

## **Pengaruh Rasio Umpan terhadap Produksi *Bio-oil* dari *Co-pyrolysis* Tandan Kosong Kelapa Sawit dan *Low-density Polyethylene***

**Widia Rizki Nanda<sup>1)</sup>, Sunarno<sup>2)</sup>, Ida Zahrina<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> Mahasiswa Program Studi Sarjana Teknik Kimia, <sup>2)</sup> Dosen Jurusan Teknik Kimia  
Laboratorium Teknik Reaksi Kimia dan Katalisis  
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau  
Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas Km. 12,5, Panam, Pekanbaru 28293  
E-mail: widia.rizkinanda@student.unri.ac.id

### **ABSTRACT**

*Bio-oil is a dark brown liquid consisting of aliphatic, aromatic, and heterocyclic compounds which have the potential to be liquid fuels. Bio-oil can be produced from a mixture of biomass and synthetic polymers through the co-pyrolysis process. Co-pyrolysis is a pyrolysis process that involves two or more different materials as a feedstocks. Potential feedstocks for the production of bio-oil are oil palm empty fruit bunches (OPEFB) and low-density polyethylene (LDPE). The purposes of this study were to determine the effect of feed ratio on bio-oil yield, and characterize the physical properties of bio-oil. The co-pyrolysis process using OPEFB and LDPE as feedstocks, the feed ratio (OPEFB/LDPE) was varied in 100/0, 75/25, 50/50 and 25/75 at temperature was 400°C. The results of this study showed that the best bio-oil yield obtained at feed ratio of 25% OPEFB / 75% LDPE was 63.2%. The characteristics of physical properties such as density, viscosity, acidity and heating value of the best bio-oil were 0.838 g/ml, 3.63 cSt, 3.81 and 35.3 MJ/kg. The results of this study indicate that the pyrolysis process between OPEFB and LDPE has a positive synergistic effect that increases hydrocarbon content and reduces phenol content in bio-oil.*

**Key words:** *bio-oil, co-pyrolysis, LDPE, liquid fuels, OPEFB*

### **1. Pendahuluan**

Minyak bumi merupakan bahan bakar hidrokarbon yang persediaannya terbatas dan tidak dapat diperbarui. Hampir semua kegiatan membutuhkan bahan bakar yang bersumber dari minyak bumi, seperti industri, transportasi, dan rumah tangga. Berkurangnya cadangan minyak bumi menjadi permasalahan serius yang dihadapi oleh banyak negara salah satunya Indonesia. Produksi minyak yang dihasilkan di Indonesia hanya mencapai 266.753 ribu barel pada tahun 2016. Padahal kebutuhan bahan bakar

minyak dalam negeri pada tahun 2016 sangat tinggi, yakni 421.034 ribu barel (Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, 2017). Kondisi ini membuat para peneliti mencoba memusatkan perhatian untuk menemukan energi alternatif agar kebutuhan bahan bakar tetap dapat terpenuhi, yaitu dengan cara memanfaatkan biomassa (Abnisa, 2015).

Biomassa merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui sehingga dapat dijadikan sebagai sumber energi yang berkesinambungan. Biomassa dapat

diperoleh dari limbah pertanian, hutan, perkebunan, industri dan rumah tangga (Sunarno dan Akbar, 2013). Kelapa sawit merupakan salah satu sumber biomassa yang ketersediaannya melimpah di Indonesia khususnya di Pulau Sumatera dan Kalimantan. Provinsi Riau menghasilkan limbah padat sawit dari perkebunan kelapa sawit dengan total luas perkebunan sebesar 2.012.951 Ha dengan produksi kelapa sawit sebesar 7.425.108 ton pada tahun 2016 (Badan Pusat Statistik, 2018). Selama ini penggunaan TKKS lebih banyak digunakan sebagai pupuk, bahan bakar boiler serta bahan baku karbon aktif (Nur, 2014). Padahal tandan kosong kelapa sawit juga dapat dimaksimalkan untuk menghasilkan *bio-oil*.

*Bio-oil* dapat diproduksi melalui proses pirolisis (Saputra *et al*, 2015). Pirolisis merupakan proses dekomposisi senyawa kimia pada material dengan pemanasan tanpa adanya oksigen pada suhu lebih dari 300°C yang pada umumnya proses pirolisis menghasilkan *char*, *bio-oil*, dan gas (Speight, 2016). *Bio-oil* yang dihasilkan dari proses pirolisis memiliki kualitas yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar fosil, terutama yang berkaitan dengan efisiensi pembakaran. Rendahnya kualitas *bio-oil* disebabkan oleh tingginya kandungan senyawa oksigenat dalam *bio-oil* (Qiang *et al*, 2009).

