam proses pirolisis. Materi plastik dipersiapkan, termasuk pengklasifikasian dan pemisahan limbah plastik untuk memastikan homogenitas dan konsistensi bahan baku. Perancangan reaktor pirolisis disesuaikan dengan jenis limbah plastik yang akan diolah. Persiapkan reaktor dengan parameter operasional yang optimal, seperti suhu, tekanan, dan waktu tinggal. Suhu pirolisis berada dalam kisaran suhu tinggi, yaitu sekitar 300°C hingga 800°C.

Lakukan eksperimen pirolisis menggunakan reaktor yang telah dipersiapkan. Kontrol parameter operasional sesuai dengan desain eksperimen, dan pantau perubahan fisis dan kimia yang terjadi selama proses. Catat data suhu, rendemen, dan kualitas produk pirolisis yang dihasilkan. Analisis komposisi dan sifat produk pirolisis menggunakan teknik analisis laboratorium yang relevan perlu dilakukan. Metode analisis dapat mencakup analisis GC-MS (Gas Chromatography-Mass Spectrometry), FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy), dan analisis fisik lainnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pirolisis adalah suatu proses kimia yang melibatkan dekomposisi termal bahan organik pada suhu tinggi dalam kondisi tanpa oksigen atau dengan jumlah oksigen yang sangat terbatas. Proses ini mengubah bahan organik, seperti limbah plastik, menjadi produk-produk termal seperti gas, cairan, dan padatan. Dalam konteks pengolahan limbah plastik menjadi bahan bakar, pirolisis digunakan untuk mengubah polimer plastik menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana dan dapat digunakan sebagai sumber energi.

Keberhasilan pirolisis juga tergantung pada kontrol suhu dengan cermat untuk memastikan kondisi yang tepat untuk proses kimia yang diinginkan. Suhu yang terlalu rendah mungkin menghasilkan produk yang tidak diinginkan atau rendah nilai kalor, sedangkan suhu yang terlalu tinggi dapat meningkatkan risiko degradasi atau pembentukan produk yang tidak diinginkan. Berikut adalah beberapa informasi umum tentang kisaran suhu dalam proses pirolisis untuk pengolahan limbah plastik:

- a. Suhu Rendah (300-500°C): Pada suhu ini, terjadi proses pirolisis yang mengubah limbah plastik menjadi gas dan minyak ringan. Produk pirolisis pada suhu ini biasanya lebih cair.
- b. Suhu Menengah (500-700°C): Pada suhu ini, lebih banyak gas dan minyak cair terbentuk, dan reaksi pirolisis menjadi lebih intensif. Produk yang dihasilkan

dapat mencakup campuran gas, minyak cair, dan residu padatan.

- c. Suhu Tinggi (di atas 700°C): Pada suhu ini, reaksi pirolisis mencapai tingkat maksimum intensitas. Lebih banyak gas yang dihasilkan, dan minyak cair yang dihasilkan memiliki potensi nilai kalor yang tinggi. Residu padatan yang tersisa umumnya lebih sedikit.

Keuntungan utama dari pirolisis dalam konteks pengolahan limbah plastik adalah kemampuannya untuk mengonversi limbah plastik menjadi bentuk energi yang dapat dimanfaatkan, seperti bahan bakar cair. Selain itu, pirolisis juga dapat membantu mengurangi volume limbah plastik dan mengurangi dampak lingkungan dari akumulasi plastik di tempat pembuangan akhir. Namun, perlu dicatat bahwa proses pirolisis juga memunculkan tantangan, seperti pengelolaan residu padatan dan pemilihan kondisi operasional yang optimal untuk menghasilkan produk yang diinginkan.

