

Experimental Study of The Effect of Reactor Temperature Variations on The Characteristics of Oil Resulting from The Pyrolysis Method of Crumb Rubber Solid Waste

Angky Puspawan^{1*}, Nurul Iman Supardi¹, Agustin Gunawan², Abdul Latif Mubarok¹, Rifki Sulthan¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu
Jl. W.R. Supratman, Kandang Limun, Kota Bengkulu, Bengkulu, Indonesia

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu
Jl. W.R. Supratman, Kandang Limun, Kota Bengkulu, Bengkulu, Indonesia

*Corresponding author: apuspawan@unib.ac.id

Abstract

Energy is an important part of human life because almost all human activities always require energy. Therefore, it is necessary to conduct research to overcome the above problems, namely by making alternative energy by utilizing crumb rubber plant waste into alternative oil. The crumb rubber solid waste that we use comes from the micro blending and macro blending milling process from the process there is waste in the form of granulated rubber (Crumb Rubber Waste). Crumb Rubber Plant waste is currently not being utilized optimally. The basic structure of natural rubber is a linear chain of isoprene units (C_5H_8) natural rubber is a polymer of hydrocarbon compounds, namely 2-methyl-1,3 butadiene (isoprene). The main purpose of this study is to determine the value of the oil combustion rate resulting from the pyrolysis of crumb rubber solid waste and find out the characteristics of the oil resulting from the pyrolysis of crumb rubber solid waste and find out the comparison of the quality of oil from crumb rubber solid waste. From this study will show the optimum amount of pyrolysis and distillation results to produce oil. Operating conditions take place at atmospheric pressure with temperature variations of 200°C, 250°C, 300°C, and 350°C for 180 minutes for the pyrolysis process which will then be distilled with a temperature of 95°C for 20 minutes. The results showed that % of the conversion of raw materials into oil (amendment) was highest for the pyrolysis process at a temperature of 350°C of 51.86% while in the distillation process pyrolysis oil with a temperature of 350°C as much as 82.55%. For the value of the combustion rate in the largest pyrolysis process with a value of 0.975 ml/ menit at a temperature of 350°C and a distillation process of 1,612 ml/ menit at a temperature of 350°C.

Keywords: crumb rubber solid waste, pyrolysis, oil

Abstrak

Energi merupakan bagian penting dalam kehidupan manusia karena hampir semua aktivitas manusia selalu membutuhkan energi. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk mengatasi permasalahan di atas yaitu dengan membuat energi alternatif dengan memanfaatkan limbah pabrik karet remah menjadi minyak alternatif. Limbah padat karet remah yang kami manfaatkan berasal dari proses penggilingan micro blending dan macro blending dari proses tersebut terdapat limbah berupa karet granul (Limbah Karet Remah). Limbah Pabrik Karet Remah saat ini belum dimanfaatkan secara optimal. Struktur dasar karet alam merupakan rantai linier dari unit isoprena (C_5H_8) karet alam merupakan polimer dari senyawa hidrokarbon yaitu 2-metil-1,3 butadiena (isoprena). Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai laju pembakaran minyak hasil pirolisis limbah padat karet remah dan mengetahui karakteristik minyak hasil pirolisis limbah padat karet remah serta mengetahui perbandingan kualitas minyak dari limbah padat karet remah. Dari penelitian ini akan menunjukkan jumlah optimum hasil pirolisis dan destilasi untuk menghasilkan minyak. Kondisi operasi berlangsung pada tekanan atmosfer dengan variasi temperatur 200°C, 250°C, 300°C, dan 350°C selama 180 menit untuk proses pirolisis yang selanjutnya akan disuling dengan temperatur 95°C selama 20 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa % konversi bahan baku menjadi minyak (amandemen) tertinggi untuk proses pirolisis pada suhu 350°C sebesar 51,86% sedangkan pada proses destilasi pirolisis minyak dengan temperatur 350°C sebanyak 82,55%. Untuk nilai laju pembakaran pada proses pirolisis terbesar dengan nilai 0,975 ml/menit pada suhu 350°C dan proses destilasi sebesar 1.612 ml/menit pada temperatur 350°C.

Kata kunci: limbah padat karet remah, pirolisis, minyak

1. Pendahuluan

Energi memegang peranan yang fundamental dalam kehidupan manusia. Hal ini dapat terlihat dari aktivitas penduduk bumi yang tidak pernah luput dari energi. Di era yang kian modern ini, seluruh aktivitas hidup umat manusia sangat bergantung dengan energi. Sampai saat ini, peningkatan populasi penduduk terpantau memberi pengaruh terhadap laju permintaan energi yang tidak dapat dihindari. Peningkatan konsumsi energi ini belum seimbang dengan kapasitas sumber daya energinya. Mendapati tingkat permintaan energi yang tinggi ditengah problematika tipisnya cadangan minyak dunia telah sukses mengantarkan berbagai negara pada persoalan terkait ketersediaan energi. Menyikapi fenomena tersebut, setiap negara tertuntut untuk serius dalam mencari upaya mempercepat produksi dan penggunaan energi terbarukan, termasuk Indonesia.

