



Karakterisasi bahan bakar cair melalui proses *thermal catalytic cracking* ban bekas ditinjau dari pengaruh persentase katalis bentonit

MAYANG PRAMESWARI*, ISNANDAR YUNANTO, DAN AHMAD ZIKRI

Program Studi D4 Teknik Energi, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, 30139, Indonesia

Kata kunci:

thermal catalytic cracking,
bentonit,
ban bekas,
bahan bakar cair

ABSTRAK: Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik bahan bakar cair yang dihasilkan dari Unit *Thermal Catalytic Cracking* dengan mengkonversi ban bekas menjadi bahan bakar cair menggunakan katalis bentonit. Dalam penelitian ini katalis divariasikan pada 2%; 4%; 6%; 8%; 10% dari 2 kg berat ban bekas dengan kondisi operasi perengkahan pada temperatur 300°C selama 180 menit. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kondisi optimum diperoleh dengan persentase 8% bentonit menghasilkan rendemen bahan bakar cair sebesar 12,76%, nilai kalor sebesar 10.985 cal/gr, densitas sebesar 0,823 gr/ml, °API Gravity sebesar 40,34, viskositas sebesar 2,19 mm²/s, dan titik nyala pada 52°C. Analisis GC-MS dari sampel bahan bakar cair pada kondisi optimum menunjukkan kandungan gasoline sebesar 29,20%, kerosin 10,58%, diesel 48,93% dan pelumas 11,30%. Sehingga bahan bakar cair yang dihasilkan dominan terkandung diesel.

Keywords:

thermal catalytic cracking,
bentonite,
used tires,
liquid fuel

ABSTRACT: This study aims to determine the characteristics of liquid fuel produced from the Thermal Catalytic Cracking Unit which convert used tires into fuel with bentonite as catalyst. In this study, the catalyst was varied at 2%; 4%; 6%; 8%; 10% of 2 kg of used tires weight with cracking operating conditions at a temperature of 300°C for 180 minutes. The results of this study indicate that the optimum condition is obtained with a percentage of 8% bentonite producing a liquid fuel yield is 12.76%, a calorific value is 10,985 cal/gr, a density is 0.823 gr/ml, °API Gravity is 40.34, a viscosity is 2.19 mm²/s, and a flash point is 52°C. GC-MS analysis of liquid fuel samples at optimum conditions showed a gasoline content of 29.20%, kerosene 10.58%, diesel 48.93% and lubricant 11.30%. So that the liquid fuel produced predominantly contained diesel.

1 PENDAHULUAN

Ban merupakan elemen penting dalam transportasi yang memiliki berbagai kandungan kimia dan bahan yang dirancang khusus untuk memberikan performa optimal, keselamatan dan kenyamanan. Ban memiliki kandungan utama, yaitu karet alam dan karet sintetis. Ban memiliki kandungan, seperti *styrene-butadiene rubber* (SBR) dan *butadiene rubber* (BR)[1] digunakan untuk meningkatkan sifat seperti ketahanan terhadap panas dan abrasi.

Menurut data Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, pada tahun 2022, konsumsi karet alam di Indonesia didominasi oleh industri ban sebesar 14.219 ton sedangkan konsumsi karet sintetis mencapai 15.430 ton [2]. Ban menjadi sangat umum dan banyak menghasilkan limbah padat yang berbahaya bagi lingkungan. Membuang ban bekas ke tempat pembuangan sampah akan menimbulkan masalah

besar karena akan menjadi tempat berkembang biaknya penyakit dan mencemari lingkungan karena ban bekas tidak dapat terurai dengan mudah. Salah satu alternatif untuk mengolah ban bekas adalah dengan menguraikannya secara termal melalui proses yang disebut perengkahan (*cracking*).

Perengkahan merupakan sebuah proses dalam pengolahan minyak bumi yang bertujuan untuk memecah fraksi-fraksi minyak bumi dengan titik didih tinggi dan berat menjadi produk-produk bernilai lebih tinggi seperti bensin (*gasoline*), minyak tanah (*kerosene*), bahan bakar minyak (*fuel oil*) dan minyak gas (*gas oil*)[3]. Proses perengkahan berlangsung dengan bantuan panas dalam kondisi sedikit oksigen untuk memutus ikatan bahan-bahan menjadi bahan bakar cair[4].