*Bio-oil* yang dihasilkan oleh peneliti terdahulu dari proses pirolisis mempunyai nilai kalor yang lebih rendah daripada bahan bakar fosil dan bersifat asam yang disebabkan karena *bio-oil* memiliki kandungan hidrokarbon yang rendah dan kandungan asam serta fenol yang relatif tinggi (Oasmaa *et al*, 2010). Salah satu

cara meningkatkan kandungan hidrokarbon dalam *bio-oil* yakni dengan cara melakukan proses *co-pyrolysis* dengan penambahan bahan baku berupa polimer sintesis. Berbagai penelitian tentang *co-pyrolysis* biomassa dengan penambahan polimer sintesis telah dilakukan diantaranya berfokus terhadap peningkatan perolehan *yield* dan kandungan hidrokarbon dalam *bio-oil* (Abnisa *et al*, 2014).

Pada penelitian ini akan dilakukan penelitian *co-pyrolysis* tandan kosong kelapa sawit dan plastik *low-density polyethylene* (LDPE) dengan rasio umpan TKKS terhadap LDPE yakni 100/0, 75/25, 50/50 dan 25/75 (%b/%b). Penambahan LDPE pada *co-pyrolysis* ini diharapkan dapat meningkatkan kuantitas dan kualitas dari *bio-oil*. Tujuan dari penelitian ini yaitu menentukan pengaruh rasio umpan terhadap *yield bio-oil* dan menentukan karakteristik fisika dari *bio-oil*.

## 2. Metodologi

Penelitian ini merupakan penelitian berbasis laboratorium (*laboratory research*). Data-data yang diperoleh akan dibandingkan dengan beberapa referensi jurnal penelitian yang terkait dengan penelitian ini.

### 2.1 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu TKKS, plastik LDPE, gas nitrogen dan NaOH. Alat yang digunakan pada penelitian ini reaktor *co-pyrolysis*, kondensor, dan separator.

### 2.2 Persiapan Bahan Baku

Tahap ini terdiri dari proses pengecilan ukuran bahan baku, delignifikasi dan pengeringan TKKS. TKKS dan plastik LDPE dipotong hingga berukuran 1 cm dan 1 x 1 cm,

selanjutnya TKKS hasil pemotongan dilakukan proses delignifikasi menggunakan larutan NaOH 0,1 M pada suhu ruang selama 48 jam. Kemudian TKKS dilakukan pencucian kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 110°C selama 24 jam.

### 2.3 Proses Co-pyrolysis

Penelitian ini menggunakan reaktor dari bahan *stainless steel* yang dipanaskan secara eksternal menggunakan pemanas elektrik. Percobaan dilakukan dengan massa total umpan sebesar 10 g untuk setiap percobaan. Penentuan pengaruh rasio umpan terhadap *yield bio-oil* dilakukan dengan cara penyiapan sampel campuran berupa TKKS dan LDPE berbagai rasio berat yaitu 100/0, 75/25, 50/50 dan 25/75 (% b/b) yang kemudian dimasukkan ke dalam reaktor serta dialiri gas nitrogen sebesar 400 ml/menit, selanjutnya dilakukan proses *co-pyrolysis* pada suhu 400°C selama 60 menit.

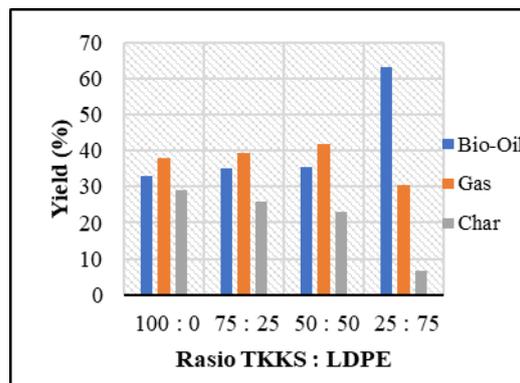
### 2.4 Karakterisasi Bio-oil

Karakterisasi sifat fisika *bio-oil* yang dilakukan meliputi penentuan densitas, viskositas, derajat keasaman (pH) dan nilai kalor.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Pengaruh Rasio Umpan terhadap Yield Bio-oil

Gambar 1 memperlihatkan bahwa pada proses *co-pyrolysis* antara campuran TKKS dan LDPE pada suhu 400°C menunjukkan *yield bio-oil* meningkat seiring dengan peningkatan jumlah LDPE yang diumpankan pada proses *co-pyrolysis* dengan *yield bio-oil* tertinggi diperoleh pada rasio umpan 25% TKKS / 75% LDPE sebesar 63,2%.