Bahan bakar fosil yang semakin sedikit menjadi fakta yang tidak dapat diabaikan. Adapun solusi untuk mengatasi masalah cadangan bahan bakar fosil yang semakin menipis adalah dengan menggalakkan energi baru dan terbarukan seperti panas bumi, energi solar, dan energi gelombang air laut. Namun, hal ini tidak mudah karena tidak semua daerah dapat memanfaatkan potensi sumber daya tersebut. Disamping itu, diperlukannya suatu teknologi dan investasi yang jumlahnya tidak sedikit.[1] Sayangnya, peningkatan konsumsi minyak bumi tersebut berdampak pada pencemaran lingkungan akibat meningkatnya limbah pabrik karet dari sisa produksi yang dilakukan secara terus menerus. Hal ini menjadi masalah serius dikarenakan limbah tersebut tidak mudah terurai bila dibiarkan begitu saja.

Salah satu pemecahan masalah yang diusung adalah dengan membuat energi alternatif berupa pengolahan limbah *crumb rubber* sehingga dapat bernilai ekonomis dan ramah lingkungan. Pemanfaatan *crumb rubber* menjadi minyak alternatif ini bermula karena masyarakat di desa-desa

yang mata pencarian utamanya adalah petani karet. Petani karet ini sering menggunakan limbah tatal sebagai bahan bakar. Namun, cara yang dilakukan oleh para petani terbilang masih sederhana yakni dengan membakar langsung tatal karet tersebut dan memasukkannya kedalam tungku api.

Crumb rubber (karet spesifikasi teknis) adalah karet alam yang dibuat khusus sehingga terjamin mutu teknisnya. Penetapan mutu juga didasarkan pada sifat-sifat teknis. Warna atau penilaian visual yang menjadi dasar penentuan golongan mutu pada jenis karet *sheet*, *crepe*, maupun lateks pekat tidak berlaku untuk jenis yang satu ini tergantung dari kualitas bahan baku yang dipakai. Umumnya, bahan baku karet didapatkan dari perkebunan rakyat, maka pabrik *crumb rubber* biasanya tidak melakukan sortir atas kualitas bahan baku karet yang dibawa oleh pemasok dan tetap diterima oleh perusahaan.

Dari 100 kg lateks yang akan diolah *crumb rubber* pada umumnya akan menghasilkan lebih kurang 85% karet bersih, 10% air dan 3%-5% tatal. Dari hasil uji laboratorium didapatkan bahwa tatal mempunyai kalori yang besar yaitu sekitar 3600 kal/gr. Potensi ini bisa terlihat dari besarnya produksi pada industri pengolahan karet. Pemanfaatan limbah karet merupakan bahan baku dalam pembuatan bahan barang jadi karet.

Proses produksi hidrokarbon cair dari isoprena dapat dikerjakan dengan proses pirolisis. Proses pirolisis ini berlangsung pada suhu tinggi. Disamping terus menumpuknya limbah pabrik karet dan seiring dengan terus meningkatnya penggunaan bahan bakar, maka diperlukan solusi atas kedua masalah tersebut, dengan hasil minyak pirolisis dapat menghasilkan zat yang mendekati atau memiliki unsur sama dengan minyak (bahan bakar cair).

Meskipun pemanfaatan limbah *crumb rubber* sebagai bahan bakar alternatif telah banyak dikaji, masih terbatas pada identifikasi potensi energi dan karakteristik umum produk pirolisis. Namun, pengaruh

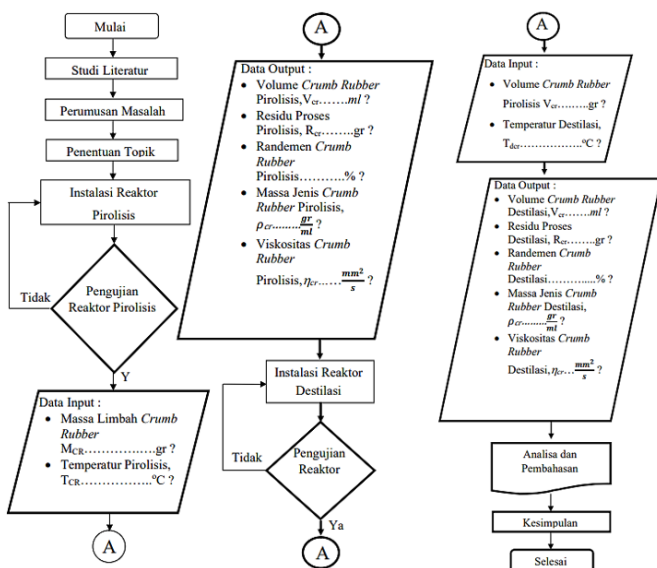
variasi temperatur terhadap karakteristik minyak pirolisis, seperti volume, rendemen, densitas, dan viskositas, belum banyak diteliti secara sistematis. Padahal, temperatur merupakan salah satu parameter krusial dalam proses mempengaruhi kualitas dan kuantitas produk yang dihasilkan