Dalam riset ini, peneliti melakukan proses perengkahan dengan bantuan katalis, yang disebut dengan *Catalytic Cracking*. *Catalytic cracking* atau perengkahan katalitik yang merupakan proses

* Corresponding Author: mayangprms@gmail.com

pemecahan hidrokarbon kompleks menjadi hidrokarbon dengan molekul yang lebih sederhana. Proses ini memanfaatkan katalis sebagai agen yang mempercepat laju reaksi dan menggunakan suhu tinggi untuk memecah rantai besar menjadi rantai kecil. Dengan bantuan katalis dan suhu, waktu reaksi dan biaya dapat dikurangi agar proses lebih ekonomis. Penggunaan ulang katalis dan pemanfaatan katalis yang efektif dalam jumlah yang lebih kecil dapat mengoptimalkan proses ini. Keberadaan katalis dapat meningkatkan selektivitas puncak dan mengarahkannya ke atom karbon yang lebih pendek.

Katalis adalah faktor kunci yang mempengaruhi produksi bahan bakar cair. Bentonit adalah salah satu jenis katalis yang merupakan mineral filosilikat dengan struktur berlapis dan berbentuk kristalin. Bentonit merupakan mineral lempung dengan kandungan utama *montmorillonite* sekitar 85% dengan rumus kimia $x\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot y\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Mekanisme perengkahan dengan katalis bentonit melibatkan pembentukan antara ion karbonium. Ion karbonium ini akan menghasilkan senyawa produk-produk gas bumi.

Beberapa riset tentang proses perengkahan ban bekas telah dilakukan. Proses perengkahan ban dalam sepeda motor menggunakan katalis genteng tanah liat menghasilkan fraksi bensin sebesar 80,94% dan minyak diesel sebesar 8,60%. Peneliti menganalisis karakteristik bahan bakar cair dari proses perengkahan ban bekas menggunakan katalis bentonit guna mengembangkan dan meningkatkan konversi ban bekas terhadap kualitas bahan bakar cair sesuai standar dan mutu bahan bakar minyak.

2 METODOLOGI

Waktu dan Tempat

Penelitian dilakukan pada bulan Maret – Juli 2024 di Laboratorium Teknik Energi Politeknik Negeri Sriwijaya dan dianalisa di Laboratorium Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya serta Laboratorium Forensik POLDA Sumatera Selatan.

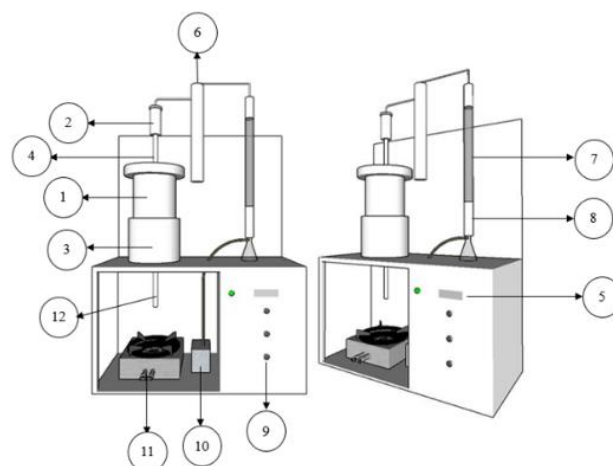
Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan Unit *Thermal Catalytic Cracking* dalam memproduksi bahan bakar cair dari ban bekas. Unit *Thermal Catalytic Cracking* didesain menggunakan reaktor dengan dilapisi band heater, tabung katalis sebagai tempat katalis, separator untuk memisahkan gas dan bahan bakar cair, kondensor yang digunakan untuk proses kondensasi gas menjadi bahan bakar cair serta kompor yang

digunakan untuk mengalirkan gas menjadi bahan bakar kompor tersebut. Adapun alat dan bahan yang digunakan, yaitu sebagai berikut:

Alat yang digunakan

Alat yang digunakan pada proses perengkahan, yaitu unit *Thermal Catalytic Cracking* yang dapat dilihat pada Gambar 1 dibawah ini. Adapun alat yang digunakan untuk analisa hasil produk bahan bakar cair yang dihasilkan dari unit diatas, yaitu pipet ukur 25 ml, bola karet, corong, labu takar 1000 ml, gelas ukur 1000 ml, Termometer air raksa skala 100° C, kertas saring, furnace dan neraca analitik.



Keterangan :

- | | |
|----------------------|----------------------|
| 1. Reaktor | 7. Kondensor |
| 2. Catalytic Reactor | 8. Erlenmeyer |
| 3. Band Heater | 9. Pompa Vakum |
| 4. Termokopel | 10. Pompa Air |
| 5. Control Panel | 11. Tungku Gas |
| 6. Separator | 12. Valve Pembuangan |

Gambar 1. Desain Unit Thermal Catalytic Cracking

Bahan yang digunakan

Bahan baku yang digunakan untuk melakukan percobaan dalam 5 kali percobaan penelitian, yaitu ban bekas sebanyak 10 kg sebagai bahan baku, bentonit sebanyak 2 kg sebagai katalis, H_2SO_4 1M sebagai aktivator katalis, dan aquadest.