**Gambar 1.** Pengaruh rasio umpan terhadap *yield* produk

Hasil penelitian ini yang menunjukkan bahwa *yield bio-oil* meningkat seiring dengan meningkatnya rasio LDPE pada umpan disebabkan karena kandungan *volatile matter* pada umpan yang semakin meningkat seiring dengan meningkatnya rasio LDPE pada umpan. LDPE memiliki kandungan *volatile matter* yang lebih tinggi dibandingkan TKKS sehingga *volatile matter* pada umpan *co-pyrolysis* akan meningkat seiring bertambahnya rasio LDPE. Pendapat ini diperkuat oleh Asadullah *et al.* (2008) dalam penelitiannya yang menyatakan bahwa pada proses pirolisis semakin tinggi kandungan *volatile matter* pada biomassa maka akan menghasilkan fraksi *bio-oil* yang semakin tinggi dikarenakan *bio-oil* pada proses pirolisis berasal dari kandungan *volatile matter* pada bahan baku yang mengalami proses degradasi termal membentuk uap pirolisis yang kemudian dikondensasikan.

Menurut Abnisa (2015) bahwa penambahan plastik (polimer sintesis) memiliki peran penting dalam peningkatan produksi *bio-oil* dikarenakan polimer sintesis merupakan sumber hidrogen yang sangat baik. Hidrogen yang disediakan dari hasil degradasi polimer sintesis akan

mengalami reaksi transfer hidrogen dengan senyawa radikal turunan dari biomassa yang akan menstabilkan senyawa radikal dari degradasi termal biomassa. Bertambahnya rasio jumlah LDPE pada umpan akan meningkatkan ketersediaan hidrogen selama proses *co-pyrolysis* yang dapat meningkatkan terjadinya reaksi transfer hidrogen antara senyawa radikal turunan dari biomassa dengan hidrogen hasil degradasi polimer sintesis untuk membentuk senyawa-senyawa yang dapat terkondensasi.

### 3.3 Karakterisasi Fisika *Bio-oil*

Karakterisasi sifat fisika yang dilakukan pada variasi dengan *yield bio-oil* tertinggi, dalam hal ini penggunaan rasio 25% TKKS / 75% LDPE pada suhu 400° meliputi penentuan densitas, viskositas, pH, dan nilai kalor. Data hasil perbandingan karakterisasi sifat fisika *bio-oil* hasil dari *co-pyrolysis* TKKS dan LDPE dengan standar *bio-oil* dan *diesel oil* dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Perbandingan karakteristik fisika *bio-oil* hasil dari *co-pyrolysis* TKKS dan LDPE

Parameter	Penelitian ini	Standar <i>Bio-oil</i>	<i>Diesel Oil</i>
Densitas (g/ml)	0,84	1,2 <sup>a</sup>	0,9 <sup>c</sup>
Viskositas (cSt)	3,63	8 <sup>a</sup>	2,5-11 <sup>c</sup>
Nilai Kalor (MJ/kg)	35,5	13-18 <sup>b</sup>	43 <sup>d</sup>
pH	3,81	2-3 <sup>ab</sup>	5,5-8 <sup>e</sup>

(Sumber: <sup>a</sup>Dynamotive, 2006; <sup>b</sup>Oasmaa dan Peacocke, 2010; <sup>c</sup>Pertamina Patra Niaga, 2019; <sup>d</sup>Ahmad *et al.*, 2014; <sup>e</sup>Dunst, 2016)

Tabel 1 menunjukkan derajat keasaman (pH) *bio-oil* yang dihasilkan dari penelitian ini sebesar 3,81 yang berada diatas standar derajat keasaman (pH) *bio-oil* yang ditetapkan oleh Dynamotive (2006) yakni dengan pH berkisar pada 2 - 3, tetapi masih dibawah standar derajat keasaman (pH) untuk *diesel oil* yakni berkisar diantara 5,5 -8 (Dunst, 2016). Bila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan TKKS pada suhu 400°C diperoleh pH sebesar 3,4 (Sukiran *et al.*, 2009). Menurut Qi *et al.* (2007) bahwa *bio-oil* terdiri dari senyawa-senyawa asam karboksilat seperti asam asetat dan asam formiat dimana hal ini menyebabkan *bio-oil* bersifat semakin asam dengan pH antara 2 - 3.