Pada penelitian ini variabel yang diteliti adalah karakteristik minyak pirolisis dan distilasi limbah padat *crumb rubber* dengan temperatur yang divariasikan. Produk pirolisis berupa cairan sebagai hasil reaksi utama akan semakin banyak dengan naiknya temperatur pirolisis, sedangkan sisa padatan yang tertinggal semakin sedikit. Sehingga semakin tinggi temperatur yang diberikan sangat berpengaruh terhadap volume, persentase (%) rendemen, residu, massa jenis (ρ) dan viskositas (η).

2. Metode Penelitian

2.1 Diagram Alir Penelitian

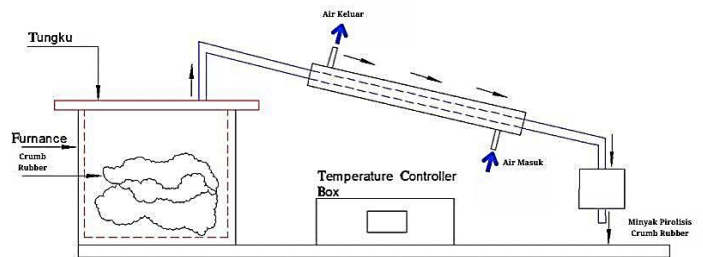
Metode yang dipakai untuk mendapatkan data-data yang diperlukan dalam penelitian ini menggunakan metode eksperimental, dengan tahapan-tahapan penelitian termuat ke dalam bentuk diagram alir penelitian. Variabel yang diteliti dalam penelitian ini antara lain: volume, residu, rendemen, massa jenis dan viskositas. Diagram alir penelitian tersebut ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2 Skema Komponen Pengujian

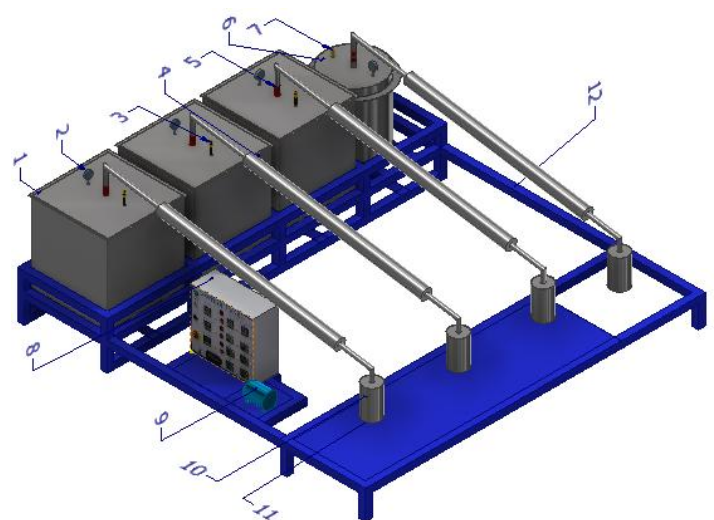
Skema komponen pengujian pada penelitian ini digunakan agar mengetahui alur limbah karet *crumb rubber* dikonversikan menjadi minyak. Skema pengujian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema Komponen Pengujian

Limbah karet *crumb rubber* dimasukkan kedalam tungku yang akan dipanaskan menggunakan *furnace* dengan temperatur yang diatur sebesar 200°C, 250°C, 300°C, dan 350°C menggunakan *temperature control box*, kemudian limbah karet *crumb rubber* berubah fase menjadi padatan dan gas, fase gas akan mengalir melalui pipa menuju ke *heat exchanger* atau kondensor, lalu berubah fase menjadi cair, masuk ke dalam *holding tank* dan dibuka katup pada *holding tank* untuk mendapatkan output berupa minyak.

2.3 Desain Reaktor Pirolisis



Gambar 3. Desain Reaktor Pirolisis

Desain reaktor pirolisis menggunakan *software* autodesk inventor dalam pengerjaan pembuatan reaktor pirolisis. Pada pengujian limbah karet *crumb rubber* dikonversikan menjadi minyak menggunakan pemanas berupa gas *Liquefied Petroleum Gas (LPG)* 3 kg yang dihubungkan ke *temperature control box*. Desain keseluruhan dari reaktor pirolisis yang akan dibuat pada penelitian ini dapat dilihat seperti pada Gambar 3.