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan, sebagai berikut, yaitu:

1. Pretreatment Bahan Baku, ban bekas dilakukan pengecilan ukuran dengan memotong ban bekas hingga berukuran 3x3 cm dengan pemotong ban lalu dilakukan pencucian agar mengurangi kotoran pada ban dan pengeringan dibawah sinar matahari.
2. Preparasi katalis, mencampurkan 200 gram bentonit dengan 2l aquadest untuk menghilangkan ko-

toran pada bentonit, mengaktivasi bentonit dan menambahkan 184 ml H₂SO₄ 1M dan diaduk secara perlahan selama 30 menit dan didiamkan selama 24 jam, Menyaring larutan bentonit dan ambil endapannya dengan menggunakan kertas saring.

3. Proses Perengkahan, dilakukan dengan memasukkan bahan baku, yaitu ban bekas sebanyak 2 kg yang telah disiapkan sebelumnya ke dalam reaktor, kemudian ditutup rapat dengan baut memasukkan katalis dari 2%w ke dalam reaktor katalis, menghidupkan pemanas dan mengatur suhu sebesar 300°C pada kontrol panel, menghidupkan pompa air pendingin untuk sirkulasi pada kondensor dan mengatur suhu air sebesar 15-20°C, menghidupkan stopwatch saat pemanas mulai menyala hingga proses perengkahan berakhir, menampung hasil kondensat dalam erlenmeyer dan mengalirkan gas pada kompor yang dihasilkan serta amati nyala api dari pembakaran gas hasil perengkahan. Proses perengkahan dihentikan setelah 180 menit (3 jam), membuka katup bawah separator setelah selesai operasi untuk mengeluarkan bahan bakar cair. Setelah proses perengkahan selesai, matikan heater dan kontrol panel. Apabila reaktor telah dingin, keluarkan sisa produk padat dari reaktor, dinginkan lalu timbang massa. Lakukan langkah yang sama dengan variasi katalis 4%; 6%; 8%; 10% dan temperatur yang sama.

Prosedur penelitian dapat dilihat pada flowchart sebagaimana Gambar 2.

Analisis Hasil Percobaan

Analisis Kualitatif

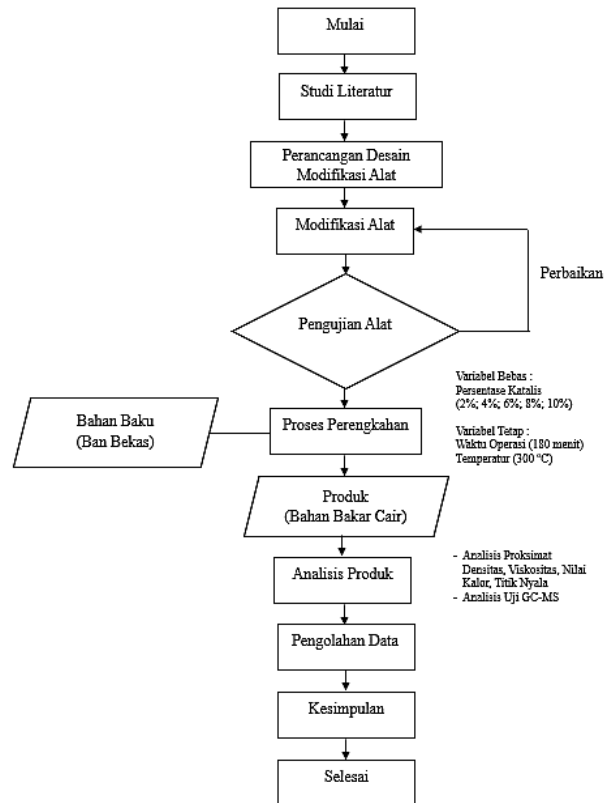
Analisis ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik produk yang dihasilkan diantaranya yaitu, Analisis produk bahan bakar cair berupa komposisi minyak menggunakan pengujian densitas (dapat dilihat pada rumus a), viskositas (dapat dilihat pada rumus b), nilai kalor (dapat dilihat pada rumus c) dan titik nyala yang mengacu pada ASTM D 7544-09 serta kandungan dari senyawa produk cair diuji menggunakan alat *Gas Chromatography and Mass Spectrometry* (GC-MS).

