

# Potensi Tandan Kosong Sawit sebagai Bahan Bakar Padat: Analisis Degradasi Termal

Cici Maarasyid<sup>1</sup>, Ida Idayu<sup>2</sup>, Zulfansyah<sup>3</sup>, Israyandi<sup>4</sup>, Lisa Legawati<sup>5</sup>, Dini Aulia Sari Ermal<sup>6</sup>, Raihan Rawadi<sup>7</sup>, Cindy Olivia<sup>8</sup>, Suchy Arum Fitri<sup>9</sup>, Suci Aderiani<sup>10</sup>

<sup>1,4,5,6,7,8,9,10</sup>Teknik Kimia, Universitas Muhammadiyah Riau, Pekanbaru 28294, Indonesia.

<sup>2</sup>Fakultas Teknik Kimia dan Energi, Universiti Teknologi Malaysia, Skudai 81310, Malaysia

<sup>3</sup>Teknik Kimia, Universitas Riau, Pekanbaru 28291, Indonesia

*E-mail:* cicimaarasyid@umri.ac.id<sup>1</sup>

## Abstract

*The availability of oil palm empty fruit bunches in Indonesia could be an important source of biomass to be utilized as a solid fuel feedstock. In this work, the thermal behavior and degradation of oil palm empty fruit bunches was investigated with a thermogravimetric analyzer in nitrogen atmosphere. The samples were heated from room temperature to 900 °C at heating rates of 20 °C min<sup>-1</sup>. The ultimate and proximate analysis revealed that oil palm empty fruit bunches contains high volatile matter, fixed carbon and ash content while the calorific value was 17.87 MJ/kg. Thermogravimetric analysis results indicated thermal degradation of samples occurs in three stages, namely drying and evaporation, active degradation and passive degradation. In addition, active degradation commenced at 148 °C with a peak of degradation temperature of 322.5 °C resulting in 68.32% weight loss.*

**Keywords:** Palm empty fruit bunches, Solid fuel, Termal degradation, Biomass.

## Abstrak

*Ketersediaan tandan kosong kelapa sawit di Indonesia berpotensi menjadi sumber biomassa yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar padat. Dalam penelitian ini, perilaku termal dan degradasi tandan buah kelapa sawit diselidiki dengan alat analisa termogravimetri dengan kondisi atmosfer nitrogen. Sampel dipanaskan dari suhu kamar hingga 900 °C dengan laju pemanasan 20 °C min<sup>-1</sup>. Hasil analisis ultimat dan proksimat menunjukkan bahwa tandan kosong kelapa sawit mengandung bahan mudah menguap, kadar karbon tetap, dan abu yang tinggi, sedangkan nilai kalornya sebesar 17,87 MJ/kg. Hasil analisis termogravik menunjukkan degradasi termal sampel terjadi dalam tiga tahap, yaitu pengeringan dan evaporasi, degradasi aktif, dan degradasi pasif. Selain itu, degradasi aktif dimulai pada suhu 148 °C dengan puncak suhu degradasi 322,5 °C sehingga menghasilkan penurunan berat sebesar 68,32%.*

**Kata kunci:** Tandan kosong sawit, Bahan bakar padat, Degradasi termal, Biomassa.

## 1. Pendahuluan

Kelapa sawit merupakan komoditas perkebunan yang memiliki peranan penting bagi kegiatan perekonomian di Indonesia dengan menghasilkan minyak nabati yang esensial bagi masyarakat. Seiring dengan popularitasnya, area perkebunan sawit juga berkembang dengan cukup signifikan. Provinsi Riau sebagai sentral perkebunan sawit terbesar di Indonesia bahkan terus mengalami perkembangan sebesar 4% dari tahun 2019 hingga 2021 yaitu seluas 2.82 juta Ha. Peningkatan luas perkebunan ini diiringi dengan tumbuhnya industri pengolahan sawit dimana terdapat sebanyak 285 pabrik pengolahan sawit (PKS) yang ada di Riau dengan produksi minyak

sawit (*crude palm oil* atau CPO) mencapai 9,87 juta ton [1,2].

