

Studi Karakteristik Komposisi Produk Katalitik Pirolisis TKKS dengan katalis Al White

Yeni Ria Wulandari^{1*}, Amelia Sri Rezki², Dian Ayu Afifah³, Nita Pita Sari⁴, Vida Elsyana⁵, Hendri Gustian⁶

^{1,2,3,4,5}Program Studi Teknologi Rekayasa Kimia Industri, Politeknik Negeri Lampung

⁶Program Studi Mekanisasi Pertanian, Politeknik Negeri Lampung

yeniriawulandari@polinela.ac.id

*corresponding author

INFORMASI ARTIKEL

Diterima 28 Maret 2023

Direvisi 10 April 2023

Diterbitkan 7 Juli 2023

Kata kunci:

Tandan Kosong Kelapa
Sawit (TKKS), Bio-oil,
Katalitik pirolisis.

ABSTRAK

Bio-oil dapat diproduksi dari biomassa yang berpotensi menjadi sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan. Sebagian besar biomassa masih ditemukan sebagai limbah organik atau digunakan sebagai mulsa. Oleh karena itu, sumber energi terbarukan ini perlu dikembangkan agar pemanfaatannya semakin maksimal sebagai sumber energi yang menjanjikan dengan proses katalitik pirolisis. Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh suhu katalitik pirolisis terhadap produk pirolisis berupa char, *bio-oil* dan gas. Percobaan dilakukan pada variasi suhu 300°C, 350°C, dan 400°C dengan menggunakan katalis Al white. Rasio katalis Al white dengan TKKS adalah 1:2 dicampur dengan katalis di dalam reactor pirolisis. Suhu yang diinginkan untuk proses pirolisis dapat diatur pada pengatur suhu reaktor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju produksi *bio-oil* optimum sebesar 55,81% diperoleh dari sampel pada suhu 350 °C. *Bio-oil* pada penelitian ini dibedakan menjadi BO (*bio-oil* pada fasa oil/minyak) dan BA (*bio-oil* pada fasa cair). Pada penelitian ini *bio-oil* yang diperoleh pada suhu proses 300°C, 350°C, dan 400°C adalah 45,28%, 55,81%, dan 47,40%, dengan *heating rate* 5,93 °C/menit, 6,11 °C/menit, dan 6,68 °C/menit serta densitas *bio-oil* berkisar 1,114–1,264 g/ml. Produk BO lebih kental dibandingkan produk BA. Viskositas BO semakin tinggi pada suhu pirolisis yang tinggi juga. Produk char terbanyak pada suhu 300°C dan produk gas terbanyak pada suhu 400°C. Semakin tinggi suhu pirolisis akan menghasilkan produk gas yang banyak pula. Melalui peningkatan proses pirolisis, *bio-oil* yang menjanjikan dapat diproduksi dengan suhu, perlakuan katalis, dan *heating rate* berperan penting di dalamnya.

Study of Composition Characteristics of EFB Catalytic Pyrolysis Products with Al White catalyst

ARTICLE INFO

Received March 28, 2023

Revised April 10, 2023

Published July 7, 2023

Keyword:

Empty Fruit Bunces (EFB),
Bio-oil, Catalytic Pyrolysis.

ABSTRACT

Bio-oil can be produced from biomass which has the potential to become an environmentally friendly renewable energy source. Most of the biomass is found as organic waste or used as mulch. Therefore, this renewable energy source needs to be developed so that its utilization can be maximized as a promising energy source with a catalytic pyrolysis process. The raw material used in this research is empty palm fruit bunches (EFB). The purpose of this study was to determine the effect of catalytic pyrolysis temperature on pyrolysis products in the form of char, *bio-oil* and gas. The experiment was carried out at various temperatures of 300°C, 350°C and 400°C using Al white catalyst. The ratio of Al white catalyst with EFB is 1:2 mixed with the catalyst in the pyrolysis reactor. The desired temperature for the pyrolysis process can be set on the reactor temperature controller. The results showed that the optimum *bio-oil* production rate of 55.81% was obtained from samples at 350 °C. *Bio-oil* in this study was divided into BO (*bio-oil* in the oil phase) and BA (*bio-oil* in the liquid phase). In