a. Analisis Densitas Bahan Bakar Cair (ρ)

Pengujian densitas dilakukan untuk mengetahui massa per unit volume bahan bakar cair. Pengujian dilakukan dengan menggunakan piknometer bervolume 25 ml yang digunakan dengan cara menimbang piknometer dalam keadaan kosong, lalu diisi dengan cairan yang kemudian ditimbang kembali. Perhitungan densitas menggunakan persamaan berikut:

$$\rho \text{ bahan bakar cair} = \frac{\text{massa piknometer berisi bahan bakar cair} - \text{massa piknometer kosong}}{\text{volume air}}$$

$$\text{Massa bahan bakar cair} = \rho \text{ bahan bakar cair} \times \text{volume bahan bakar cair}$$



Gambar 2. Flowchart Penelitian

b. Analisis Viskositas Bahan Bakar Cair (η)

Pengujian viskositas digunakan untuk mengetahui ketahanan cairan terhadap aliran dan menentukan seberapa mudah bahan bakar tersebut mudah terbakar. Pengujian dilakukan menggunakan Viskometer bola jatuh (*falling ball viscometer*) dengan mengamati seberapa lama waktu yang dibutuhkan sebuah bola untuk jatuh melalui fluida tersebut dengan berdasarkan hukum Stokes, yang menggambarkan gaya hambatan pada bola yang jatuh di dalam fluida. Perhitungan viskositas menggunakan persamaan berikut:

$$\eta = K \times (\rho_{\text{bola}} - \rho_{\text{fluida}}) \times t$$

$$\eta = 0,09 \text{ mPa.s.cm}^3/\text{g.s} \times (2,2 \text{ gr/cm}^3 - \rho_{\text{fluida}}) \times \text{waktu bola jatuh}$$

c. Nilai Kalor

Pengujian nilai kalor dilakukan untuk menunjukkan jumlah energi yang dapat diperoleh dari bahan tersebut dengan mengetahui °API dari sampel bahan bakar cair. Nilai °API fluida digunakan untuk mengetahui Nilai Kalor HHV dan LHV dengan memplotkannya pada grafik Heat of Combustion of Fuel

Oil[5]. Untuk menentukan °API menggunakan persamaan berikut:

$$°API = \frac{141,5}{\text{Specific Gravity}} - 131,5$$

Analisis Kuantitatif

Analisis kualitatif digunakan untuk menentukan nilai rendemen bahan bakar cair dalam bentuk persentase di bawah ini.

$$\begin{aligned} \% \text{Rendemen Bahan Bakar Cair} &= \frac{\text{Massa Bahan Bakar Cair yang dihasilkan}}{\text{Massa Bahan Baku}} \times 100\% \\ \% \text{Rendemen Gas} &= \frac{\text{Massa Gas}}{\text{Massa Bahan Baku}} \times 100\% \end{aligned}$$

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Berikut ini hasil dari penelitian dapat dilihat pada Tabel 1. sampai Tabel. 3.

Tabel 1. Hasil Produk dan %Rendemen Produk

No	Massa (kg)	Jumlah Katalis	Temp (°C)	Waktu (jam)	Produk			% Rendemen		
					Bahan Bakar Cair (ml)	Residu (kg)	Gas (kg)	Bahan Bakar Cair (%)	Gas (%)	
1	2	2%	300	3	352	0,307	1,62	0,072	15,38	3,61
2	2	4%	300	3	332	0,282	1,55	0,167	14,14	8,35
3	2	6%	300	3	252	0,212	1,68	0,107	10,62	5,37
4	2	8%	300	3	310	0,255	1,55	0,194	12,76	9,73
5	2	10%	300	3	324	0,272	1,45	0,277	13,61	13,88

Tabel 2. Karakteristik Fisika dan Kimia Bahan Bakar Cair

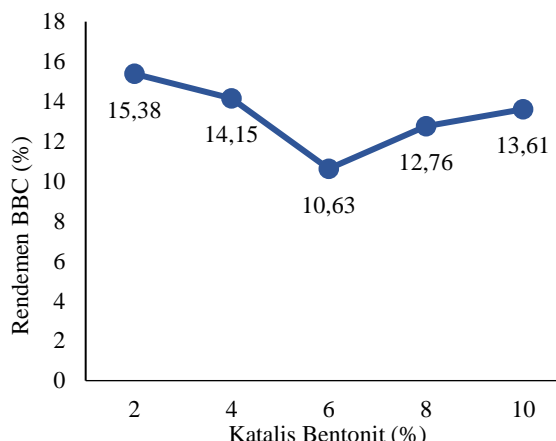
% Katalis	Densitas (gr/ml)	Nilai Kalor (cal/gr)	Viskositas (mm ² /s)	Titik Nyala (°C)
SNI (Diesel)	Min 0,815	10775 - 10900	Min 2,0	Min 52
2	0,874	10785	2,41	54
4	0,852	10874	2,39	54
6	0,843	10918	2,25	52
8	0,823	10985	2,19	52
10	0,840	10930	1,91	53