Untuk menghasilkan bahan bakar dari limbah plastik, jenis plastik yang digunakan memiliki dampak signifikan terhadap efisiensi dan karakteristik produk pirolisis. Berbagai jenis plastik memiliki struktur kimia yang berbeda, yang dapat menghasilkan produk pirolisis yang bervariasi. Salah satu jenis plastik yang digunakan dalam penelitian pirolisis meliputi:

1. Polietilen (PE)



Gambar 1 : Limbah Plastik Polietilen

Polietilen (PE) adalah salah satu jenis polimer plastik yang paling umum digunakan di dunia. Plastik ini terdiri dari rantai karbon yang panjang, yang membuatnya fleksibel, tahan terhadap kimia, dan memiliki isolasi listrik yang baik. Polietilen ditemukan pada tahun 1930-an oleh dua insinyur, Eric Fawcett dan Reginald Gibson, saat mereka bekerja di perusahaan kimia Imperial Chemical Industries (ICI) di Britania Raya. Polietilen adalah salah satu jenis plastik yang sering dipilih untuk diolah menjadi bahan bakar. Proses pirolisis polietilen melibatkan pemanasan plastik pada suhu tinggi dalam lingkungan tanpa oksigen, yang mengakibatkan dekomposisi molekul polietilen menjadi berbagai produk termal. Hasil pirolisis polietilen dapat mencakup bahan bakar cair, gas, dan residu padatan.

Keuntungan penggunaan polietilen dalam pirolisis antara lain kemudahan mendapatkannya sebagai limbah plastik umum, sifat-sifat pembakaran yang baik, dan potensi nilai kalor yang diperoleh dari produk pirolisisnya. Namun, penting untuk mempertimbangkan aspek keberlanjutan dan manajemen limbah dalam penggunaan polietilen atau plastik secara umum, serta mengatasi potensi masalah lingkungan yang mungkin timbul selama proses pirolisis. Ada dua bentuk utama polietilen yang digunakan secara luas:

➤ Polietilen Berdensitas Rendah (LDPE):

Polietilen Berdensitas Rendah (Low-Density Polyethylene/LDPE) adalah jenis plastik polietilen yang memiliki struktur rantai karbon yang tidak teratur. LDPE umumnya digunakan dalam berbagai aplikasi konsumen karena sifat-sifat khasnya yang fleksibel, transparan, dan tahan terhadap kerusakan oleh radiasi. Beberapa karakteristik dan penggunaan umum LDPE antara lain: Struktur rantai karbon yang tidak teratur, Lebih lunak dan fleksibel, Transparan atau sedikit berwarna, Tahan terhadap kerusakan oleh radiasi dan memiliki isolasi listrik yang baik.

Konversi limbah plastik menjadi bahan bakar melalui metode pirolisis, LDPE dapat menjadi salah satu kandidat yang menarik. Beberapa poin yang dapat dipertimbangkan dalam penggunaan LDPE dalam pirolisis:

- Potensi untuk Bahan Bakar Cair: LDPE dapat diubah menjadi bahan bakar cair melalui proses pirolisis, menghasilkan produk seperti minyak dan gas yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi.
- Pemanasan pada Suhu Tertentu: Pirolisis LDPE umumnya dilakukan pada suhu tinggi, di atas suhu dekomposisi plastik pada umumnya, untuk memastikan terjadinya proses pirolisis dengan efisien.
- Karakteristik Produk Pirolisis: Produk pirolisis LDPE dapat mencakup bahan bakar cair yang memiliki potensi nilai kalor yang dapat dimanfaatkan.

➤ Polietilen Berdensitas Tinggi (HDPE):

Polietilen Berdensitas Tinggi (High-Density Polyethylene/HDPE) adalah salah satu jenis polietilen yang umum digunakan. HDPE memiliki struktur molekuler yang lebih padat dan lebih teratur dibandingkan dengan Polietilen Berdensitas Rendah (LDPE). Berikut adalah beberapa karakteristik dan penggunaan umum dari HDPE: Struktur rantai karbon lebih teratur dan padat, Lebih keras dan tahan terhadap suhu tinggi, Berwarna putih atau transparan, Tahan terhadap bahan kimia. Dalam konteks pirolisis untuk mengubah limbah plastik menjadi bahan bakar, HDPE bisa menjadi bahan baku yang potensial. Beberapa pertimbangan untuk penggunaan HDPE dalam pirolisis meliputi:

- Ketahanan terhadap Suhu Tinggi: HDPE memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi, yang membuatnya dapat diolah dalam suhu pirolisis yang diperlukan.
- Potensi Produk Pirolisis: Proses pirolisis HDPE dapat menghasilkan bahan bakar cair, gas, dan residu padatan. Bahan bakar cair tersebut dapat memiliki nilai kalor yang tinggi dan dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi.
- Karakteristik Produk: Produk pirolisis HDPE dapat mencakup minyak cair dengan karakteristik yang sesuai untuk aplikasi bahan bakar atau bahan baku kimia.