this study the bio-oil obtained at process temperatures of 300°C, 350°C and 400°C were 45.28%, 55.81% and 47.40%, with a heating rate of 5.93°C/minute, 6.11 °C/minute, and 6.68 °C/minute and the density of bio-oil ranges from 1.114–1.264 g/ml. BO products are thicker than BA products. BO viscosity is higher at high pyrolysis temperature as well. The most char products at 300oC and the most gas products at 400oC. The higher the pyrolysis temperature, the more gas will be produced. By improving the pyrolysis process, promising bio-oil can be produced with temperature, catalyst treatment, and heating rate playing an important role in it.

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



1. PENDAHULUAN

Berdasarkan data BPS (Badan Pusat Statistik) pada tahun 2022 Indonesia memproduksi CPO ±49 juta ton dengan luas perkebunan kelapa sawit ±14,50 juta hektar, sedangkan berdasarkan Surat Keputusan Menteri Pertanian No. 833/KPTS/SR.020/M/12/2019 tentang Penetapan Luas Tutupan Kelapa Sawit Indonesia tahun 2019, terdapat informasi geospasial luas tutupan kelapa sawit tahun 2019 sebesar 16,38 juta hektar. Besarnya pertumbuhan industri kelapa sawit tentu akan menghasilkan limbah kelapa sawit, limbah kelapa sawit meliputi limbah padat yaitu pelepah, batang, tandan kosong kelapa sawit (TKKS), *mesocarp fiber* (MF), cangkang, dan limbah cair POME (*Palm Oil Mills Effluent*). Dari data BPDP (Badan Pengelola Dana Perkebunan) kelapa sawit tahun 2018, pengolahan tandan buah segar untuk memproduksi CPO akan menghasilkan limbah padat TKKS sebesar 21%. TKKS yang dihasilkan selama tahun 2022 sebesar ±11 juta ton. TKKS merupakan salah satu limbah biomassa yang pemanfaatannya belum optimal, selama ini TKKS hanya dijadikan mulsa atau kompos dan dibakar. TKKS biomassa juga merupakan sumber karbon untuk aplikasi dalam pembuatan bahan kimia, *bio-fuels* dan material baru, salah satunya dapat di konversi menjadi *bio-oil* dengan cara katalitik pirolisis. *Bio-oil* mengandung banyak komponen kimia. Komponen kimia yang terkandung dalam *bio-oil* dapat digunakan sebagai peptisida pada tanaman, pupuk, pengawet dan bahkan sebagai sumber energi terbarukan. *Bio-oil* biasanya memerlukan perlakuan tambahan yang signifikan agar sesuai sebagai bahan baku kilang untuk menggantikan minyak mentah yang berasal dari minyak bumi, minyak, atau tar batu bara. [1]. *Bio-oil* dinilai sebagai bahan awal di antara berbagai bahan kimia atau sebagai bahan bakar nabati generasi kedua. *Bio-oil* adalah produk dari pirolisis biomassa yang dapat digunakan untuk bahan bakar turbin, mesin disel, bahan bakar untuk pengeringan dan boiler, menggantikan bahan bakar minyak bumi setelah dilakukan proses lanjutan peningkatan dan pemurnian yang sesuai [2]. TKKS merupakan biomassa yang mempunyai komposisi hemiselulosa 22,50%, selulosa 51,20%, dan lignin 21,30% [3]. TKKS memiliki potensial untuk terus berkelanjutan dan menguntungkan secara ekonomi di masa sekarang dan masa depan. Pirolisis TKKS tanpa menggunakan katalis telah dilakukan dengan menggunakan reaktor *batch* pada suhu 200, 250, 300, 350, 400, dan 450°C, dimana massa sampel yang digunakan 152,9 gram menghasilkan *bio-oil* untuk masing-masing suhu pirolisis sebanyak 10,92, 11,59, 16,51, 14,53, 23,80, dan 14,15 gram [4]. Metode katalitik adalah proses perengkahan ikatan karbon dengan bantuan katalis, atau yang sering disebut pirolisis katalitik. Katalitik pirolisis TKKS dengan katalis $\text{CoO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ pada suhu 500°C dengan heating rate 20°C/menit, dimana rasio 10% menghasilkan *bio-oil* sebesar 44,28% [5]. Katalitik pirolisis dilakukan untuk mendapatkan produk pirolisis sekunder dari produk pirolisis primer dan untuk meningkatkan kualitas *bio-oil* hasil pirolisis [6]. Katalitik pirolisis adalah proses degradasi suatu bahan dengan menggunakan katalis, dengan tujuan untuk mendapatkan produk *bio-oil* lebih banyak atau untuk mendapatkan *bio-oil* dengan kualitas yang lebih baik. Katalis juga mempunyai peran dalam selektifitas produk tertentu. Sehingga pada penelitian ini dilakukan katalitik pirolisis dengan Al *white* dengan suhu pirolisis 300, 350 dan 400°C.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Katalitik Pirolisis dilakukan didalam reaktor batch dengan volume 4L. Pemanasan menggunakan energi listrik dilengkapi kontrol suhu. Reaktor disambungkan dengan kondensor spiral pyrex 60 cm dengan air pendingin ±13°C.

