

Investigasi dan Karakterisasi Pirolisis Ban Truk Fuso Canter FE71

Investigating and Characterizing the Pyrolysis of Fuso Canter FE71 Truck Tires

Danang Jaya*, Tunjung Wahyu Widayati, Muhammad Agung Izzulhaq, dan Fevi Mirawati

^aJurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Industri, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta, Jl. SWK 104 (Lingkar Utara) Condongcatur, Yogyakarta, 55283, Indonesia

Artikel histori :

Diterima 8 Mei 2023
Diterima dalam revisi 20 Oktober 2023
Diterima 23 Oktober 2023
Online 1 November 2023

ABSTRAK: Pengembangan dan keberlanjutan bidang energi di seluruh dunia merupakan hal yang sangat penting saat ini. Limbah yang berasal dari produk berbasis minyak bumi memiliki potensi yang cukup besar untuk menghasilkan energi. Limbah ban merupakan limbah yang susah membusuk, sehingga membutuhkan tempat yang luas untuk menyimpannya dan jika dibakar akan menimbulkan masalah baru. Salah satu upaya yang dapat dilakukan yaitu mengkonversi limbah ban bekas menjadi bentuk lain, yaitu tar dan arang sebagai energi alternative melalui proses pirolisis. Dalam studi ini, fokus kami adalah mengetahui pengaruh variasi suhu pirolisis, komposisi pada tar, dan nilai kalor pada arang dan tar hasil pirolisis ban truk Fuso Canter FE71. Suhu pirolisis yang digunakan yaitu 500, 600, 700, 800 °C selama 3 jam. Rendemen arang dan tar meningkat hingga titik optimum pada suhu 600 °C, kemudian menurun hingga suhu 800 °C. Komposisi tar dianalisis menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* yang menghasilkan 45,38% *limonene*; 19,82% *benzene*; 4,81% *toluene*; 10,91% *xylene*; dan 14,48% *alkene*. Nilai kalor tar dan arang diuji menggunakan alat *Bomb Calorimeter*. Tar dengan metode ASTM D040-19 menghasilkan nilai kalor 7.413,870 kal/g dan arang dengan metode ASTM D-2015-66 menghasilkan nilai kalor 7.878,918 kal/g.

Kata Kunci: pirolisis; tar; arang; rendemen; limbah ban truk Fuso Canter FE71

ABSTRACT: The expansion and the continuity of energy sector around the world is a significant case nowadays. Waste originating from petroleum-based products have a great potential to produce energy. Waste tires are inconvenient to rot, therefore they need a wide place for store and if waste tires are burnt they will cause new issues. One attempt that can be done is to convert waste tires into another form namely tar and charcoal as alternative energy through pyrolysis process. In this study, our focus is to find out the effect of variations in pyrolysis temperature, composition of tar, and calorific value of charcoal and tar from pyrolysis of Fuso Canter FE71 truck tires. The pyrolysis temperature used are 500, 600, 700, and 800°C for 3 hours. Charcoal and tar yield increase to the optimum point at 600°C, then decrease to 800°C. Tar composition is analysed with Gas Chromatography-Mass Spectrometry yielding 45.38% limonene; 19.82% benzene; 4.81% toluene; 10.91% xylene; and 14.48% alkene. The calorific grade of tar and charcoal was tested using a Bomb Calorimeter. Tar with ASTM D040-19 method yielded a calorific value of 7.413,870 cal/g and charcoal with ASTM D-2015-66 method yielded a calorific value of 7.878,918 cal/g.