Dalam industri pengolahan sawit, disamping menghasilkan produk berupa CPO dan *Palm Kernel Oil* (PKO), juga menghasilkan produk samping berupa biomassa padat. Setiap tandan buah segar (TBS) yang diolah pada pabrik sawit akan menghasilkan CPO sejumlah 24% dan sisanya merupakan produk samping berupa tandan kosong sebanyak 23%, serat 13% dan cangkang 6,5% [3]. Tandan kosong sawit merupakan produk samping yang sampai sekarang masih belum teroptimalkan penggunaannya yang secara konvensional dibuang kembali ke areal perkebunan untuk dijadikan kompos alami. Namun, upaya pemanfaatan tandan kosong sawit ini sebagai

kompos di perkebunan secara terus menerus akan dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, seperti menimbulkan bau yang tidak sedap, pertumbuhan jamur yang tidak terkontrol, dan bahkan dalam cuaca panas yang ekstrem dapat memicu terjadinya kebakaran lahan. Penelitian ini bertujuan untuk menggali potensi lebih dari tandan kosong sawit untuk dijadikan sebagai salah satu sumber bahan bakar padat yang memungkinkan untuk menghasilkan energi alternatif bagi industri dan masyarakat setempat.

## 2. Methodologi

Tandan kosong sawit yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari PT. Asian Agri yang berlokasi di Pelalawan, Riau - Indonesia. Sampel yang diterima kemudian dicacah dan dikeringkan dengan cahaya matahari selama dua hari untuk mengurangi kadar air yang terdapat pada sampel. Selanjutnya sampel dihancurkan dengan mesin penggiling dan diayak untuk mendapatkan ukuran yang seragam yakni kurang dari 500  $\mu\text{m}$ .

Karakterisasi sampel dilakukan dengan cara analisa proximate (berdasarkan standard ASTM E871, E872, D1102), analisa ultimate dengan Leco elemental analyzer (model Elementar vario macro cube dari Elementar Analysensysteme GmbH), serta pengukuran nilai kalor dengan bomb calorimeter (model C200 dari IKA-Werke GmbH & Co. KG). Analisa komposisi biomassa juga dilakukan dengan fraksionasi sekuensial menggunakan Metode Chesson [4] seperti yang dilaporkan oleh Rahniawati dkk [5]. Semua pengukuran dilakukan perulangan sebanyak tiga kali untuk akurasi analisa.

Degradasi termal dari tandan kosong sawit dilakukan menggunakan Thermogravimetric Analyzer (TGA) model Q500 dari TA Instrument. Sebanyak 10 gr sampel dimasukkan ke dalam *reactor fixed bed* dan dipanaskan dari suhu ruangan hingga 850 °C dengan laju pemanasan 10 20 dan 30°C per menit. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan gas nitrogen dengan laju alir 30 ml/menit.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Langkah awal dan merupakan tahapan terpenting dalam mengkaji kelayakan biomass untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar padat adalah mengidentifikasi serta menganalisa komposisi dan karakter dari pembakarannya. Komposisi dari biomass tersebutlah yang membedakan dan menentukan karakteristik,

keunggulan, prospek penggunaan, dan permasalahan lingkungan yang berkaitan dengan pembakaran dari bahan bakar tersebut. Kajian ini dapat dicapai dengan karakterisasi bahan bakar padat menggunakan analisis fisik (*proximate*) dan kimia (*ultimate*) yang sudah dikenal luas. Analisis fisik dan kimia dari tandan kosong sawit pada penelitian ini ditampilkan pada Tabel 1 beserta dengan bahan bakar padat lainnya yang sering digunakan.