2. Polipropilen (PP)



Gambar 2 : Limbah Plastik Polipropilen

Polipropilen (PP) adalah salah satu jenis polimer termoplastik yang paling umum digunakan. Ini adalah polimer yang memiliki sifat-sifat khas yang membuatnya sangat serbaguna dan banyak digunakan dalam berbagai aplikasi. Polipropilen dapat menjadi bahan baku yang potensial untuk menghasilkan bahan bakar cair dan gas. Proses pirolisis pada polipropilen melibatkan pemanasan plastik pada suhu tinggi dalam kondisi tanpa oksigen atau kondisi yang memiliki jumlah oksigen yang sangat terbatas. Ini mengakibatkan dekomposisi molekul polipropilen menjadi berbagai produk termal, termasuk bahan bakar cair yang dapat digunakan sebagai sumber energi.

Penting untuk memahami dan mengelola dampak lingkungan dari proses pirolisis dan memastikan bahwa limbah plastik diolah dengan cara yang berkelanjutan. Implementasi pirolisis pada polipropilen dapat membantu mengurangi volume limbah plastik dan menghasilkan sumber energi alternatif. Beberapa karakteristik polipropilen meliputi:

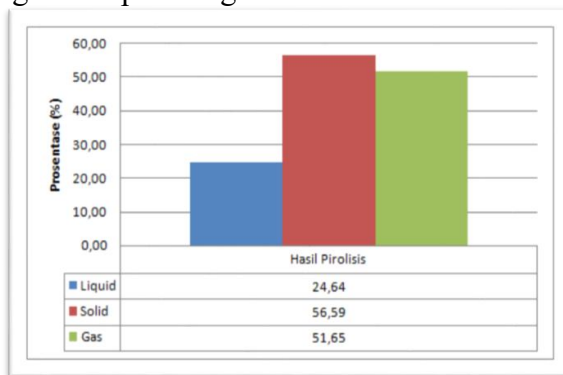
- a. Struktur Kimia: Merupakan polimer termoplastik dengan struktur rantai karbon
- b. Sifat Fisik: Tahan terhadap panas dan memiliki titik leleh yang tinggi, Tahan terhadap bahan kimia, termasuk asam dan basa, Ringan dan memiliki kekuatan yang baik.
- c. Aplikasi Umum: Kemasan makanan, termasuk botol dan wadah, Kantong belanja dan produk tekstil, Produk-produk otomotif dan peralatan rumah tangga. Dalam konteks pirolisis, polipropilen dapat menjadi kandidat yang menarik sebagai bahan baku. Beberapa poin yang dapat dipertimbangkan:
- d. Sifat Termal: Polipropilen dapat mengalami pirolisis pada suhu yang cukup tinggi tanpa mengalami degradasi signifikan.
- e. Produk Pirolisis: Pirolisis polipropilen dapat menghasilkan bahan bakar cair, gas, dan residu padatan. Produk cairnya dapat memiliki nilai kalor yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar.
- f. Manajemen Limbah: Pemanfaatan pirolisis pada polipropilen dapat membantu dalam manajemen limbah plastik dan menghasilkan energi alternatif dari limbah tersebut.

Penggunaan plastik dalam proses pirolisis memerlukan penanganan yang tepat untuk mengatasi dampak lingkungan dan memastikan keberlanjutan proses tersebut. Implementasi pirolisis juga harus memperhatikan berbagai faktor, termasuk jenis plastik yang tersedia dan karakteristik yang diinginkan dari produk pirolisisnya.