Viskositas merupakan properti fisik penting bahan bakar yang harus dipertimbangkan ketika merancang penyimpanan, pemrosesan, dan transportasi bahan bakar. Pada penelitian ini didapatkan nilai viskositas sebesar 3,63 cSt. Bila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan TKKS (penambahan katalis Mo/NZA) pada suhu 320°C diperoleh viskositas sebesar 2,29 cSt (Firmansyah *et al.*, 2016). Qi *et al.* (2007) menyatakan bahwa nilai viskositas yang rendah menandakan tingginya kadar air dalam *bio-oil*. Pendapat ini juga diperkuat oleh He *et al.* (2009) dalam penelitiannya yang melaporkan bahwa viskositas dari *bio-oil* yang diperoleh semakin menurun dengan meningkatnya kadar air dalam *bio-oil*. Abnisa *et al.* (2014) dan He *et al.* (2009) menyatakan bahwa kadar air dalam *bio-oil* terutama berasal dari kelembaban dari bahan baku dan dari reaksi dehidrasi yang terjadi selama proses *co-pyrolysis*.

Nilai kalor pembakaran menunjukkan energi kalor yang dikandung dalam tiap satuan massa bahan bakar. Nilai kalor pada penelitian ini bernilai sebesar 35,5 MJ/kg. *Bio-oil* yang diperoleh dari penelitian ini memiliki nilai kalor yang cukup tinggi dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yakni sebesar 20,23 MJ/kg (Sukiran *et al*, 2009), tetapi masih dibawah nilai kalor *diesel oil* yakni 43 MJ/kg (Ahmad *et al*, 2014). Nilai kalor yang masih rendah ini diakibatkan oleh masih adanya senyawa oksigenat yang terkandung di dalam *bio-oil* (Hidayat, 2009).

Densitas pada penelitian ini bernilai sebesar 0,84 g/ml. Nilai densitas dari *bio-oil* dipengaruhi oleh berat molekul senyawa-senyawa yang terkandung di dalam *bio-oil*. Menurut He *et al*. (2009) bahwa densitas cenderung menurun apabila suhu *co-pyrolysis* meningkat disebabkan karena dekomposisi dari senyawa dengan berat molekul besar menjadi senyawa dengan berat molekul yang lebih rendah karena suhu yang tinggi. Semakin kecil densitas *bio-oil* maka akan semakin baik untuk digunakan sebagai bahan bakar karena semakin ringan (Negri, 2012).

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa *bio-oil* yang dihasilkan dari penelitian ini memiliki karakteristik sifat fisika yang lebih baik dibandingkan dengan standar *bio-oil*, namun apabila dibandingkan dengan standar *diesel oil* masih terdapat beberapa kriteria dibawah standar. Penelitian ini telah berhasil untuk meningkatkan kuantitas *bio-oil* akan tetapi nilai kalor yang dihasilkan *bio-oil* masih berada dibawah standar apabila dijadikan sebagai pengganti *diesel oil*.

#### 4. Kesimpulan

1. *Yield bio-oil* semakin meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah rasio umpan LDPE dengan perolehan *yield bio-oil* tertinggi didapat pada rasio umpan 25% TKKS / 75% LDPE sebesar 63,2%.
2. Karakteristik sifat fisika *bio-oil* hasil *co-pyrolysis* antara TKKS dengan LDPE dengan rasio umpan 25%/75% pada suhu 400°C yang meliputi densitas, viskositas, derajat keasaman (pH) dan nilai kalor masing-masing bernilai 0,838 g/ml; 3,63 cSt; 3,81 dan 35,3 MJ/kg.