Keywords: pyrolysis; tar; charcoal; yield; waste truck tire Fuso Canter FE71

1. Pendahuluan

Persediaan sumber daya berbasis fosil yang terbatas mengharuskan peralihan penggunaan energi fosil menjadi energi baru terbarukan. Energi baru terbarukan bisa didapatkan dari bahan baku yang mudah diperoleh dan umum digunakan oleh masyarakat. Beberapa penelitian ilmiah telah melaporkan bahwa limbah yang berasal dari

produk berbasis minyak bumi memiliki potensi yang cukup besar untuk menghasilkan energi (Wang et al., 2016). Limbah ban dapat diolah menjadi tar dan arang sebagai energi baru terbarukan. Tar (*Tyre Pyrolysis Oil*) dimanfaatkan pada boiler (*water cups* atau *thermal oil*), bahan bakar burner, mesin di industri (misalnya industri tekstil, aspal, dan kaca). Sedangkan arang dapat digunakan kembali sebagai komponen penyusun pembuatan ban, tinta,

* Corresponding Author: +6281904025253

Email: danangjay@upnyk.ac.id

toner maupun pelapis, bahan baku industri plastik, cat dan karbon aktif. Selain itu, arang juga dapat diolah menjadi briket *carbon black* sebagai pengganti batu bara.

Industri global telah menunjukkan pertumbuhan produksi ban seiring meningkatnya kebutuhan pasar. Pada tahun 2020, dampak dari pandemi Covid-19 produksi ban global diperkirakan melebihi tiga miliar unit. Industri ban meningkat secara linier dari waktu ke waktu (Rodgers, 2020). Truk Fuso Canter merupakan salah satu jenis truk terbanyak di Indonesia. Berdasarkan data pada Oktober 2021, Truk Fuso Canter telah terjual 1,32 juta unit (Galih, 2021). Hal tersebut berbanding lurus dengan limbah ban truk Fuso Canter yang akan dihasilkan. Oleh karena itu, limbah tersebut sebaiknya didaur ulang.

Ban truk tersusun dari bahan *carbon black* (25–35%), *rubber* (60–65%), dan sisanya merupakan pengisi dan akselerator (Martínez et al., 2013). Pendaaur ulangan ban berarti pendaaur ulangan karet, karena bahan baku ban kendaraan umumnya dari karet (Wahyunindyawati dan Dyanasari, 2017). Bahan dasar karet tersebut merupakan salah satu jenis polimer sintesis yaitu polibutadiena dan polistirena (Surdia & Saito, 2005). Material ban dalam bentuk C_xH_y dengan beberapa bahan berserat yang mana bahan tersebut sebagai polimer termoset (Leung & Wang, 1998). Ban truk secara umum berupa campuran antara karet alam (NR) dan karet sintesis (SR) seperti kopolimer stirena-butadiena (SBR) dan karet butil (BR). Karet alam berasal dari tanaman *Hevea*, sedangkan karet sintesis secara umum dari turunan produk petroleum (Shulman, 2004). Selain itu, karet pada ban memiliki jumlah *carbon black* yang lebih tinggi daripada batu bara (Martínez et al., 2013).

Tabel 1. Elemen dan Komposisi Ban Truk (Singh et al., 2018)

Komponen	Persentase (%)
Elemen	
Karbon	89,5
Hidrogen	7,5
Nitrogen	0,25
Sulfur	2,09
Oksigen	0,66
Moisture	1,6
Volatil	68,43
Fixed Carbon	24,3
Abu	5,67
Komponen	
Natural Rubber (NR)	27
Synthetic Rubber (SR)	14
Carbon Black	28
Steel	14-25
Fabric, filler, accelerator, dsb	16-17
Nilai Kalor (kj/kg)	34.743