Dalam evaluasi konversi limbah plastik, beberapa jurnal dijadikan sebagai

perbandingan. Jurnal-jurnal tersebut memberikan wawasan mendalam mengenai proses pirolisis limbah plastik, suhu reaktor yang optimal, waktu pirolisis yang efisien, serta karakteristik fisik dan kimia dari bahan bakar hasil konversi. Analisis terhadap berbagai variabel seperti suhu, jenis plastik, dan desain reaktor memberikan gambaran holistik tentang efisiensi proses konversi limbah plastik menjadi bahan bakar, yang dapat menjadi dasar bagi peningkatan metode dan teknologi pengelolaan limbah plastik.

Studi yang dilakukan oleh Tinton Norsujianto mengeksplorasi proses pirolisis limbah plastik LDPE menggunakan katalis zeolit alami yang dikalsinasi. Hasil pirolisis menunjukkan distribusi produk, dengan produk gas sebesar 51,65%, dan produk cair sebesar 24,64% dari massa total. Penelitian ini mencatat peningkatan fraksi padat dan gas pada suhu 400°C, diperkirakan karena kekurangan energi termal untuk memutus ikatan LDPE, menyebabkan waktu reaksi yang lebih lama, dengan lamanya waktu reaksi menyebabkan laju perpindahan kalor dari gas keair pendingin juga kecil, sehingga gas yang sebagian terkondensasi menjadi fraksi cair lebih sedikit dari pada gas yang tidak terkondensasi. Selain itu penggunaan katalis pada proses pirolisis dapat menurunkan produk cair dan meningkatkan produk gas.



Gambar 3 : Grafik Distribusi Produk Pirolisis

Analisis GC-MS menunjukkan kompleksitas senyawa hidrokarbon dalam minyak pirolisis, dan pada suhu 400°C terdapat 114 peaks, mencerminkan variasi unsur kimia dalam fraksi cair.

PEAKS	Area %	Nama Senyawa Kimia	Rumus Kimia	Rumus Dasar	Nomor Atom	PONA
3	2,21	BUTANOL	C ₅ H ₁₂	C _n H _{n+2}	5	Parffin
9	3,26	BENZENE	C ₆ H ₆	C _n H _n	6	Aromatic
13	3,1	HEPTYNE	C ₇ H ₁₂	C _n H _{2n-2}	7	Acetylene
58	1,64	TRICOSANE	C ₂₃ H ₄₈	C _n H _{2n+2}	23	Parffin
92	2,66	TRICOSANE	C ₂₃ H ₄₈	C _n H _{2n+2}	23	Parffin

Tabel 1 : Data GC WPO temperatur 400°C

Distribusi rantai karbon dan klasifikasi senyawa hidrokarbon seperti parafin, olefin, naphthane, aromatic, dan acetylene diperhatikan. Lima unsur kimia tertinggi mencakup Benzene, Heptyne, Tricosane, Butanol, dan Tricosane. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa komposisi bahan baku plastik pada proses pirolisis menentukan arah kecenderungan pembentukan senyawa-senyawa hidrokarbon yang dihasilkan.

Jenis senyawa hidrokarbon yang terbentuk selama proses pirolisis limbah plastik dipengaruhi oleh komposisi bahan baku plastik. Parafin memiliki keunggulan sebagai

pelumas dengan kualitas pembakaran optimal, sedangkan senyawa aromatik memiliki kelebihan dalam sifat anti-knocking dan stabilitas penyimpanan. Pengamatan ini dapat memberikan wawasan yang berguna untuk optimalisasi proses pirolisis dan penggunaan hasilnya dalam konteks pengembangan bahan bakar.

Kesetimbangan energi menunjukkan bahwa konsumsi energi listrik lebih besar dibandingkan energi termal yang dihasilkan. Minyak pirolisis dari bahan baku plastik tunggal memiliki properti minyak yang terbaik dilihat dari massa jenis yang rendah, viskositas kinematis yang rendah dan nilai kalori tinggi.

Ademola dan Olagboye melakukan proses pirolisis di pabrik laboratorium pada suhu 170-300°C. Suhu dijaga agar plastik meleleh dan menghasilkan uap dengan waktu optimal antara 230-280°C, dan suhu maksimum produksi dinaikkan hingga 300°C.