Tabel 2. Detail desain reaktor pirolisis

No.	QTY	Name's Part	Material
1	3	Pyrolysis Reactor	Iron
2	4	Pressure Gauge	Iron
3	3	Termocouple	Iron
4	4	Heat Exchanger	Iron
5	4	Valve	Iron
6	1	Destilation Reactor	Stainless Steel
7	1	Safety Valve	Steel
8	1	Control Panel	Acrylic
9	1	Pump	Iron
10	4	Collecting Tank	Aluminium
11	4	Valve Output	Iron
12	1	Frame	Iron

2.4 Alat Pengujian

Alat uji yang digunakan dalam penelitian pirolisis ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Alat Uji

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan penelitian dan pengolahan data yang telah dilakukan maka diperoleh hasil dan grafik sebagai berikut.

Tabel 2. Data Sisa Hasil dari Proses Pirolisis

No	Waktu (min)	Temperatur (°C)	Berat Limbah (gr)	Volume (ml)	Residu (gr)	Rendemen (%)
1	180	200	5095	680	635	20.31%
2	180	250	5095	953	542	28.47%
3	180	300	5095	1283	510	38.33%
4	180	350	5095	1736	190	51.86%

Tabel 3. Data Nilai Laju Pembakaran Dari Proses Pirolisis

No	Temperatur (°C)	Volume (ml)	Waktu (menit)	Laju Pembakaran ($\frac{ml}{ment}$)
1	200	2	4.72	0.422
2	250	2	2.97	0.673
3	300	2	2.44	0.819
4	350	2	2.05	0.975

Tabel 4. Perbandingan Karakteristik Minyak Hasil Pirolisis

No.	Item	Massa Jenis, ρ (g/ml) pada 15°C	Viskositas, η ($\frac{mm^2}{s}$) Kinematik pada 40°C
1.	Minyak Tanah	0.835	1.4
2.	Solar	0.815 - 0.860	2.0 - 4.5
3.	Pertalite	0.715 - 0.77	0.7
4.	Minyak Pirolisis 200°C	0.884	5.923
5.	Minyak Pirolisis 250°C	0.818	4.790
6.	Minyak Pirolisis 300°C	0.79	4.559
7.	Minyak Pirolisis 350°C	0.778	4.327

Tabel 5. Data Nilai Laju Pembakaran dari Proses Pirolisis

No	Temperatur (°C)	Volume (ml)	Waktu (menit)	Laju Pembakaran ($\frac{ml}{ment}$)
1	95	2	4.31	0.464
2	95	2	2.18	0.917
3	95	2	2.11	0.947
4	95	2	1.24	1.612

Tabel 6. Data Sisa Hasil dari Proses Destilasi Minyak Pirolisis

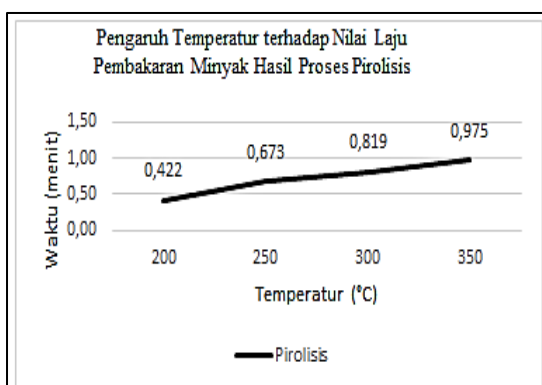
No	Waktu (min)	Temperatur Distilasi (°C)	Volume Awal (ml)	Volume Hasil (ml)	Residu (gr)	Rendemen (%)
1.	20	95	680	494	55	72.65%
2.	20	95	953	760	38	79.75%
3.	20	95	1283	1032	29	80.44%
4.	20	95	1736	1433	25	82.55%

Tabel 7. Data Hasil Uji Karakteristik Viskositas dari Distilasi Minyak Hasil Pirolisis

No.	Waktu (min)	Temperatur Proses Pirolisis (°C)	Viskositas (poise) Dinamik pada 40°C	Viskositas ($\frac{mm^2}{s}$) Kinematik pada 40°C
1.	20	200	0.034	4.269
2.	20	250	0.024	3.187
3.	20	300	0.018	2.376
4.	20	350	0.011	1.410

Tabel 8. Perbandingan Karakteristik Minyak Hasil Distilasi Minyak Pirolisis

No.	Item	Massa Jenis, ρ (g/ml) pada 15°C	Viskositas, η ($\frac{mm^2}{s}$) pada 40°C
1.	Minyak Tanah	0.835	1.4
2.	Solar	0.815 - 0.860	2.0 - 4.5
3.	Pertalite	0.715 - 0.77	0.7
4.	Minyak Pirolisis 200°C	0.856	4.269
5.	Minyak Pirolisis 250°C	0.784	3.187
6.	Minyak Pirolisis 300°C	0.764	2.376
7.	Minyak Pirolisis 350°C	0.758	1.410



Gambar 5. Hubungan Pengaruh Temperatur terhadap Nilai Laju Pembakaran Minyak Hasil Proses Pirolisis

Berdasarkan Gambar 5, yang menunjukkan hubungan antara temperatur pirolisis dengan nilai laju pembakaran

minyak hasil proses pirolisis limbah padat *crumb rubber*, terlihat adanya tren peningkatan laju pembakaran seiring dengan meningkatnya temperatur. Semakin tinggi temperatur pirolisis yang diberikan, semakin besar pula laju pembakaran minyak yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan bahwa temperatur berpengaruh signifikan terhadap sifat pembakaran minyak pirolisis.