Pirolisis, disebut juga *thermolisis*, merupakan proses dekomposisi kimia serta termal, umumnya menunjuk ke molekul yang lebih kecil (Syamsiro et al., 2019). Pirolisis

bahan bakar padat meliputi dua langkah utama: pirolisis primer (*primary cracking*) dan sekunder (*secondary cracking*). Dalam pirolisis primer, bahan bakar padat terdegradasi menjadi gas dan arang yang mudah menguap. Produk pirolisis utama bahan bakar padat adalah gas yang tidak dapat dikondensasi (ringan) (misalnya, CO, CO₂, H₂O, dan H₂), hidrokarbon ringan (misalnya, CH₄, C₂H₄), gas yang dapat dikondensasi (tar), residu padat (arang), dan abu mineral. Jika produk pirolisis primer mengalami reaksi lebih lanjut pada suhu yang lebih tinggi dan waktu tinggal yang lebih lama, itu dikenal sebagai pirolisis sekunder. Pirolisis sekunder mencakup proses seperti perengkahan, polimerisasi, kondensasi, dan deposisi karbon, yang dapat terjadi baik secara homogen (ketika reaktan berada dalam fase gas), atau heterogen (ketika reaksi terjadi pada permukaan bahan bakar padat atau partikel arang) (Safdari et al., 2018). Selama pirolisis sekunder, tar memanaskan dalam nyala api dan terurai menjadi gas yang lebih ringan atau berpolimerisasi untuk membentuk jelaga. Warna jingga dari api disebabkan oleh radiasi dari partikel jelaga kecil di bagian yang kaya bahan bakar dari nyala api (Di-Blasi, 1994).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Singh et al. (2018) densitas tar dari pirolisis ban truk pada suhu 650, 700, 750, dan 800°C yaitu 0,931; 0,920; 0,933; dan 0,898 g/ml sedangkan nilai kalor tar pada suhu optimal (750°C) yaitu 9.106,12 kal/g, sedangkan komposisinya yaitu 12,75% *limonene*; 16,36% *benzene*; 1,7% *toluene*; 3,91% *xylene*; dan 44,09% *alkene*. Pada penelitian Lopez et al (2017) menggunakan ban truk dengan suhu pirolisis 575°C menghasilkan rendemen tar dan arang sebesar 53,9% dan 35,9%, sedangkan komposisi tar yaitu 4,48% *limonene*; 4,84% *benzene*; 1,98% *xylene*; dan 9,85% *alkene* (Tabel 1). Penelitian ini menggunakan jenis bahan baku yang lebih spesifik yaitu ban truk Fuso Canter FE71. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh variasi suhu pirolisis ban truk Fuso Canter FE71 terhadap nilai rendemen tar dan arang, menghitung densitas tar rata-rata. Selain itu, penelitian ini juga menganalisis nilai kalor dan komposisi pada titik optimum. Menurut Lin et al. (2016) seiring dengan peningkatan suhu pirolisis, maka hasil arang akan menurun dan hasil tar akan meningkat hingga mencapai suhu optimum. Apabila sudah tercapai suhu optimum maka hasil tar akan menurun karena senyawa tar terurai menjadi gas ringan.

2. Metode Penelitian

2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan yaitu tabung gas nitrogen, *regulator valve*, karet penyumbat, *tube furnace*, panel informasi *furnace*, kondensor, adaptor, erlenmeyer, gelas ukur, timbangan elektrik, dan *stopwatch*. Sedangkan bahan yang digunakan yaitu Ban truk Fuso Canter FE71, nitrogen, dan air. Berikut merupakan rangkaian alat pirolisis dan bahan baku yang digunakan:



Gambar 1. Potongan Ban Truk Fuso Canter FE71

2.2 Persiapan Bahan Baku

Limbah ban truk Fuso Canter FE71 dari bengkel truk di Jalan Ring Road Utara, Sendangadi, Mlati, Sleman dibersihkan dengan cara dicuci hingga bersih. Selanjutnya ban tersebut dipotong menjadi ukuran 3x3 cm menggunakan gunting agar mempermudah proses perengkahan (Gambar 1). Kemudian limbah ban truk tersebut dikeringkan di bawah terik matahari selama 5 jam.