2.1 Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan adalah TKKS dari perusahaan kelapa sawit di Lampung dan katalis Al *White*. Alat yang digunakan. reaktor *batch* volume 4 L, kondensor pyrex 60 cm, ayakan Retsch GmbH 60 mesh, timbangan analitik, piknometer pyrex 5mL.

2.2. Prosedur Penelitian

TKKS di kecilkan ukuran dengan menggunakan penggilingan hingga ukurannya 60 mesh. TKKS sebanyak 300 gr ditambah dengan katalis Al *white* 150 gram (2:1) dimasukkan kedalam reaktor untuk proses pirolisis. Suhu pirolisis diatur 300, 350, dan 450°C. Proses pirolisis berlangsung ±1,5 jam, proses pirolisis selesai sampai tidak ada uap yang dihasilkan dari proses pirolisis. Produk pirolisis yaitu gas, padatan yang disebut dengan char, dan cairan yang disebut *bio-oil*. *Bio-oil* dari prosuk pirolisis TKKS terdapat 2 jenis yaitu *bio-oil* dalam fasa *oil*, produk berwarna hitam dan kental disebut *bio-oil* fasa *oil* (BO). Sedangkan produk *bio-oil* dengan warna kekuningan lebih cair dan fasa nya sperti air disebut *bio-oil* fasa air (BA). Produk char tertinggal didalam reaktor, didapatkan setelah proses pirolisis selesai dan suhu telah dingin. Produk *bio-oil* didapatkan dari proses kondensasi gas hasil pembakaran TKKS yang tertampung pada labu penampungan, sedangkan produk gas merumakan gas noncondensable. Berikut adalah perhitungan massa dan *yield* produk:

$$\text{Massa char (g)} = \text{massa padatan dalam reaktor (g)} - 150 \text{ g (massa katalis)} \quad (1)$$

$$\text{Massa bio-oil (g)} = \text{volume (mL)} \times \rho \quad (2)$$

$$\text{Massa gas (g)} = \text{massa TKKS awal (g)} - \text{massa bio-oil (g)} - \text{massa char (g)} \quad (3)$$