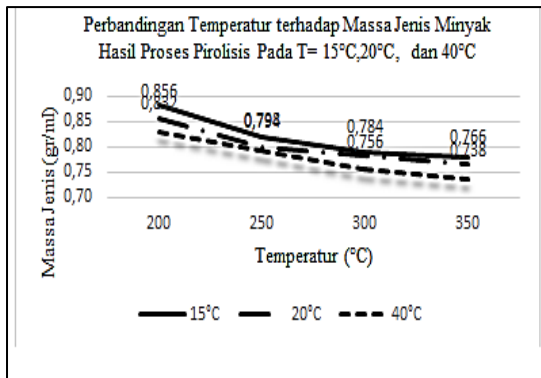
Peningkatan dari 200°C ke 250°C menyebabkan kenaikan laju pembakaran sebesar 37%, yang merupakan peningkatan tertinggi dibandingkan rentang temperatur lainnya. Ini mengindikasikan bahwa pada tahap awal kenaikan temperatur, struktur kimia minyak mulai mengalami perubahan signifikan yang memperbaiki karakteristik pembakarannya.

Kenaikan temperatur dari 250°C ke 300°C menghasilkan peningkatan laju pembakaran sebesar 17%. Meskipun masih meningkat, laju kenaikannya tidak sebesar sebelumnya, kemungkinan karena sebagian besar senyawa mudah terbakar telah terbentuk pada temperatur sebelumnya.

Dari temperatur 300°C ke 350°C, laju pembakaran naik sebesar 16%, menunjukkan bahwa kenaikan temperatur terus meningkatkan kualitas minyak sebagai bahan bakar, tapi efisiensi peningkatannya mulai menurun (*diminishing return*).

Grafik ini menunjukkan temperatur pirolisis berperan menentukan kualitas energi minyak pirolisis. Semakin tinggi temperatur, semakin lengkap proses dekomposisi senyawa hidrokarbon, sehingga menghasilkan minyak lebih mudah terbakar (laju pembakaran lebih tinggi).

Berdasarkan Gambar 6, terlihat bahwa terdapat hubungan berbanding terbalik antara temperatur pirolisis dan massa jenis minyak yang dihasilkan. Artinya, semakin tinggi temperatur proses pirolisis, maka massa jenis minyak cenderung semakin menurun. Penurunan ini terjadi karena pada temperatur yang lebih tinggi, fraksi senyawa yang dihasilkan dari proses pirolisis cenderung lebih ringan dan lebih volatil, sehingga menghasilkan minyak dengan densitas yang lebih rendah.



Gambar 6. Hubungan Pengaruh Temperatur terhadap Massa Jenis (ρ) Minyak Hasil Proses Pirolisis pada 15°C, 20°C, dan 40°C

Dari grafik didapatkan penurunan massa jenis dalam berbagai pengkondisian temperatur. Pada temperatur dengan pengkondisian 15°C, dari temperatur 200°C ke temperatur 250°C terjadi penurunan sebesar 8%, untuk temperatur 250°C ke temperatur 300°C penurunan sebesar 3.5% dan dari temperatur 300°C ke temperatur 350°C penurunan sebesar 1.5%.

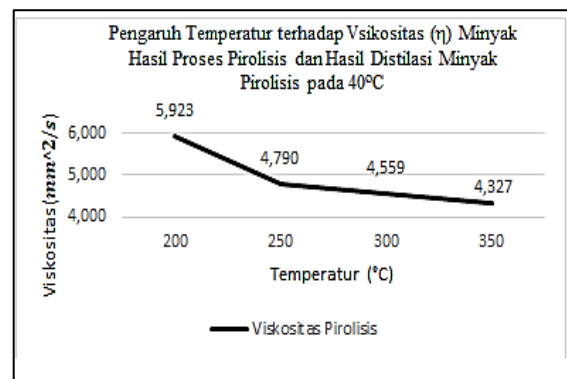
Pada temperatur pengkondisian 20°C, grafik menunjukkan terjadi penurunan massa jenis dari temperatur 200°C ke temperatur 250°C sebesar 7%, untuk temperatur 250°C ke temperatur 300°C penurunan sebesar 1.7% dan dari temperatur 300°C ke temperatur 350°C penurunan sebesar 2.3%.