#### Daftar Pustaka

- Abnisa, F. (2015). *Study on pyrolysis of oil palm solid waste and co-pyrolysis of palm shell with plastic and tyre waste*. Thesis. University of Malaya, Malaysia.
- Abnisa, F., Daud, W.M.A.W., Arami-Niya, A., Ali, B.S., & Sahu, J.N. (2014). Recovery of liquid fuel from the aqueous phase of pyrolysis oil using catalytic conversion. *Energy Fuels*, 28, 3074-3085.
- Ahmad, I., Khan, M.I., Khan, H., Ishaq, M., Tariq, R., Gul, K., & Ahmad, W. (2014). Pyrolysis study of polypropylene and polyethylene into premium oil products. *International Journal of Green Energy*, 12, 663-671.
- Alvarez, J., Amutio, M., Lopez, G., Santamaria, L., Bilbao, J., & Olazar, M. (2019). Improving bio-oil properties through the fast co-pyrolysis of lignocellulosic biomass and waste tyres. *Waste Management*, 85, 385-395.
- Asadullah, M., Rahman, M.A., Ali, M.M., Motin M.A., Sultan, M.B.,

- Alam, M.R., & Rahman, M.S. (2008). Jute stick pyrolysis for bio-oil production in fluidized bed reactor. *Bioresource Technology*, 99, 44-50.
- Badan Pusat Statistik. (2018). *Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2017*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Basu, P. (2018). *Biomass gasification, pyrolysis, and torrefaction (3<sup>rd</sup> ed)*. United States, Academic Press.
- De Wild, P., Reith, H., & Heeres, E. (2011). Biomass pyrolysis for chemicals. *Biofuels*, 2, 185-208.
- Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi. (2017). *Statistik Minyak dan Gas Bumi 2016*. Jakarta, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Dunst, J. (2016). How to maintain stores diesel fuel. <https://www.government-fleet.com/157049/how-to-maintain-stored-diesel-fuel>. 12 Januari 2020.
- Dynamotive. (2006). *Product Information Booklet*. Canada, Dynamotive Bio-Oil Information Booklet
- Firmansyah, Bahri, S., & Amri, A. Pirolisis tandan kosong sawit menjadi bio-oil menggunakan katalis Mo/NZA. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, 3, 1-7.
- He, R., Ye, P., English, B.C., & Satrio, J.A. (2009). Influence of pyrolysis condition on switchgrass bio-oil yield and physicochemical properties. *Bioresource Technology*, 100, 5305-5311.
- Hidayat, E. (2009). *Studi sifat fisik, kimia, dan uji unjuk kerja kompor dengan bahan bakar minyak pirolisis sekam padi*. Skripsi. Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Negri, G.P. (2012). *Konversi pelepah nipah menjadi bio-oil menggunakan metode pirolisis menggunakan katalis CoMo/NZA*. Skripsi. Universitas Riau, Pekanbaru.
- Nur, S.M. (2014). *Karakteristik kelapa sawit sebagai bahan baku bioenergi*. Bogor, PT. Insan Fajar Mandiri Nusantara.
- Oasmaa, A., & Peacocke, C. (2010). *Properties and fuel use of biomass-derived fast pyrolysis liquids: A guide*. Espoo, VTT Publications.
- Oasmaa, A., Elliot, D.C., & Korhonen, J. (2010). Acidity of biomass fast pyrolysis bio-oil. *Energy Fuels*, 24, 6548-6554.
- Pertamina Patra Niaga. (2019.) Trading Specification. <https://www.pertaminapatraniaga.com/assests/Tradingspec.pdf>. 19 Juni 2019.
- Qi, Z., Jie, C., Tiejun, W., & Ying, X. (2007). Review of biomass pyrolysis oil properties and upgrading research. *Energy Conversion and Management*, 48, 87-92.
- Qiang, L., Wen-Zhi, L., & Xi-Feng, Z. (2009). Overview of Fuel Properties of Biomass Fast Pyrolysis Oils. *Energy Conversion and Management*, 50, 1376-1383.
- Quan, C., & Gao, N. (2016). Copyrolysis of biomass and coal: A review of effect of copyrolysis parameters, product properties, and synergistic mechanisms. *BioMed Research International*, 2016, 1-11.

- Saputra, A., Bahri, S., & Amri, A. (2015). Pirolisis kayu akasia menjadi bio-oil menggunakan katalis NiMo/NZA dengan variasi jumlah pengembanan logam dan rasio berat katalis terhadap biomassa. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, 2, 1-6.
- Speight, J.G. (2016). *The Chemistry and technology of coal (3<sup>rd</sup> ed)*. New York, CRC Press Taylor & Francis Group.
- Sukiran, M.A., Chin, C.M., & Bakar, N.K.A. (2009). Bio-oil from pyrolysis of oil palm empty fruit bunches. *American Journal of Applied Sciences*, 6, 869-875.
- Sunarno & Akbar, F. (2013). Pirolisis katalitik tandan kosong sawit menjadi bio-oil dengan katalis HZSM-5. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, 11, 7-10