Tabel 3. Kandungan Senyawa Bahan Bakar Cair Hasil Identifikasi GC-MS

Fraksi	Rantai	% Area	% Komponen
Gasoline	C ₆ - C ₁₀	3,67	29,20%
Kerosine	C ₁₁ - C ₁₂	1,33	10,58%
Diesel	C ₁₂ - C ₂₅	6,15	48,93%
Pelumas	C ₂₆ - C ₃₈	1,42	11,30%
Total		12,57%	100%

Pembahasan

Pengaruh Persentase Katalis Bentonit Terhadap %Rendemen Bahan Bakar Cair



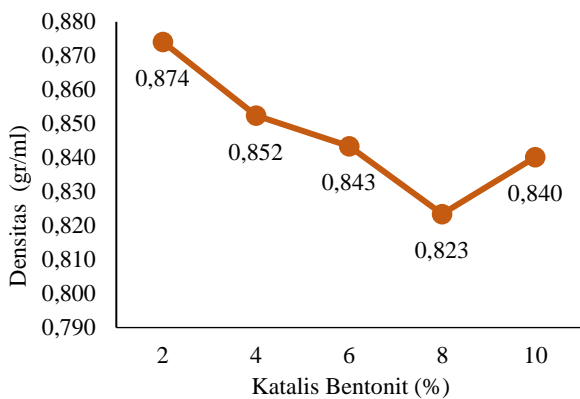
Gambar 3. Grafik Pengaruh Persentase Katalis Bentonit Terhadap %Rendemen Bahan Bakar Cair

Berdasarkan Gambar 3. terlihat pengaruh penambahan persentase katalis terhadap rendemen cenderung menurun, namun terdapat peningkatan bertahap pada variasi 8% dan 10%. Kuantitas bahan bakar cair dari proses perengkahan katalitik dipengaruhi oleh aktivitas katalis yang digunakan[6]. Peningkatan jumlah katalis menyediakan banyak situs aktif. Situs aktif ini akan menyerap hidrokarbon rantai panjang dan mendorong reaksi perengkahan. Jumlah katalis yang terlalu berlebihan akan tidak memaksimalkan hasil produk bahan bakar cair. Penggunaan katalis yang berlebihan akan mengakibatkan proses pemecahan rantai hidrokarbon lebih

efisien sehingga fraksi yang dihasilkan akan lebih ringan berubah menjadi gas.

Hal ini disebabkan katalis dapat meningkatkan proses perengkahan dimana kandungan hidrokarbon panjang dalam proses akan dikonversi menjadi rantai hidrokarbon yang lebih pendek sehingga menghasilkan rendemen hasil kondensasi yang lebih banyak[7]. Hal ini memberikan indikasi bahwa rasio bentonit pada proses *cracking* optimal pada 8 dan 10% katalis karena pada titik tersebut adalah titik mengalami kenaikan %rendemen secara bertahap. Apabila dilihat dari segi kualitas warna produk BBC dipengaruhi oleh penambahan katalis dengan kondisi temperatur yang sama, produk yang dihasilkan akan lebih jernih. Oleh karenanya, penambahan katalis pada proses pirolisis cenderung memperbaiki kemurnian bahan bakar minyak[8].

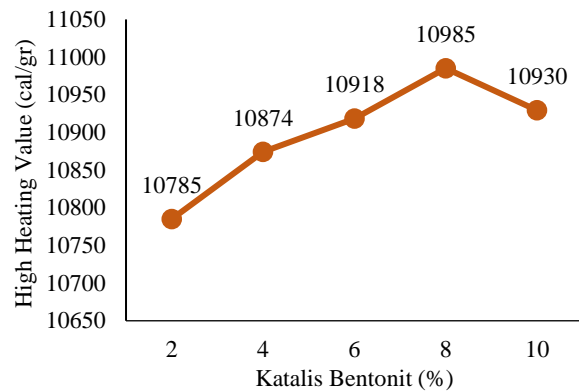
Pengaruh Persentase Katalis Bentonit Terhadap Densitas