Sedangkan penurunan massa jenis yang terjadi pada saat pengkondisian temperatur 40°C, dari grafik didapatkan penurunan massa jenis dari temperatur 200°C ke temperatur 250°C penurunan sebesar 4.7%, untuk temperatur 250°C ke temperatur 300°C penurunan sebesar 5% dan dari temperatur 300°C ke temperatur 350°C penurunan sebesar 2.4%.

Penurunan yang terjadi lebih signifikan pada temperatur rendah ke menengah (200–250°C), lalu mulai melandai pada rentang temperatur lebih tinggi (300–350°C). Hal ini mengindikasikan bahwa sebagian besar senyawa berat telah terurai pada temperatur menengah, sehingga kenaikan temperatur berikutnya tidak banyak memengaruhi penurunan massa jenis.

Jika dibandingkan dengan bahan bakar komersial yaitu dimana minyak tanah memiliki massa jenis sekitar 0,835 g/ml. Solar dengan massa jenis berada pada kisaran 0,815 – 0,860 g/ml. Peralite dengan massa jenis (pada suhu 15°C) berada di kisaran 0,715 – 0,770 g/ml. Sedangkan, hasil pirolisis limbah padat *crumb rubber* memiliki massa jenis berkisar antara 0,778 – 0,884 g/ml. Artinya: Beberapa fraksi minyak hasil pirolisis masih berada dalam kisaran massa jenis minyak tanah dan solar, sehingga memiliki potensi sebagai alternatif bahan bakar. Namun, jika dibandingkan dengan pertalite, belum ada minyak hasil pirolisis yang mencapai rentang massa jenis yang sesuai (lebih ringan), sehingga belum dapat disetarakan.

Dapat ditarik kesimpulan bahwa penurunan massa jenis minyak pirolisis seiring dengan naiknya temperatur pirolisis menunjukkan bahwa proses pemanasan menghasilkan fraksi-fraksi hidrokarbon yang lebih ringan. Meskipun belum semua fraksi memenuhi standar massa jenis pertalite, hasil pirolisis ini sudah cukup menjanjikan untuk dikembangkan sebagai pengganti sebagian bahan bakar konvensional seperti solar atau minyak tanah.



Gambar 7 Hubungan Pengaruh Temperatur terhadap Viskositas (η) Minyak Hasil Proses Pirolisis pada 40°C

Berdasarkan grafik pada Gambar 7 yang ditampilkan, terlihat adanya hubungan berbanding terbalik antara temperatur pirolisis dengan viskositas minyak yang dihasilkan pada temperatur

pengujian 40°C. Viskositas merupakan ukuran tingkat kekentalan suatu cairan, di mana semakin tinggi viskositas, maka fluida tersebut semakin kental dan alirannya semakin lambat. Pengukuran viskositas ini dilakukan menggunakan alat *Viscometer Oswald*, yang umum digunakan untuk mengukur laju alir cairan berdasarkan waktu aliran pada tabung kapiler.

Hasil pengukuran viskositas minyak hasil pirolisis menunjukkan tren penurunan seiring dengan meningkatnya temperatur reaktor pirolisis, yaitu: pada temperatur 200°C diperoleh nilai viskositas sebesar 5923 mm²/s. Pada temperatur 250°C diperoleh nilai viskositas sebesar viskositas menurun menjadi 4790 mm²/s (penurunan 23%). Pada temperatur 300°C diperoleh nilai viskositas sebesar viskositas turun menjadi 4559 mm²/s (penurunan 5%). Pada 350°C diperoleh nilai viskositas kembali turun dengan nilai menjadi 4327 mm²/s (penurunan 5,3%)

Dengan demikian, nilai viskositas tertinggi terdapat pada temperatur pirolisis 200°C, sedangkan terendah pada temperatur 350°C. Penurunan ini menunjukkan bahwa temperatur yang lebih tinggi menyebabkan pemecahan senyawa hidrokarbon berat menjadi senyawa yang lebih ringan dan lebih mudah mengalir, sehingga minyak menjadi lebih encer.

Sebagai acuan, berikut viskositas beberapa jenis bahan bakar komersial pada temperatur sekitar 40°C: yaitu dimana minyak tanah dengan nilai viskositas sekitar 1,4 mm²/s, pertalite dengan nilai viskositas sekitar 0,7 mm²/s dan solar (diesel) dengan nilai viskositas berkisar antara 2,0 – 4,5 mm²/s.

Jika dibandingkan dengan hasil viskositas minyak pirolisis bahwa minyak hasil pirolisis pada semua temperatur masih jauh lebih kental dibandingkan minyak tanah dan pertalite. Namun, pada temperatur pirolisis 350°C, viskositas sebesar 4327 mm²/s sudah mendekati batas

atas dari viskositas solar, meskipun masih sedikit di atas.