2.3 Proses Pirolisis

Limbah ban truk Fuso Canter FE71 yang telah melewati tahap persiapan dimasukkan kedalam reaktor yang berada di dalam tabung *furnace*. Reaktor yang digunakan terbuat dari *stainless steel* berbentuk tabung berukuran diameter 5 cm dan panjang 40 cm, sedangkan *furnace* yang digunakan terbuat dari baja karbon yang berbentuk tabung berukuran diameter 23 cm dan panjang 50 cm. Bahan baku yang digunakan sebanyak 100 gram bahan baku pada setiap percobaan. Setelah itu, salah satu ujung tabung sampel disambungkan dengan aliran gas nitrogen dan bagian ujung yang lain disambungkan dengan kondensor. Gas nitrogen dialirkan lebih dulu sebelum dihidupkannya termostat (selisih 2 menit). Termostat dihidupkan hingga masing-masing sampel mencapai variasi suhu 500, 600, 700, 800°C selama 3 jam. Setelah itu, dilakukan analisis rendemen arang dan tar; serta densitas rata-rata tar. Arang dan tar hasil pirolisis dengan suhu 600°C dianalisis komposisi dan nilai kalornya.

2.4 Studi Analisis Arang dan Tar Hasil Pirolisis

2.4.1 Analisis rendemen arang dan tar

Masing-masing tar dan arang hasil pirolisis variasi suhu dihitung rendemennya dengan rumus:

$$\text{Rendemen} = \frac{m_1}{m_0} \times 100\%$$

Keterangan

- m_1 = Massa fixed carbon hasil pirolisis
 m_0 = Massa bahan baku limbah ban truk

2.4.2 Analisis densitas tar

Penentuan densitas menggunakan piknometer diawali dengan menimbang dan mencatat massa piknometer kosong kemudian mengukur volume aquades. Kemudian piknometer yang berisi aquades ditimbang dan dicatat massanya. Selanjutnya piknometer yang berisi produk cair ditimbang dan dicatat massanya. Rumus penentuan massa jenis:

$$\text{Densitas} = \frac{m_{pt} - m_p}{V_a}$$

Keterangan

- m_{pt} = Massa piknometer yang berisi tar
 m_p = Massa piknometer kosong
 V_a = Volume aquadest

2.4.3 Nilai Kalor

Nilai kalor, kadang disebut juga panas pembakaran (*heating value*), yaitu standar untuk mengukur kandungan energi total yang dihasilkan dalam bentuk panas ketika suatu zat dibakar sepenuhnya dengan udara atau oksigen. Nilai kalor diperoleh dengan cara mengukur pembakaran sempurna dari satu unit kuantitas bahan bakar menggunakan alat *Bomb Calorimeter* dengan metode ASTM D-2015-66 untuk arang dan metode ASTM D040-19 untuk tar.

2.4.4 Analisis komposisi

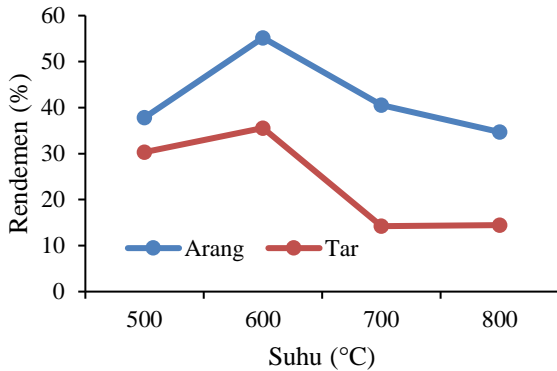
Tar hasil pirolisis dengan suhu optimum dianalisis dengan instrumen *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) digunakan untuk menentukan kandungan dan persentase hidrokarbon dalam tar produk pirolisis. Analisa ini dilakukan di Lab Terpadu UII dengan spesifikasi alat GC-MS buatan Shimadzu dengan model QP2010 SE dan kolom RTX 5 MS; panjang 3,04 m; dan ID 3,175 mm. *Solvent* yang digunakan yaitu etil asetat. *Gas carrier* yang digunakan yaitu nitrogen dengan gas pembakar oksigen dan hidrogen. *Flow rate* dari *carrier gas* yaitu 30 ml/menit. Kenaikan suhu sebesar 9°C/menit dengan suhu awal 50°C dan suhu akhir 230°C. Jumlah sampel yang diuji yaitu 0,2 ml/menit. Waktu analisis berlangsung selama 20 menit/sampel.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengaruh Variasi Suhu Pirolisis Terhadap Rendemen Arang dan Tar