**Tabel 1.**  
Analisa proximate dan ultimate tandan kosong sawit dan biomassa lainnya.

Analisa	Tandan Kosong Sawit	Kayu [6]	Tempurung Kelapa [7]	Batu Bara [6]
1. Nilai Kalor (MJ/kg)	17,87	18,76	19,4	28,10
2. Proximate (% berat)				
Kadar air	7,92	7,70	5,56	2,28
Volatile Matter	79,77	73,63	70,82	9,09
Karbon tetap	14,89	18,30	21,80	72,06
Kadar Abu	5,34	0,37	1,80	16,57
3. Ultimate (% berat)				
C	45,9	49,95	40,08	74,50
H	5,80	6,14	5,22	2,66
O	47,1	35,74	54,31	2,12
N	1,20	0,11	0,22	1,39

Analisa proximat sangat membantu dalam mempelajari fenomena pembakaran dari biomassa. Materi yang mudah menguap (*volatile matter*) dan karbon tetap (*fixed carbon*) akan dapat memprediksi kemudahan biomassa untuk dapat terbakar. Sheng dan Azevedo [8] telah mengemukakan adanya korelasi empiris dari analisa proximat dan menyatakan bahwa kadar volatil dan karbon tetap pada biomassa memiliki efek positif terhadap nilai kalor. Sedangkan kadar abu akan menimbulkan efek negatif terhadap nilai kalor dari biomassa. Dari Tabel 1 menunjukkan bahwa tandan kosong sawit memiliki kadar materi volatil yang lebih besar dan karbon tetap yang rendah dibandingkan dengan biomassa lain.

Kualitas bahan bakar biomassa juga dapat dipelajari dari analisa ultimat. Dampak penggunaan biomassa sebagai bahan bakar padat terhadap lingkungan dapat dievaluasi dari proporsi kadar nitrogen dan sulfur. Kadar nitrogen dalam tandan kosong sawit relatif lebih tinggi dibandingkan biomassa lain seperti kayu dan tempurung kelapa, akan tetapi masih tetap rendah dibandingkan dengan batu bara. Rendahnya nilai kadar nitrogen ini dapat menjadikan biomassa sebagai bahan bakar padat yang ramah lingkungan dengan mengurangi korosi dan emisi NO<sub>x</sub> ke lingkungan. Selain itu, komposisi dari karbon,

hidrogen, dan oksigen pada analisa ultimat dapat digunakan secara empiris untuk mengetahui nilai kalor dari biomassa tersebut. Karbon dan hidrogen diketahui mampu meningkatkan nilai kalor dari biomassa dan merupakan sumber panas utama yang dilepaskan selama pembakaran. Sebaliknya, meskipun mendukung pembakaran bahan bakar, komposisi oksigen dapat menurunkan nilai kalor dari biomassa tersebut [9]. Nilai kalor dari tandan kosong sawit relatif seimbang dengan biomassa lainnya, yakni 17,87 MJ/kg, dan nilai ini masih rendah dibandingkan dengan nilai kalor batu bara.

Komposisi kimia dari biomassa juga memainkan peranan penting dalam pemanfaatan biomassa sebagai bahan bakar padat. Biomassa secara umum terdiri dari tiga komponen kimia yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin, dimana jumlahnya berbeda pada tiap jenis kayu, tanaman herbal, atau pun produk samping dari biomassa. Dalam kajian fenomena pembakaran, komposisi kimia dari biomassa tersebut menentukan karakteristik pembakaran yang terjadi. Analisa komposisi kimia dari tandan kosong sawit beserta biomassa lainnya disajikan pada Tabel 2. Analisa komposisi kimia yang didapat pada penelitian ini menunjukkan bahwa selulosa merupakan komponen yang terbanyak pada tandan kosong sawit, yang diikuti oleh hemiselulosa dan lignin yang komposisinya hampir berimbang.