Maka ini berarti penurunan viskositas menunjukkan bahwa peningkatan temperatur pirolisis menghasilkan minyak dengan fraksi yang lebih ringan dan aliran yang lebih lancar. Walaupun viskositas hasil pirolisis belum mencapai standar viskositas bahan bakar ringan seperti pertalite dan minyak tanah, hasil pada temperatur 350°C menunjukkan bahwa minyak ini mulai mendekati karakteristik solar, sehingga berpotensi sebagai bahan bakar alternatif dengan proses lanjutan atau campuran (*blending*).

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pirolisis dan destilasi limbah padat *crumb rubber*, dapat disimpulkan hasil pirolisis dimana volume minyak maksimum diperoleh pada temperatur 350°C sebesar 1736 ml, dengan rendemen sebesar 51,86%. Nilai laju pembakaran tertinggi juga terjadi pada temperatur 350°C, yaitu 0,975 ml/menit, sedangkan yang terendah pada temperatur 200°C sebesar 0,422 ml/menit.

Hasil destilasi minyak pirolisis dimana volume minyak destilat tertinggi diperoleh pada temperatur 350°C sebesar 1434 ml, dengan rendemen sebesar 82,55%. Laju pembakaran tertinggi pada proses destilasi juga terjadi pada 350°C, yakni 1,612 ml/menit, sedangkan nilai terendah terdapat pada 200°C sebesar 0,464 ml/menit.

Pengaruh temperatur dimana secara umum, semakin tinggi temperatur proses (baik pirolisis maupun destilasi), maka semakin besar volume minyak, rendemen, dan laju pembakaran yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan bahwa temperatur merupakan faktor utama dalam mengoptimalkan hasil konversi limbah *crumb rubber* menjadi bahan bakar cair.

Perbandingan minyak hasil pirolisis dan destilasi dimana minyak hasil destilasi menunjukkan kualitas yang lebih baik dibandingkan minyak hasil pirolisis

langsung, karena kandungan endapan atau tatal (remah) yang lebih rendah. Proses destilasi membantu menyaring fraksi minyak yang lebih murni dan stabil, menjadikannya lebih layak sebagai bahan bakar cair alternatif.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknik Universitas Bengkulu dalam kegiatan penelitian.

Referensi

- [1] Pratiwi. 2010. Pembuatan Bahan Bakar Cair Dari Limbah Plastik Menggunakan Metode *Thermal Cracking*. Palembang : Pusri.
- [2] Aji Wicaksono, Mahendra and Ariyanto. 2017. Pengolahan Sampah Plastik Jenis *PET (Polyethylene Terephthalate)* Menggunakan Metode Pirolisis Menjadi Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 5, no. 1, pp. 9–15 : Universitas Diponegoro.
- [3] Effendy Sahrul, dkk. 2021. Unjuk Kerja Proses Pirolisis Katalitik Limbah Ban Bekas Menjadi Bahan Bakar Cair Ditinjau Dari Jumlah Katalis, Variasi Temperatur, Dan Waktu Operasi. *Jurnal Kinetika* Vol. 12, No. 01 (Maret 2021) : 32-39 : Politeknik Negeri Sriwijaya.
- [4] Gani Haji, Abdul. 2006. Karakterisasi Asap Cair Hasil Pirolisis Sampah Organik Padat (*Characterization of Liquid Smoke Pyrolyzed From Solid Organic Waste*). *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* vol. 16, no. 3 : Institut Pertanian Bogor.
- [5] Giovani, Beni and Lapisa, Remon. 2020. *The Effect Of Additional Plastic Pyrolysis Fuel On Power and Torque In The 108 cc Injection Motorcycle*. Padang: Universitas Negeri Padang.
- [6] Apriyansah. 2014. Pembuatan Bahan Bakar Cair Dari Limbah Pabrik *Crumb Rubber* Dengan Proses *Catalytic Cracking*. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.
- [7] Nalimah, Siti *et all*. 2012. Dekomposisi Limbah Plastik *Polypropylene* Dengan Metode Pirolisis. Balai Besar Kimia dan Kemasan (BBKK) : Kemenperin.
- [8] Ernawati, Rahyani. 2011. Konversi Limbah Plastik Sebagai Sumber Energi Alternatif. Balai Besar Kimia dan Kemasan: Kementerian Perindustrian.
- [9] Mokhtar, Ali, Jufri, Moh, and H. Supriyanto. 2018. Perancangan Pirolisis Untuk Membuat Bahan Bakar Cair Dari Limbah Plastik Kapasitas 10 kg. Seminar Nasional Teknologi dan Rekayasa: Universitas Muhammadiyah Malang
- [10] Al. D. Kurnialnsyah Rizky Hanani. 2015. Kajian Pirolisis Plastik *Low Density Poly Ethilene* dan *Poly Propilene* Sebagai Bahan Bakar. *Jurnal Teknik: Institut Teknologi Sepuluh November*.
- [11] K. Ridhuan, D. Irawan, and R. Inthifawzi. 2019. Proses Pembakaran Pirolisis dengan Jenis Biomassa dan Karakteristik Asap Cair yang Dihasilkan. Lampung: Universitas Muhammadiyah Metro.
- [12] Osueke and Ofundu. 2011. *Conversion of Waste plastics (Polyethylene) to Fuel by Means of Pyrolysis. Internation Journal of Advanced Engineering Sciences and Technologies*
- [13] Prastiwi N, 2010. Pengelolaan Limbah Industri Karet <http://www.scribd.com/doc/48564500/Pengelolaan-Limbah-Industri-Karet>
- [14]. Gupita.2013.fransiskagupita.wordpress.com/2013/11/11/limbah-karet/
- [15] Mutho dan efendri E.2013.Pemanfaatan Limbah Padat Pabrik *Crumb Rubber* (Tatal) Pada Pembuatan Bahan Bakar Cair. Palembang: Baristand.
- [16] Handayani Y. 2009. <http://repository.usu.ac.id/bitstream/1>