$$\text{Yield produk} = \frac{\text{massa produk}}{\text{massa awal TKKS}} \times 100\% \quad (4)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Katalitik pirolisis TKKS dengan katalis Al *white* dilakukan menggunakan reaktor *batch*. Proses pirolisis berlangsung didalam reaktor sampai dengan selesai. Gas hasil pembakaran didalam reaktor akan keluar keatas reaktor melewati pipa selanjutnya melewati pipa spiral kondensor, terjadi perpindahan panas antara gas yang bersuhu panas dengan air pendingin kondensor bersuhu ±13°C. Sehingga terbentuk tetesan kondensat yang merupakan produk *bio-oil*. Produk *bio-oil* diambil setelah proses pirolisis selesai. Gas yang telah melewati kondensor namun tidak mengalami kondensasi akan melewati labu penampungan *bio-oil* dan keluar dari system pirolisis. Produk char akan tertinggal didalam reaktor dan diambil setelah suhu dingin. Pada tabel 1. merupakan produk *bio-oil* hasil katalitik pirolisis TKKS dengan katalis Al *white*. Pada penelitian ini *heating rate* proses pirolisis pada suhu 300°C adalah 5,94°C/menit, pada suhu 350°C adalah 6,11°C/menit dan pada suhu 400°C adalah 6,68°C/menit. Pirolisis pada penelitian ini adalah pirolisis lambat.

Tabel 1. Produk *bio-oil* katalitik pirolisis TKKS dengan katalis Al *white*

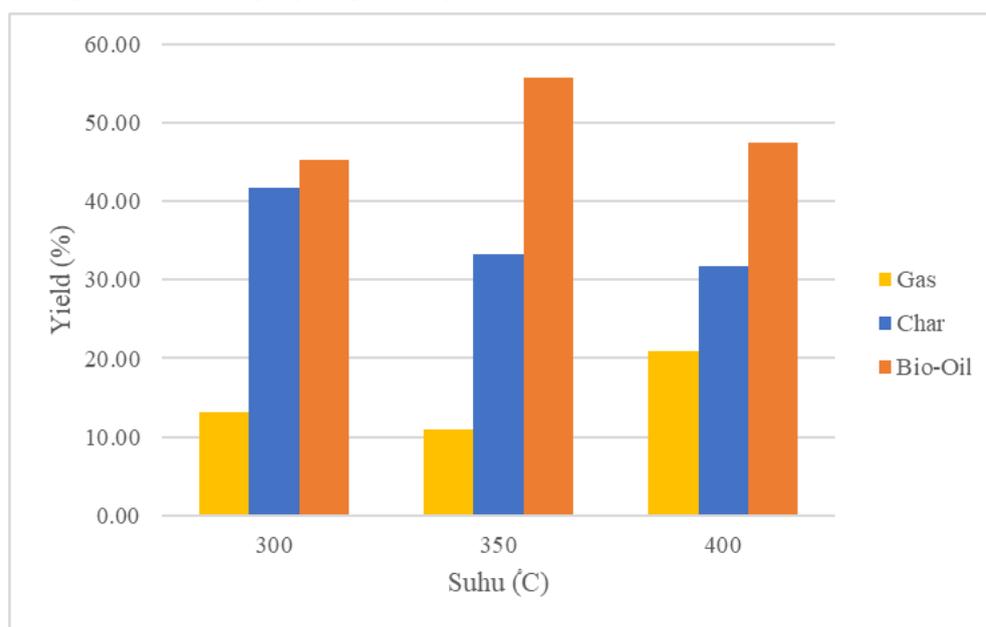
Parameter	Suhu (°C)		
	300	350	400
BA (mL)	103,02	122,36	103,15
BO (mL)	16,98	10,11	24,51
Densitas BA (gr/mL)	1,21	1,33	1,23
Densitas BO (gr/mL)	1,13	1,26	1,11
Viskositas BA (cP)	1,64	1,42	1,51
Viskositas BO (cP)	7,89	16,83	17,29

Keterangan : BA (produk *bio-oil* pada fasa air), BO (produk *bio-oil* pada fasa oil)