**Tabel 2.**  
Analisa komposisi kimia tandan kosong sawit dan biomassa lainnya.

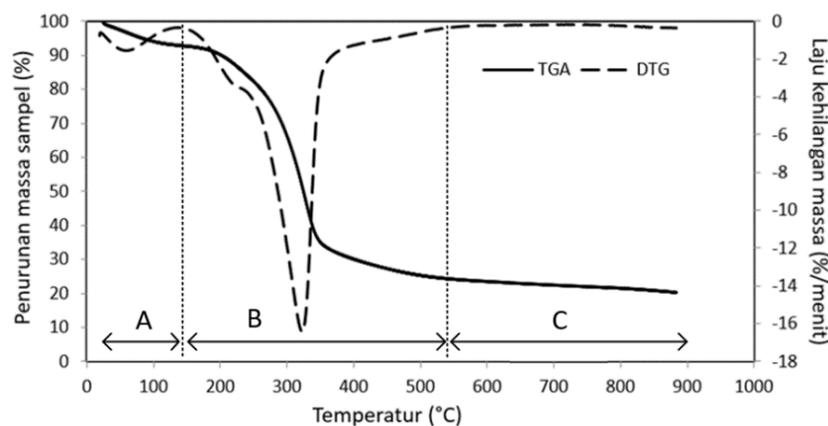
Komposisi (% berat)	Tandan Kosong Sawit	Kayu [10]	Tempurung Kelapa [11]
Selulosa	56,40	42,90	29,5 – 65
Hemiselulosa	12,26	20,90	23,8 – 27,8
Lignin	17,90	26,70	29,7 – 53,3
Ekstraktif	24,07		4,2

Karakteristik degradasi termal dan reaktivitas pembakaran dari tandan kosong sawit dapat dianalisa dengan metode termogravimetri. Penurunan massa tandan kosong sawit (TG) beserta dengan laju kehilangan massa (DTG) selama selama mendapat perlakuan termal dari temperatur ruang hingga 900°C dapat dilihat pada Gambar 1. Secara keseluruhan, degradasi termal yang terjadi pada tandan kosong sawit dapat dikelompokkan menjadi tiga tahapan, yakni tahap penghilangan kadar air (A), tahap degradasi aktif (B), dan tahap degradasi pasif (C). Profil dari setiap tahapan dalam proses degradasi termal

tandan kosong sawit disajikan dalam Tabel 2. Tahap awal dari degradasi termal tandan kosong sawit adalah penguapan kadar air yang dimulai dari suhu ruangan hingga suhu 148 °C, ditandai dengan terbentuknya lembah pada daerah A pada Gambar 1.

Tahapan selanjutnya adalah degradasi aktif yang terjadi pada rentang suhu 149 hingga 537 °C. Pada tahap degradasi aktif ini terjadi kehilangan massa dari tandan kosong sawit dalam jumlah yang banyak, yakni sebesar 68,32% berat dan berlangsung selama hampir 20 menit. Temperatur penyalaan dan maksimum pembakaran merupakan dua karakteristik penting yang berkaitan dengan degradasi termal, yang mana dapat diidentifikasi melalui kurva DTG. Temperatur penyalaan adalah temperatur ketika terjadinya lonjakan suhu secara tiba-tiba pada area degradasi aktif. Sedangkan temperatur maksimum pembakaran merupakan titik pada kurva DTG yang mengalami degradasi termal yang paling besar. Temperatur maksimum pembakaran ini sering digunakan sebagai indeks reaktivitas sampel dan umumnya disebabkan oleh komposisi volatil yang terdapat dalam sampel biomassa. Semakin tinggi komposisi volatil yang terdapat pada sampel biomassa, maka akan meningkatkan suhu maksimum pembakarannya [12]. Temperatur penyalaan tandan kosong sawit dimulai pada suhu 149 °C dan temperatur maksimum pembakarannya mencapai 322 °C, seperti yang ditunjukkan pada kurva DTG.

Pada tahap degradasi aktif terdapat tiga kondisi dimana terjadi perubahan suhu yang signifikan yang ditandai dengan lembah yang ditunjukkan pada kurva DTG. Lembah pertama ditandai dengan terjadinya lonjakan temperatur dari 148 hingga 232 °C, yang menyebabkan terjadinya kehilangan massa sebesar 8%. Kondisi ini dapat dihubungkan dengan terjadinya degradasi dari komponen volatil dan juga sebagian besar dari hemiselulosa yang ada pada sampel. Lonjakan perubahan suhu kedua ditandai dengan terbentuknya lembah kedua yang terjadi pada rentang suhu 232 hingga 372 °C, dimana sebagian besar selulosa terdegradasi pada tahap ini. Sebagian lignin juga mulai terdegradasi