- 23456789/ 13857/1/09E00 352.pdf
- [17] Bahri S. 2013. Pemanfaatan Limbah Padat Pabrik Crumb Rubber (Tatal) Pada Pembuatan Bahan Bakar Cair. Palembang: Baristand.
- [18] Daud D. 2012. Pemanfaatan Limbah Padat Industri Karet Remah Sebagai Bahan Tambahan Pada Pembuatan Kompon Karet.
- [19] Tribawati RY. 2009. Depolimerisasi Lateks Karet Alam Secara Kimia Menggunakan Senyawa Hidrogen Peroksida – Natrium Nitrit – Asam Askorbat. Bogor: IPB.
- [20] Nasir S dkk.2008. Pengaruh Kondisi Operasi Pada Pembuatan Asap Cair Dari Ampas Tebu Dan Serbuk Gergaji Kayu.
- [21] Trisunaryanti, Wega. 2018. Dari Sampah Plastik Menjadi Bensin dan Solar. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [22] Panda, Achyut. 2011. *Studies On Process Optimization For Production of Liquid Fuels From Waste Plastics*. India: Chemical Engineering Department National Institute of Technology Rourkela.
- [23] Fuhaid, Naif. 2011. Pengaruh Medan Magnet Terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Kinerja Motor Bakar Bensin Jenis Daihatsu Hijet 1000. Malang: Universitas Widyagama.
- [24] Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi. 2020. Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Minyak Tanah yang Dipasarkan Di Dalam Negeri. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi.
- [25] Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi. 2013. Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Minyak Solar 48 yang Dipasarkan Di Dalam Negeri. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi.
- [26] Ika, Maridjo, A. R. Yuliyani. 2019. Pengaruh Pemakaian Bahan Bakar Premium, Pertalite Dan Pertamina Terhadap Kinerja Motor 4 Tak. Bandung. Politeknik Negeri Bandung.
- [27] Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi. 2017. Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Minyak Bensin (*Galsoline*) 90 yang Dipasarkan Di Dalam Negeri. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi.
- [28] Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi. 2018. Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Minyak Bensin (*Gasoline*) 98 yang Dipasarkan Di Dalam Negeri. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi.
- [29] Gani Haji, Abdul. 2006. Karakterisasi Asap Cair Hasil Pirolisis Sampah Organik Padat (*Charalcterization of Liquid Smoke Pyrolyzed From Solid Organic Waste*). Jurnal Teknologi Industri Pertanian vol. 16, no. 3 : Institut Pertanian Bogor.
- [30] Tri Saputra, Andi Arief, Wicaksono, M, Irsan. 2017. Pemanfaatan Minyak Goreng Bekas Untuk Pembuatan Biodiesel Menggunakan Katalis Zeolit. Samarinda. Universitas Mulawarman.
- [31] Regina, Oktabela, Sudrajad, Hendar, Syalflita, Dina. 2018. *Measurement of Viscosity Uses an Alternative*. Riau: Universitas Riau.
- [32] M. Afif Almu, Syahru, Yesung Allo Padang. 2014. Analisa Nilai Kalor Dan Laju Pembakaran Pada Briket Campuran Biji Nyampung (*Calophyllum Inophyllum*) Dan Abu Sekam Padi. Nusa Tenggara Barat : Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram.

- [33] Manurung, Elfrida. 2010. *Study Use of Mixed Phenols As Antioxidant In Natural Rubber SIR 20 With Pemvulkanisasi Sulfur And Peroxide*. Skripsi University of North Sumatra, Medan, p.44-46.
- [34] Surya, I. 2006. *Buku Ajar Teknologi Karet*. Medan: Teknik Kimia Universitas Sumatera Utara.
- [35] Silalahi, Mawar. 2015. *Pengolahan Limbah Lumpur Minyak (Oil Sludge) Menjadi Bahan Bakar Gas Alternatif*. Jakarta : Universitas Trisakti.