Gambar 4. Grafik Pengaruh Persentase Katalis Terhadap Densitas

Pada Gambar 4. terjadi penurunan dan kenaikan nilai densitas setelah titik optimum. Didapatkan nilai densitas terendah pada persentase 8% katalis bentonit, yaitu senilai 0,823 gr/ml. Pada grafik, terjadi penurunan densitas diakibatkan karena semakin banyaknya katalis yang turut membantu reaksi perengkahan. Densitas yang semakin rendah menunjukkan bahwa rantai hidrokarbon semakin pendek dan jumlah ikatan rangkap berkurang, sehingga densitas juga menurun[9]. Densitas rendah dapat meningkatkan efisiensi pembakaran. Bahan bakar cair dengan densitas lebih rendah dapat membentuk campuran udara-bahan bakar yang lebih efisien, yang dapat mempercepat pembakaran dan menghasilkan lebih banyak energi[10].

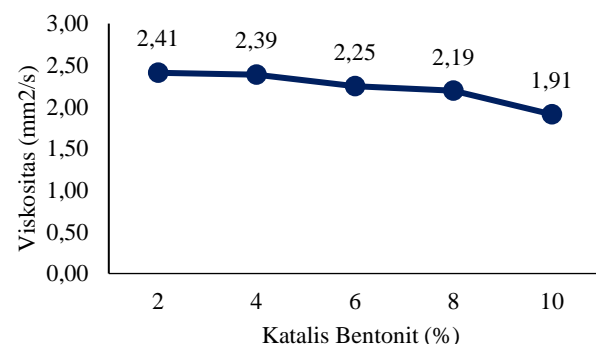
Pengaruh Persentase Katalis Bentonit Terhadap Nilai Kalor



Gambar 5. Grafik Pengaruh Persentase Katalis Terhadap Nilai Heat Heating Value

Berdasarkan Gambar 5. Nilai kalor tertinggi dalam penelitian ini tercatat sebesar 10.985 cal/gr pada penggunaan 8% katalis bentonit terhadap bahan baku, sedangkan nilai kalor terendah ditemukan pada 2% katalis bentonit sebesar 10.785 cal/gr. Peningkatan nilai kalor disebabkan oleh penambahan katalis yang optimal, yang memungkinkan pemutusan ikatan rantai panjang hidrokarbon menjadi rantai yang lebih pendek. Namun, pada rasio 10% katalis bentonit, nilai kalor mengalami penurunan. Ini disebabkan oleh fakta bahwa katalis bentonit telah mencapai kondisi optimal, di mana ikatan utama bahan baku telah terpecah dan membentuk senyawa yang lebih mudah terbakar dan menguap. Selain dipengaruhi oleh persentase katalis bentonit, nilai kalor dipengaruhi oleh waktu proses; semakin lama waktu proses, semakin besar pengaruhnya terhadap nilai kalor sampel yang diuji.

Pengaruh Persentase Katalis Terhadap Nilai Viskositas Bahan Bakar Cair

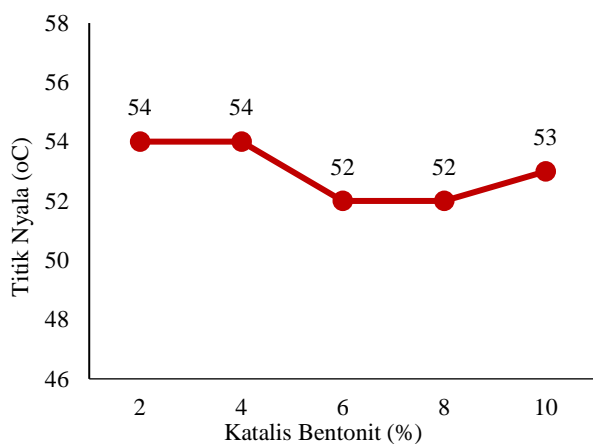


Gambar 6. Grafik Pengaruh Persentase Katalis Bentonit Terhadap Viskositas

Terlihat pada Gambar 6. terjadi penurunan nilai viskositas pada bahan bakar cair dengan kenaikan persentase bentonit. Ini disebabkan oleh hubungan antara nilai viskositas dan densitas suatu fluida dimana semakin rendah densitasnya, semakin rendah

pula viskositasnya[11]. Viskositas yang rendah dapat meningkatkan efisiensi pembakaran. Bahan bakar cair dengan viskositas yang lebih rendah dapat membentuk campuran udara-bahan bakar yang lebih baik, yang dapat mempercepat proses pembakaran dan menghasilkan lebih banyak energi[12]. Pada uji analisa sampel pada titik optimum didapatkan rentang viskositas sebesar 2,19 mm²/s. Jika dilihat dari viskositas solar, yaitu 2 – 4,5 mm²/s, viskositas antara solar dan produk bahan bakar cair berada pada rentang tersebut.