Hubungan antara suhu pirolisis dan rendemen produk arang dan tar pada ban truk Fuso Canter FE71 dapat diamati pada Gambar 2. Hasil produk dipengaruhi secara signifikan oleh suhu operasi. Semakin tinggi suhu pirolisis maka rendemen arang dan tar yang dihasilkan akan semakin besar hingga mencapai titik optimum yaitu pada suhu operasi 600°C. Selanjutnya rendemen arang dan tar akan mulai menurun pada suhu 700°C, menurut Lopez et al. (2010) hal ini terjadi karena semakin meningkatnya suhu operasi maka akan terjadi peningkatan residu. Peningkatan residu disebabkan oleh adsorpsi aromatik pada permukaan arang. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Barbooti et al. (2004) dan Zabaniotou et al. (2003), produk arang yang dihasilkan

paling banyak dalam rentang suhu 400-600°C, sedangkan gas yang dihasilkan paling banyak dalam rentang suhu 700-950°C.



Gambar 2. Pengaruh Variasi Suhu Pirolisis Ban Truk Fuso Canter FE71 Terhadap Rendemen Produk Arang dan Tar

Peningkatan suhu operasi di atas suhu optimum dapat mengurangi produk tar karena reaksi sekunder yang terjadi pada suhu tinggi membentuk gas yang tidak dapat terkondensasi sehingga konsentrasi gas akan meningkat. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Barbooti et al. (2004) dan Li et al. (2004), bahwa peningkatan gas yang tidak terkondensasi akan menyebabkan penurunan produk tar. Proses pirolisis sekunder yang dinyatakan oleh Van Heek et al. (1994) yaitu kuantitas produk tar akan terus meningkat seiring dengan kenaikan temperatur, tetapi pada temperatur di atas 600°C sebagian senyawa tar terjadi perengkahan menjadi gas ringan atau berpolimerisasi membentuk arang. Berdasarkan pernyataan tersebut, hasil penelitian pada suhu operasi 700°C menghasilkan lebih banyak gas ringan yang tidak dapat terkondensasi.

Tabel 2. Pengaruh Variasi Suhu Pirolisis Ban Truk Fuso Canter FE71 Terhadap Rendemen Produk Arang dan Tar

Suhu (°C)	Rendemen Arang (%)	Rendemen Tar (%)	Densitas Tar (g/ml)	Densitas Rata-rata Tar (g/ml)
500	37,805	30,288	0,912	
600	55,175	35,559	0,902	0,906
700	40,567	14,230	0,878	
800	34,682	14,447	0,932	

Densitas yang diperoleh dari rata-rata tar untuk ban truk Fuso Canter FE71 yakni 0,906 g/ml. Menurut standar minyak diesel Ditjen Migas no. 14499K/14/DJM/2008, nilai densitas maksimal minyak diesel yakni 0,920 g/ml. Sedangkan densitas yang diperoleh dari penelitian (Singh et al., 2018) pada suhu 650, 700, 750, dan 800°C didapatkan densitas rata-rata 0,9205 g/ml. Berdasarkan hal tersebut,

nilai densitas rata-rata tar untuk ban truk Fuso Canter FE71 telah sesuai dengan standar dan tidak jauh dengan hasil penelitian yang sudah dilakukan.