Limbah Plastik	Bahan Bakar %	Gas Ringan (C1-C4) %	Residu Padat %	Suhu reaksi rata-rata	Waktu reaksi
PP	91,981	2,073	5,944	225°C	210 menit
LDPE	87,972	5,806	6,221	210°C	230 menit
HDPE	89,354	5,345	5,299	213°C	220 menit
Mixed Plastic	85,331	6,995	7,674	197°C	260 menit

Tabel 2 : Persentase Hasil Produksi Sampah Plastik terhadap Bahan Bakar

Bahan bakar minyak yang dihasilkan melalui proses tersebut dianalisis menggunakan FT-IR spectrometer, dengan tujuan melakukan karakterisasi. Sifat panas pembakaran dari bahan bakar yang dihasilkan dibandingkan dengan standar ASTM D240. Selain itu, analisis gravitasi API dan kandungan sulfur dilakukan dengan merujuk pada metode pengujian ASTM D4052 dan ASTM D4053 masing-masing.

Name of waste plastic to fuel	ASTM test method	Gross heat of combustion Btu/Gal	Mega Joule/Gal
HDPE	D240	123,845	130.66
LDPE	D240	126,247	133.19
PP	D240	125,307	132.2
Mixed Plastic	D240	134,202	141.59

Tabel 3 : Nilai Btu bahan bakar individu limbah plastik dan Mega Joule/galon

Name of waste plastic to fuel	ASTM test method	HDPE	LDPE	PP	Mixed plastic
D4052	API Gravity	53.7	53	56.4	25.1
	@ 60 OF	0API	0API	0API	0API
D4053	Sulphur	3.05 ppm	2.10 ppm	<1.0 ppm	4.50 ppm

Tabel 4 : Kandungan Gravitasi dan Belerang API Bahan Bakar Individual

Perbandingan densitas dan analisis FTIR dari bahan bakar minyak yang dihasilkan dari HDPE, LDPE, PP, dan plastik campuran, ditemukan bahwa masing-masing memiliki densitas yang berbeda. HDPE memiliki densitas sebesar 0,782g/ml, LDPE sebesar 0,771g/ml, PP sebesar 0,759g/ml, dan plastik campuran sebesar 0,916g/ml. Analisis FTIR menunjukkan variasi gugus fungsi dan senyawa di antara jenis bahan bakar tersebut. Struktur kimia HDPE dan LDPE menunjukkan kemiripan dengan keberadaan gugus - CH2

- dan -CH3 - dalam rantai polimer. Sementara itu, PP dan plastik campuran mengandung

senyawa benzena aromatik, tetapi PP memiliki gugus metil (-CH₃ -) yang tidak ditemukan pada plastik campuran. Plastik campuran cenderung memiliki monomer benzena dalam hidrokarbon rantai panjang yang berbeda dari jenis plastik lainnya.

Band serial	Wave number (cm ⁻¹)	Functional group name
2	2956.38	C-CH ₃
3	2853.19	CH ₂
4	1641.69	Non-Conjugated
7	1465.41	CH ₃
8	991.76	-CH=CH ₂
9	965.02	-CH=CH-(Trans)
12	909.08	-CH=CH ₂
14	721.39	-CH=CH-(cis)
15	667.88	-CH=CH-(cis)

Tabel 5 : Bahan bakar HDPE

Band serial	Wave number (cm ⁻¹)	Functional group name
2	2956.72	C-CH ₃
3	2922.13	C-CH ₃
4	2853.5	CH ₂
7	1641.78	Non-Conjugated
8	1458.43	CH ₃
9	1377.96	CH ₃
12	964.96	-CH=CH-(Trans)
14	909.1	-CH=CH ₂
15	887.93	CH=CH ₂
16	721.71	-CH=CH-(cis)
17	667.91	-CH=CH-(cis)

Tabel 6 : Bahan LDPE

Band serial	Wave number (cm ⁻¹)	Functional group name
2	3074.99	H bonded NH
3	2955.87	C-CH ₃
4	2912.71	C-CH ₃
7	2871.87	C-CH ₃
8	1650.2	Amides
9	1465.95	CH ₂
12	1377.07	CH ₃
14	965.06	-CH=CH-(Trans)
15	887.02	CH=CH ₂
16	739.06	-CH=CH-(cis)