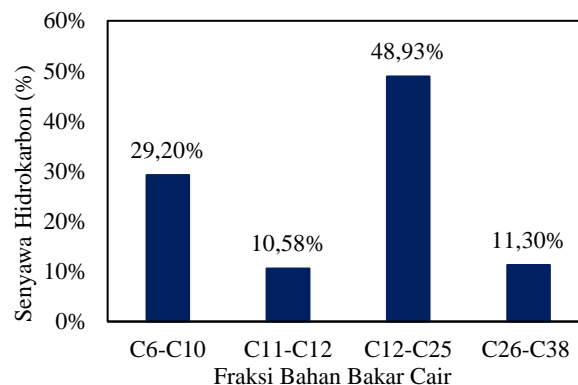
Pengaruh Persentase Katalis Bentonit Terhadap Nilai Titik Nyala Bahan Bakar Cair



Gambar 7. Grafik Pengaruh Persentase Katalis Bentonit Terhadap Titik Nyala

Pada Gambar 7 di atas menunjukkan bahwa titik nyala produk bahan bakar cair mencapai nilai optimal pada suhu 52°C. Sementara didapatkan range titik nyala bahan bakar kategori solar sesuai dengan standar, yaitu 52°C. Rendahnya nilai titik nyala disebabkan oleh penurunan kandungan fraksi ringan dalam bahan bakar cair. Dengan meningkatnya persentase katalis yang digunakan akan terjadi reaksi katalitik lebih banyak, yang mengarah pada pembentukan lebih banyak fraksi rantai pendek, sehingga nilai titik nyala menjadi semakin rendah[13]. Memperpanjang waktu reaksi menyebabkan rantai hidrokarbon yang awalnya panjang terurai menjadi lebih pendek, menghasilkan minyak yang lebih mudah terbakar dan mampu terjadinya pembakaran pada suhu yang lebih rendah[14]. Titik nyala yang lebih tinggi menunjukkan bahan bakar cair lebih sulit dinyalakan, sehingga meningkatkan keamanan dalam penggunaannya. Titik nyala mempengaruhi kualitas bahan bakar cair dalam efisiensi pembakaran dimana titik nyala yang lebih tinggi cenderung lebih efisien karena lebih sulit untuk terbakar.

Analisa Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GCMS)



Gambar 8. Grafik Pengaruh Fraksi Hidrokarbon Terhadap Senyawa Hidrokarbon

Berdasarkan Gambar 8 hasil grafik analisis GCMS pada sampel bahan bakar cair dengan katalis 8% menunjukkan bahwa jumlah dominan komponen solar mencapai 48,93% yang teridentifikasi mencapai 132 komponen yang didominasi oleh komponen Hexadecanenitrile ($C_{16}H_{13}N$); Hexadecanoic acid, methyl ester ($C_{17}H_{34}O_2$); 9-Octadecenoic acid, methyl ester ($C_{19}H_{36}O_2$); Docosane ($C_{22}H_{46}$); Tetracosane ($C_{24}H_{50}$); Pentacosane ($C_{25}H_{52}$); Nonacosane ($C_{29}H_{60}$) dengan *Quality* sebesar 99. *Quality* menunjukkan tingkat kemiripan komponen tersebut dengan komposisi yang terdeteksi pada waktu retensi. % Area yang tertinggi pada grafik, yaitu muncul pada *retention time* 16.382, yaitu Heneicosane ($C_{21}H_{44}$) dengan %area 1,14 dan *Qual* 97. Pada rantai hidrokarbon tersebut, kandungan sampel tertinggi masuk ke dalam fraksi solar diantara C_{12} – C_{25} . Oleh karena itu, penggunaan temperatur operasi 300°C dan persentase 8% katalis bentonit dengan bahan baku sebanyak 2 kg ban bekas melalui proses perengkahan yang menghasilkan bahan bakar cair menghasilkan sebagian besar fraksi solar pada data GC-MS.

4 KESIMPULAN

Penambahan katalis bentonit pada proses perengkahan ini cenderung menurunkan %rendemen bahan bakar cair tetapi memperbaiki kemurnian bahan bakar cair. Semakin rendah densitas dan viskositas, maka akan meningkatkan kualitas bahan bakar cair tersebut. Semakin tinggi nilai High Heating Value (HHV) dan Titik nyala akan meningkatkan efisiensi pembakaran pada bahan bakar cair. Dari hasil analisa kualitatif dan GC-MS, bahan bakar cair yang dihasilkan termasuk ke dalam kategori solar sesuai dengan SNI.