3.2 Nilai Kalor (*Heating Value*) Arang dan Tar dari Pirolisis Ban Truk Fuso Canter FE71

Nilai kalor menunjukkan energi kalor yang terkandung pada bahan bakar setiap satuan massa. Tar diuji menggunakan *Bomb Calorimeter* dengan metode ASTM D040-19. Nilai kalor tar yang diperoleh sebesar 7.878,9179 kal/g. Hasil tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai kalor tar yang diproduksi oleh PT Sukses Sejahtera Energi (PT SSE) yaitu sebesar 10.135 kal/g. Sedangkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Singh et al., 2018) didapatkan nilai kalor tar 9.106,12 kal/g. Berdasarkan perbandingan tersebut, nilai kalor tar yang diperoleh dari penelitian ini lebih rendah daripada nilai kalor yang telah diproduksi oleh PT SSE dan penelitian yang telah dilakukan oleh Singh et al. (2018). Sedangkan penelitian yang telah dilakukan. Hal ini karena tar yang diperoleh dari penelitian ini masih berupa tar mentah yang harus diolah lebih lanjut supaya menghasilkan tar yang sesuai dengan standar nilai kalor yang lebih baik dan memenuhi standar di lapangan.

Arang diuji menggunakan *Bomb Calorimeter* dengan metode ASTM D-2015-66. Nilai kalor arang yang diperoleh sebesar 7.413,870 kal/g. Hasil tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai kalor tar yang ditetapkan oleh SNI 01-6235-2000 yaitu minimum 5.000 kal/g. Berdasarkan perbandingan tersebut, nilai kalor arang yang diperoleh dari penelitian ini sudah memenuhi nilai standar.

3.3 Analisis Komposisi Tar dari Pirolisis Ban Truk Fuso Canter FE71

Komposisi tar sangat bergantung pada komposisi formulasi karet ban. Ban truk Fuso Canter FE71 mengandung lebih banyak *synthetic rubber* (SR) atau karet sintesis daripada *natural rubber* (NR) atau karet alami. Berdasarkan hasil yang diperoleh oleh Kyari et al. (2005), pirolisis karet alam membentuk sejumlah besar gas alkana dan alkena, toluena, xilena. Sedangkan pirolisis karet sintesis menghasilkan sejumlah kecil gas yang tidak dapat terkondensasi dan menghasilkan sejumlah besar sikloheksane. Degradasi kopolimer stirena-butadiena (SBR) menghasilkan butadiena pada suhu rendah dan stirena, benzena, dan turunannya pada suhu tinggi. Komposisi tar hasil pirolisis ban truk Fuso Canter FE71 dapat diamati pada Tabel 3.

Berdasarkan Tabel 3, komponen tar yang diperoleh dari hasil pirolisis truk Fuso Canter FE71 mengandung 45,38% limonene; 19,82% *benzene*; 4,81% *toluene*; 10,91% *xylene*; dan 14,48% *alkene*. Komponen-komponen tersebut merupakan faktor penting untuk menjaga nilai ekonomis tar. Sedangkan penelitian yang telah dilakukan oleh Singh et al. (2018) pada suhu optimal (750°C) didapatkan komposisi 12,75% *limonene*; 16,36% *benzene*; 1,7% *toluene*; 3,91% *xylene*; dan 44,09% *alkene*. Berdasarkan hal tersebut, perbedaan yang cukup signifikan yaitu pada *limonene* dan *alkene*. Hal tersebut disebabkan bahan yang digunakan pada

penelitian (Singh et al., 2018) yaitu ban truk campuran. Sedangkan bahan penelitian yang digunakan pada penelitian ini yaitu ban truk Fuso Canter FE71.