Tabel 7 : Bahan bakar PP

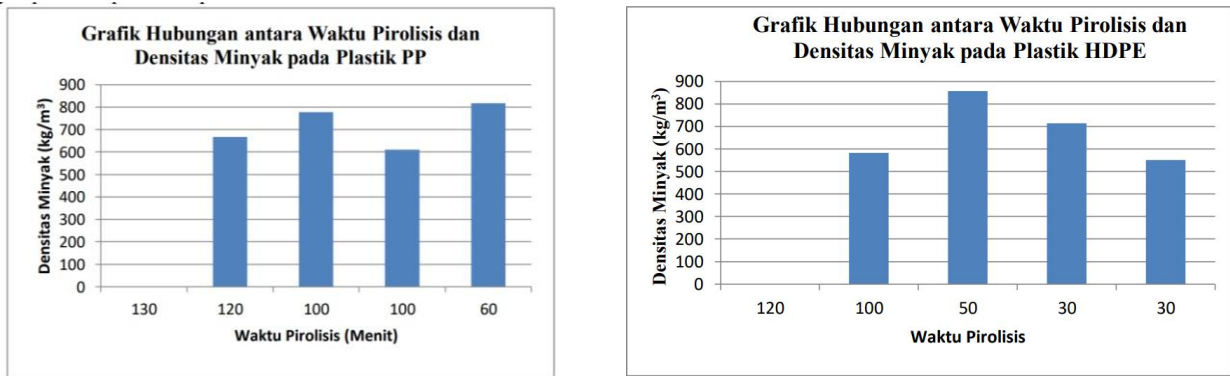
Band serial number	Wave number (cm ⁻¹)	Functional group name
2	3083.59	=C-H
3	3060.73	=C-H
4	2966.73	=C-H
7	2874.03	C-CH ₃
8	1802.56	Non-Conjugated
9	1630.02	Conjugated
12	1414.28	CH ₂
14	1376.1	CH ₃
15	1028.94	Acetates

16	990.91	-CH=CH ₂
17	729.65	-CH=CH-(cis)

Tabel 8 : Bahan bakar campuran

Meskipun hasil analisis FTIR menunjukkan variasi struktur kimia di antara jenis plastik, tidak ada bahaya lingkungan yang signifikan karena kandungan sulfur dalam produk yang dihasilkan dapat diabaikan. Oleh karena itu, penulis menyatakan bahwa konversi termal plastik menjadi bahan bakar minyak adalah solusi yang dapat diandalkan dan berpotensi memberikan dampak positif, tanpa adanya konflik kepentingan yang terkait.

Penelitian yang dilakukan oleh Badrul Wajdi dkk. Memiliki beberapa aspek penting dari penelitian ini mencakup suhu reaktor, waktu pirolisis, dan densitas minyak yang dihasilkan.

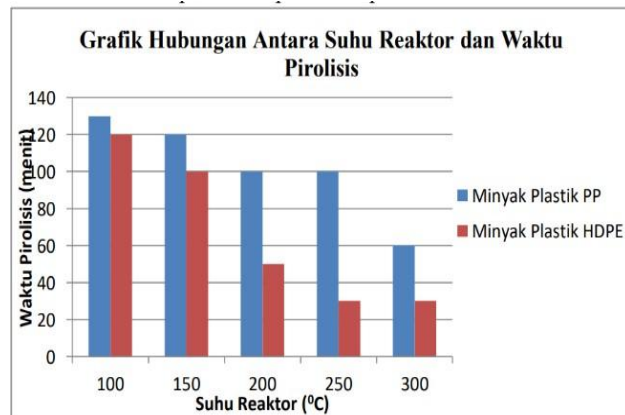


Gambar 4 dan 5 : Hubungan antara Waktu Pirolisis dan Densitas Minyak pada Plastik PP dan HDPE