Produk *bio-oil* katalitik pirolisis TKKS menghasilkan dua jenis produk *bio-oil* yaitu BA dan BO. Produk BA berwarna kekuningan, memiliki jumlah yang lebih banyak, dan produknya lebih cair dari produk BO. Sifat BA yang lebih cair dapat dilihat dari viskositasnya pada tabel 1. Produk BA pada masing-masing suhu pirolisis yang berbeda memiliki viskositas yang lebih rendah dibandingkan dengan produk BO pada masing-masing suhu pirolisis (300, 3500, dan 400°C). Viskositas produk BA pada suhu 300°C adalah 1,64 cP, produk BA pada suhu 350°C adalah 1,42 cP, dan produk BA pada suhu 400 adalah 1,51 cP. Sedangkan viskositas produk BO pada suhu 300 7,89 cP, produk BO pada suhu 350°C adalah 16,83 cP, dan produk BO

pada suhu 400°C adalah 17,29 cP. Viskositas tertinggi pada produk BA terdapat pada suhu pirolisis 300°C. Jika dilihat dari densitas produk BA pada tabel 1. pada suhu 350°C memiliki nilai densitas yang tertinggi. Produk BA pada suhu 350°C memiliki kondisi optimum pada penelitian ini, karena memiliki volume yang tertinggi yaitu 122,36 mL. Produk *bio-oil* dengan viskositas rendah dan memiliki warna kekuningan memiliki *water content* yang tinggi dan nilai HHV yang rendah. *Water content* yang tinggi mengakibatkan unsur karbon yang terkandung didalam *bio-oil* rendah [7]. Kandungan unsur oksigen yang tinggi pada biomassa adalah faktor utama yang mempengaruhi tingginya *water content* dalam *bio-oil* hasil pirolisis biomassa [8]. Analisa ultimate TKKS menunjukkan kandungan unsur oksigen 36,03%, karbon 50,24%, dan unsur hidrogen 8,06% [9]. TKKS memiliki unsur oksigen dan karbon yang cukup tinggi.

Produk BO pada produk *bio-oil* pirolisis pada penelitian ini memiliki warna yang hitam dan sangat kental. Kekentalan dari produk BO ini dapat dilihat dari tingginya nilai viskositas dari produk BO ini yang terdapat pada tabel 1. Semakin tinggi suhu pirolisis semakin tinggi nilai viskositas dari produk BO. Produk BO pada suhu 400°C memiliki viskositas yang tertinggi pada penelitian ini yaitu 17,29 cP. Produk BO memiliki nilai HHV yang lebih tinggi dibandingkan dengan produk BA, karena *water content* yang terdapat pada produk BO sangat rendah [7]. Produk *bio-oil* dengan warna hitam dan memiliki kekentalan yang tinggi terbentuk dari degradasi selulosa dan hemiselulosa [8]. Kandungan hemiselulosa 22,50%, selulosa 51,20%, dan lignin 21,30% terdapat pada TKKS [3]. Densitas BO lebih rendah dari densitas BA, produk BO memiliki penampakan seperti minyak ketika produk BO dan BA tercampur, maka produk BO berada diatas produk BA. produk BO biasa disebut light oil dan produk BA biasa disebut heavy oil [10]. Densitas tertinggi untuk produk BO dan produk BA terdapat pada pirolisis pada suhu 350°C.



Gambar 1. Yield produk pirolisis TKKS

Pada gambar 1. Merupakan yield dari produk pirolisis TKKS pada suhu 300, 350, dan 400°C. Produk pirolisis TKKS pada gambar 1. Yaitu produk char yang berwarna biru, produk gas berwarna kuning dan produk *bio-oil* berwarna merah bata. Produk *bio-oil* pada gambar merupakan gabungan antara produk BA dan produk BO. Pada penelitian ini produk pirolisis pada suhu proses 300°C, 350°C, dan 400°C untuk produk char 41,67%, 33,33%, dan 31,67% dan produk gas 13,05%, 10,85% dan 20,93%. Sedangkan untuk produk *bio-oil* adalah 45,28%, 55,81%, dan 47,40%. Produk *bio-oil* terbanyak didapatkan pada suhu 350°C pada penelitian ini. Dimana pada suhu 350°C hemiselulosa dan selulosa sudah mengalami degradasi secara menyeluruh dan pada suhu 350°C Sebagian lignin juga mengalami degradasi [8]. Pada suhu 300°C selulosa dan hemiselulosa sudah mengalami degradasi secara menyeluruh tapi tidak untuk komponen lignin karena lignin mempunyai suhu degradasi $\geq 350^\circ\text{C}$. Pada suhu 400°C produk *bio-oil* mengalami penurunan tetapi mengalami peningkatan pada produk gas. Semakin tinggi suhu pirolisis maka akan semakin meningkat produk gas dan produk char mengalami penurunan. Pada suhu rendah TKKS belum secara menyeluruh mengalami degradasi sehingga produk charnya banyak didapat pada suhu rendah. Pada gambar 1. Pirolisis