Tabel 3. Komposisi Tar dari Pirolisis Ban Truk Fuso Canter FE71

Senyawa	Rumus Kimia	Retention time	Komposisi (%)
1,3-Butadiene	C ₅ H ₈	2,194	1,06
1-Limonene	C ₁₀ H ₁₆	6,165	44,50
1,3,5-Cycloheptatriene	C ₇ H ₈	2,715	8,44
Cyclohexene	C ₁₀ H ₁₆	4,277	6,31
1,4-Dimethylbenzene	C ₈ H ₁₀	3,237	5,84
1-Methyl-4-isopropenylbenzene	C ₁₀ H ₁₂	8,192	3,29
1,3,5,7-Cyclooctatetraene	C ₈ H ₈	3,405	3,16
Pentene	C ₁₂ H ₂₀	4,139	3,03
2,4-Hexadiene	C ₆ H ₁₀	2,410	2,91
Cyclobutane	C ₇ H ₁₂	2,641	2,88
Ethylbenzene	C ₈ H ₁₀	3,187	2,55
1-Methyl-2-ethylbenzene	C ₉ H ₁₂	3,950	1,78
2-Pentene	C ₆ H ₁₂	2,362	1,52
1,5,9-Decatriene	C ₁₄ H ₂₄	9,226	1,41
1,5-Heptadiene	C ₁₀ H ₁₈	4,884	1,35
Farnesene	C ₁₅ H ₂₄	12,975	1,30
Cyclooctane	C ₁₀ H ₁₆	4,365	1,15
2H-Azepin-2-one	C ₆ H ₁₁ N O	8,748	1,14
2-Norbornanone	C ₇ H ₁₀ O	4,020	1,12
2-Pentene	C ₇ H ₁₄	2,469	1,04
1,5-Cyclodecadiene	C ₁₅ H ₂₄	16,635	0,89
Pseudolimonene	C ₁₀ H ₁₆	7,262	0,88
1,4,6-Heptatriene	C ₁₀ H ₁₆	4,215	0,86
2-Heptanone	C ₇ H ₁₄ O	3,760	0,83
Trimethyl benzene	C ₉ H ₁₂	5,184	0,76

Berdasarkan komponen tar tersebut kemudian dikelompokkan menjadi fraksi bensin (C₄-C₁₂) sebesar 96,4%; fraksi minyak tanah (C₉-C₁₄) sebesar 65,32%; dan fraksi solar (C₁₅-C₁₈) sebesar 2,19%. Berdasarkan hasil yang diperoleh, produk tar mengandung fraksi bensin paling tinggi daripada fraksi minyak tanah dan solar.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa limbah ban truk Fuso Canter dapat dikonversikan menjadi produk tar dan arang yang memiliki

nilai ekonomis. Pada variasi suhu, rendemen arang dan tar dari pirolisis ban truk Fuso Canter FE71 meningkat hingga mencapai titik optimum yaitu pada suhu 600°C, kemudian rendemen arang dan tar menurun hingga suhu 800°C. Densitas rata-rata tar sebesar 0,906 g/ml. Nilai kalor arang dan tar sebesar 7.413,870 dan 7.878,918 kal/g. Komposisi tar dari pirolisis ban truk Fuso Canter FE71 mengandung 45,38% limonene; 19,82% benzene; 4,81% toluene; 10,91% xylene; dan 14,48% alkene.

Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kepala dan laboran Laboratorium Rekayasa Energi Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Industri, UPN "Veteran" Yogyakarta yang telah membantu terlaksananya penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Barbooti, M. M., Mohamed, T. J., Hussain, A. A. & Abas, F. O., 2004, Optimization of pyrolysis conditions of scrap tires under inert gas atmosphere, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Vol. 72 No. 1, Agustus: 165-170.
- Di-Blasi, C., 1994, Numerical simulation of cellulose pyrolysis, *Biomass Bioenergy*, Vol. 7: 87-98.
- Galih, 2021, KTB Perkenalkan Mitsubishi Fuso New Mining Spec Di GIIAS 2021, <https://mancode.id/berita/> (6 Oktober 2022).
- Kyari, M., Cunliffe, A. & Williams, P. T., 2005, Characterization of oils, gases, and char in relation to the pyrolysis of different brands of scrap automotive tires, *Energy & Fuels*, Vol. 19 No. 3, April: 1165-1173.
- Leung, D. Y. C. & Wang C. L., 1998, Kinetic study of scrap tyre pyrolysis and combustion, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Vol. 45, Mei:153-69.
- Li, S. Q., Yao, Q., Chi, Y., Yan, J. H. & Cen, K. F., 2004, Pilot-scale pyrolysis of scrap tires in a continuous rotary kiln reactor, *Industrial & engineering chemistry research*, Vol. 43 No. 17, Juni: 5133-5145.
- Lin, Y., Yan, W., Sheng, K., 2016, Effect of pyrolysis conditions on the characteristics of biochar produced from a tobacco stem, *Waste Manage*, 34, 793-801.
- Lopez, G., Olazar, M., Aguado, R., Elordi, G., Amutio, M., Artetxe, M. & Bilbao, J., 2010, Vacuum pyrolysis of waste tires by continuously feeding into a conical spouted bed reactor, *Industrial & engineering chemistry research*, Vol. 49 No. 19, Agustus: 8990-8997.
- Lopez, G., Alvarez, J., Amutio, M., Mkhize, N.M., Danon, B., van der Gryp, P., Gorgens, J.F., Bilbao, J., Olazar, , 2017, Waste truck-tyre processing by flash pyrolysis in a conical spouted bed reactor, *Energy conversion and management*, 142, 523-532.
- Martínez, J. D., Puy, N., Murillo, R., García, T., Navarro, M. V., & Mastral, A. M. (2013). Waste tyre pyrolysis—A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 23, 179-213.

- Rodgers, B. 2020. *Tire Engineering An Introduction*: CRC Press, Boca Raton.
- Safdari, Mohammad-Saeed., Rahmati, Mahmood., Aminia, Elham., Howartha, Joel E., Berryhilla, Jansen P., Diitenbergerb, Mark., Weisec, David R., Fletcher. & Thomas H., 2018, Characterization of pyrolysis products from fast pyrolysis of live and dead vegetation native to the Southern United States, *Fuel*, Vol. 229, Oktober: 151-166.
- Shulman, V.L. 2004. *Tyre recycling (Rapra review reports)*: Smithers Rapra Technology, Shawbury.
- Singh, R. K., Ruj, B., Jana, A., Mondal, S., Jana, B., Sadhukhan, A. K. & Gupta, P., 2018, Pyrolysis of three different categories of automotive tyre wastes: Product yield analysis and characterization, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Vol. 135, Oktober: 379-389.
- Surdia, T., dan S. Saito. 2005. Pengetahuan Bahan Teknik. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Syamsiro, M., Saptoadi, H., Kismurtono, M., Mufrodi, Z. & Yoshikawa, K, 2019, Utilization of waste polyethylene pyrolysis oil as partial substitute for diesel fuel in a DI diesel engine, *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, Vol. 8 No. 1, Juni: 38-47.
- Van Heek, K. H. & Hodek, W., 1994, Structure and pyrolysis behaviour of different coals and relevant model substances, *Fuel*, Vol. 73 No. 6, Juni: 886-896.
- Wahyunindyawati dan Dyanasari, 2017, *Ekonomi Sumber Daya Alam dan Lingkungan*, Cetakan Pertama, Deepublish, Yogyakarta.
- Wang, Wei-Cheng., Bai, Chi-Jeng., Lin, Chi-Tung. & Prakash, Samay., 2016, Alternative fuel produced from thermal pyrolysis of waste tires and its use in a DI diesel engine, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 93, Januari: 330-338.
- Zabaniotou, A. A. & Stavropoulos, G., 2003, Pyrolysis of used automobile tires and residual char utilization, *Journal of analytical and applied pyrolysis*, Vol. 70 No. 2, Desember: 711-722.