Suhu (°C)	PP			HDPE		
	Massa Minyak (gr)	Volume Minyak (ml)	Densitas Minyak (kg/m ³)	Massa Minyak (gr)	Volume Minyak (ml)	Densitas Minyak (kg/m ³)
100	0	0	0	0	0	0
150	10	15	666,666	14	24	583,333
200	35	45	777,777	60	70	857,142
250	55	90	611,111	50	70	714,285
300	90	110	818,181	145	80	551,724

Tabel 9 : Data Hasil Densitas Minyak Plastik

Dalam penelitian ini, analisis densitas minyak plastik menunjukkan bahwa pada plastik PP, densitas bahan bakar minyak mendekati 777,777 kg/m³ pada suhu 200°C, yang hampir setara dengan densitas bahan bakar etanol (789 kg/m³). Pada suhu 300°C, densitas mencapai 818,181 kg/m³, mendekati densitas bahan bakar solar (832 kg/m³). Sementara itu, pada plastik HDPE, densitas bahan bakar minyak mencapai 714,285 pada suhu 250°C, mendekati rentang densitas bensin (710 kg/m³ - 770 kg/m³).



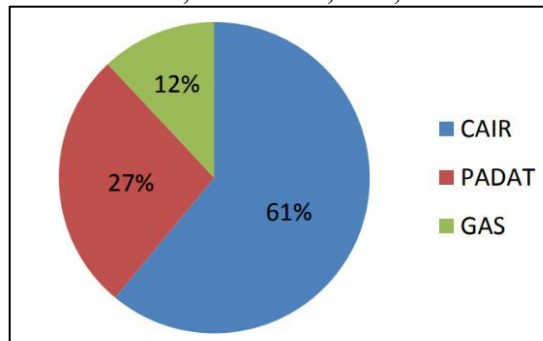
Gambar 6 : Grafik Hubungan Antara Suhu Reaktor dan Waktu Pirolisis

No.	Suhu Reaktor (°C)	Plastik PP		Plastik HDPE	
		Waktu Pirolisis (menit)	Densitas (Kg/l)	Waktu Pirolisis (menit)	Densitas (Kg/l)
1.	100	130	0	120	0
2.	150	120	666,666	100	583,333
3.	200	100	777,777	50	857,142
4.	250	100	611,111	30	714,285
5.	300	60	818,181	30	551,724

Tabel 10 : Data Hasil Pengamatan Proses Pirolisis Sampah Plastik

Diperhatikan bahwa suhu reaktor mempengaruhi volume minyak yang dihasilkan dan waktu pirolisis. Semakin tinggi suhu, semakin besar jumlah minyak yang dihasilkan dan waktu pirolisis menjadi lebih cepat. Namun, densitas bahan bakar minyak plastik tidak memiliki pengaruh yang signifikan, karena nilai densitas dipengaruhi oleh perbandingan massa dan volume minyak plastik.

Penelitian juga menunjukkan bahwa plastik jenis PP (Polypropylene) memberikan kontribusi sebesar 90,42% terhadap variabel dependen suhu, dengan variabel waktu pirolisis dan densitas minyak. Sementara itu, plastik jenis HDPE (High Density Polyethylene) memberikan kontribusi sebesar 92,14%, dengan variabel yang sama. Variabel lainnya berkontribusi sebesar 9,58% dan 7,86%, berturut-turut.



Gambar 7 : Hasil pirolisis untuk produk cair, gas dan padat

Selain itu melalui metode pirolisis juga Prabuditya Bhisma dan Harwin Saptoadi melalui menggunakan suhu 450°C pada penelitiannya. Hasil pirolisis mencakup 61%

bahan bakar cair, 27% bahan bakar gas, dan 12% bahan bakar padat berdasarkan massa. Persentase ini dipengaruhi oleh faktor seperti jenis reaktor, desain reaktor, temperatur, aliran nitrogen, dan residence time.