pada suhu 300°C mempunyai produk char tertinggi, sedangkan pada suhu pirolisis 400°C produk char paling rendah. Hal tersebut berbanding terbalik dengan produk gas. Produk char pada penelitian ini masih cukup tinggi karena pada penelitian ini pirolisis berlangsung secara lambat.

4. KESIMPULAN

Katalitik pirolisis TKKS dengan menggunakan katalis Al White menghasilkan produk char, gas dan bio-oil. *Bio-oil* pada penelitian ini dibedakan menjadi BO (*bio-oil* pada fasa *oil*/minyak) dan BA (*bio-oil* pada fasa cair). Nilai viskositas antara produk BO dan BA perbedaannya sangat jauh. Produk BO lebih kental dibandingkan produk BA. Viskositas BO semakin tinggi suhu pirolisis akan semakin meningkat. Produk *bio-oil* terbanyak didapatkan pada suhu 350°C, sedangkan untuk produk char terbanyak pada suhu 300°C dan produk gas terbanyak pada suhu 400°C. Semakin tinggi suhu pirolisis akan menghasilkan produk gas yang banyak pula. Hal tersebut berbanding terbalik dengan produk char. Untuk penelitian selanjutnya agar dilakukan analisa komponen apa saja yang terkandung pada *bio-oil* pada produk BA dan BO. Katalis yang digunakan dapat dilakukan dengan menggunakan katalis yang berbeda dan membandingkan produk yang didapat. Untuk meningkatkan produk *bio-oil* dapat dilakukan dengan metode pirolisis cepat.

1. DAFTAR PUSTAKA

1. Zhang, L., et al., *Upgrading of bio-oil from biomass fast pyrolysis in China: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013. **24**: p. 66-72.
2. Chan, Y.H., et al., *Fractionation and extraction of bio-oil for production of greener fuel and value-added chemicals: Recent advances and future prospects*. Chemical Engineering Journal, 2020. **397**: p. 125406.
3. Abnisa, F., et al., *Characterization of bio-oil and bio-char from pyrolysis of palm oil wastes*. BioEnergy Research, 2013. **6**: p. 830-840.
4. Ginting, A.S., A.H. Tambunan, and R.P.A. Setiawan, *Karakteristik gas-gas hasil pirolisis tandan kosong kelapa sawit*. Jurnal Teknologi Industri Pertanian, 2015. **25**(2).
5. Mohamed, A.R., et al., *Catalytic pyrolysis of empty fruit bunch (EFB) with cobalt alumina catalyst*. J. Adv. Res. Eng. Knowl, 2018. **4**(1): p. 33-40.
6. Yao, L., et al., *Effect of Ni-Fe/CaO-Al₂O₃ catalysts on products distribution in in-situ and ex-situ catalytic pyrolysis of Chinese herb residue*. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2023: p. 105938.
7. Chang, S.H., *Bio-oil derived from palm empty fruit bunches: Fast pyrolysis, liquefaction and future prospects*. Biomass and Bioenergy, 2018. **119**: p. 263-276.
8. Wulandari, Y.R., et al., *Effect of N₂ flow rate on kinetic investigation of lignin pyrolysis*. Environmental Research, 2020. **190**: p. 109976.
9. Ferreira, M.F.P., et al., *Generation of biofuels by slow pyrolysis of palm empty fruit bunches: Optimization of process variables and characterization of physical-chemical products*. Biomass and Bioenergy, 2020. **140**: p. 105707.
10. Damayanti, D., Y.R. Wulandari, and H.-S. Wu, *Product Distribution of Chemical Product Using Catalytic Depolymerization of Lignin*. Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis, 2020. **15**(2): p. 432-453.