REFERENSI

- [1] Effendy, Sahrul; Irawan Rusnadi, dkk. Unjuk Kerja Proses Pirolisis Katalitik Limbah Bekas Menjadi Bahan Bakar Cair Ditinjau Dari Jumlah Katalis, Variasi Temperatur dan Waktu Operasi. *Jurnal Kinetika Maret 2021*, Vol. 12 No.01, 32-39. <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index>.
- [2] Gabungan Perusahaan Karet Indonesia. Available online; World Rubber Consumption | Rubber Association of Indonesia (accessed on 04 November 2024).
- [3] Ardhiyany, Sri; Anggi Wahyuningsi. Proses Konversi Limbah Pelumas Ringan Jenis Sae 15W-40 Menjadi Fuel Oil Alternatif. *Jurnal Teknik Patra Akademika Desember 2020*, vol 11, pp.52 – 56.
- [4] Roni, Kiagus Ahmad; Muhammad Roy Tri Handono, dkk. Pyrolysis of Used Tires Using Spent Catalyst of Crude Oil Cracking Process from Pertamina RU III. *Chemica: Jurnal Teknik Kimia 2020*, Vol.7, No.1, pp.71-76. <http://dx.doi.org/10.26555/chemica.v7i1.15715>.
- [5] Maxwell, J.B. *Data Book on Hydrocarbons Application to Process Engineering*. 9th printing.; Van Nostrand, Princeton, N.J., Robert E. Krieger Publishing Company, Inc. Malabar Florida, 1968; Volume 9, pp.180.
- [6] Aziz. I. ; Nurbayanti. S.; Badrul, U. Pembuatan Produk Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas dengan cara Esterifikasi dan Transesterifikasi. *Jurnal Valensi 2011*, Vol. 2. No. 3, pp.443-338. ISSN 1978-8193. doi:10.15408/jkv.v2i3.115.
- [7] Syamsiro' M., Saputro; M. A., Winarno; J. Megaprasatio, B; Mufrodi Z; Studi Co-pirolisis Plastik HDPE dan Oli Bekas Menjadi Bahan Bakar Cair Alternatif. *Prosiding Seminar Nasional Diseminasi Hasil Penelitian (DeHAP) 2021*, 331, pp. 331–337.
- [8] Supriyanto; Ismanto; Suwito N. Zeolit Alam Sebagai Katalis Pyrolysis Limbah Ban Bekas Menjadi Bahan Bakar Cair. *Journal Unimma 2019*. 2(1), pp. 15-21 doi:10.31603/ae.v2i1.2377.
- [9] Sutini; Arizal; dkk. Produksi Bahan Bakar Cair Dari Lemak Sapi Menggunakan Katalis Zeolit Dengan Metode Pirolisis. *Jurnal Kinetika 2020*. Vol.11, No. 02. 1-9.
- [10] Wahyudi; Novi Caroko; dkk. Pengaruh Densitas dan Viskositas terhadap Sudut Injeksi Biodiesel Jatrophajagung (1:4 dan 4:1). *Jurnal Material dan Proses Manufaktur 2023*. Vol. 7 No.2. 108-117. <https://doi.org/10.18196/jmpm.v7i2.20072>.
- [11] Eka Wahyu Biantoro. Analisa Karakteristik Bahan Bakar Minyak Dari Ban Dalam Bekas dan Plastik Jenis LDPE (Low Density Polyethylene). Seminar Nasional Inovasi Teknologi 2018. 281-286. e-ISSN: 2549-7952.
- [12] Irvan; Muhammad Kharis. Pengaruh Viskositas Bahan Bakar Terhadap Karakteristik Spray Pada Twin Fluid Atomizer. Sarjana thesis, Universitas Brawijaya, 2014. <http://repository.ub.ac.id/id/eprint/142448>
- [13] Arif, Mas Tri Sujadmiko. Sintetis Bahan Bakar Cair Menggunakan Metode Konversi Katalitik Dari Limbah Plastik Polipropilena. Departemen Kimia. Fakultas MI-PA Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya, 2017. 1413100008-undergraduate_theses.pdf (its.ac.id).
- [14] Nasrun; Kurniawan E; Sari. I. Studi Awal Produksi Bahan Bakar dari Proses Pirolisis Kantong Plastik Bekas. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal 2016*. Vol. 5, No. 1. Hal 30-44. doi: <https://doi.org/10.29103/jtku.v5i1.77>.