No.	Properti	Satuan	Biosolar	Pirolisis
1.	Spesific Gravity at 60/60°F	-	0,8445	0,8052
2.	Viskositas Kinematis at 40°C	mm ² /s	4,012	2,438
3.	Titik Nyala	°C	66,5	*)
4.	Titik Tuang	°C	6	33
5.	Titik Kabut	°C	4,0	**)
6.	Kadar Air	% vol	Trace	0,9
7.	Kandungan Abu	% wt	0,076	0,004

Tabel 11 : Karakteristik Minyak Pirolisis

Keterangan:

*) Pada suhu 10°C sudah menyala

***) Cloud Point (titik kabut) tidak dapat diamati, sampel berwarna gelap

Produk pirolisis berasal dari dekomposisi jenis polimer tertentu, dan hasil akhirnya tergantung pada struktur kimia polimer. Beberapa karakteristik minyak pirolisis diuji, termasuk specific gravity, viscosity kinematics, flash point, pour point, water content, dan ash content. Minyak pirolisis memiliki specific gravity lebih rendah dibandingkan dengan biosolar dan viskositas kinematis yang lebih rendah. Minyak tersebut dapat menyala pada suhu rendah (10°C), dan memiliki titik nyala jauh lebih rendah daripada biosolar Pertamina.

Kandungan air dalam minyak pirolisis berkisar antara 0,9% vol, dan kandungan abu (ash content) sedikit lebih rendah dibandingkan dengan biosolar. Kandungan abu yang tinggi disebabkan oleh persentase char yang dihasilkan dari proses pirolisis.

KESIMPULAN

Melalui analisis jurnal mengenai konversi limbah plastik menjadi bahan bakar melalui metode pirolisis, dapat ditarik kesimpulan bahwa metode ini menunjukkan potensi yang signifikan sebagai solusi dalam mengelola meningkatnya jumlah limbah plastik. Berbagai penelitian dilakukan untuk mengoptimalkan parameter seperti suhu reaktor, waktu pirolisis, dan jenis plastik yang diolah guna mencapai hasil yang optimal. Suhu reaktor menjadi parameter kritis yang memengaruhi hasil konversi, dengan rentang suhu antara 230-300°C terbukti memberikan hasil optimal dalam beberapa penelitian. Waktu pirolisis juga memegang peran penting, dan peningkatan suhu serta waktu pirolisis yang lebih lama cenderung meningkatkan yield bahan bakar cair.

Proses pirolisis sendiri melibatkan pemecahan rantai polimer dalam plastik menjadi molekul-molekul yang lebih sederhana melalui pemanasan tanpa oksigen. Penambahan katalis dalam proses ini dapat mempercepat reaksi dekomposisi polimer, menghasilkan lebih banyak gas dan mengurangi pembentukan produk cair. Gas-gas seperti hidrogen dan metana yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan bakar atau bahan baku dalam berbagai proses produksi.

Meskipun hasil konversi menjanjikan, beberapa tantangan tetap ada, termasuk

manajemen gas sisa, residu padat, dan dampak lingkungan seperti pencemaran udara. Diperlukan upaya lebih lanjut untuk meningkatkan efisiensi proses dan mengurangi dampak lingkungan. Karakterisasi bahan bakar hasil pirolisis menunjukkan potensi sebagai bahan bakar alternatif, namun sifat-sifat seperti densitas, viskositas, dan titik nyala memerlukan penanganan khusus.

DAFTAR REFERENSI

- Olufemi, A. S., & Olagboye, S. A. (2017). "Thermal conversion of waste plastics into fuel oil." Department of Chemical/Petroleum Engineering, Niger Delta University, Wilberforce Island, Nigeria, Department of Chemistry, Ekiti State University, Nigeria. Published in Volume 2, Issue 8, November 16, 2017.
- Norsujianto, T. (2014). "Konversi Limbah Plastik Menjadi Minyak Sebagai Bahan Bakar Energi Baru Terbarukan." Published in Volume 1, No 1, 2014.
- Wajdi, B., Safiruddin, Novianti, B. A., & Zahara, L. (2020). "Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak (BBM) Dengan Metode Pirolisis Sebagai Energi Alternatif." Published in Volume 4, No 1, 30 Juni 2020.
- Wardhana, P. B. W., & Saptoadi, H. (2016). "Konversi Limbah Plastik Polietilen Menjadi Bahan Bakar Dengan Metode Pirolisis." Published in Volume 7, No 1, 1 Januari 2016.