**Gambar 1.** Kurva penurunan massa (TGA) dan laju kehilangan massa (DTG) tandan kosong sawit.

**Tabel 3.**  
Profil degradasi termal pada tandan kosong sawit.

Area	Proses	Mulai (°C)	Akhir (°C)	Kehilangan Massa (% wt)	Durasi (menit)
A	Penguapan Air	18	148	7,4	8,49
B	Degradasi Aktif	149	537	68,32	19,28
	<i>Lembah ke-1</i>	148	232,4	8,04	4,21
	<i>Lembah ke-2</i>	232,4	371,8	52,82	6,71
	<i>Lembah ke-3</i>	371,8	573	7,56	9,69
C	Degradasi Pasif	573	900	4,1	17,26

bersamaan dengan selulosa pada kondisi ini dan secara perlahan lahan terdegradasi hingga fase akhir degradasi aktif yang mencapai suhu 573 °C

Tahap terakhir yang terjadi merupakan degradasi pasif (area C), dimana tidak banyak sampel yang terdegradasi dan laju massa yang hilang cenderung konstan. Pada tahap ini hanya sisa lignin yang masih terikat pada sampel yang dapat diurai dan menyisakan arang (carbon) dari sampel. Secara keseluruhan, total massa tandan kosong yang hilang selama proses degradasi termal yang terjadi dari suhu ruangan hingga 900 °C hampir mencapai 80%.

Dari hasil penelitian ini, tandan kosong sawit ini sangat berpotensi untuk dikonversi menjadi bahan bakar padat secara termokimia. Akan tetapi perlu upaya pengondisian awal untuk mengurangi kadar air dari bahan baku tandan kosong sawit tersebut. Upaya mengkonversi berbagai biomass secara termokimia telah banyak dipelajari dan dilaporkan oleh peneliti sebelumnya [13,14].

#### 4. Simpulan

Karakteristik degradasi termal dari tandan kosong sawit dipelajari pada penelitian ini. Proses degradasi termal yang terjadi dapat dikelompokkan dalam tiga tahapan, yakni

penguapan air, degradasi aktif dan degradasi pasif. Laju kehilangan massa tandan kosong paling banyak terjadi pada tahapan degradasi aktif, yakni sebesar 68% dan berlangsung selama 19 menit. Temperatur penyalaan dari tandan kosong sawit dimulai pada suhu 149 °C dan temperatur maksimum pembakarannya mencapai 322 °C. Hasil kajian mengenai karakteristik termal tandan kosong sawit ini memberikan pandangan tentang potensi pemanfaatan tandan kosong sawit sebagai bahan bakar padat yang dapat digunakan sebagai pembangkit energi ataupun dimanfaatkan sebagai briket ataupun biopellet.

#### Daftar Pustaka

- [1] Direktorat Jendral Perkebunan. Statistik Perkebunan Unggulan Nasional 2020-2022. Sekretariat Direktorat Jendral Perkebunan. 2022.
- [2] Bayu. elaeis.co. 2023 [cited 2023 Nov 9]. <https://www.elaeis.co/berita/baca/baru-285-pabrik-Baru-285-Pabrik-Sawit-di-Riau-yang-Berizin>. Available from: <https://www.elaeis.co/berita/baca/baru-285-pabrik-sawit-di-riau-yang-berizin-ini-nama-namanya>.
- [3] Nabila R, Hidayat W, Haryanto A, Hasanudin U, Iryani DA, Lee S, et al. Oil palm biomass in Indonesia:

- Thermochemical upgrading and its utilization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2023;176(January):113193.
- [4] Datta R. Acidogenic Fermentation of Lignocellulose Acid Yield and Conversion of Components. *Biotechnol Bioeng*. 1981;23(9):2167–70.
- [5] Rahniawati N, Sumardi I, Dungani R. Isolation and identification of fungi inhabiting rubber-impregnated wood, and their role of quality changing the impregnated wood. *Bioresources*. 2020;15(2):2839–49.
- [6] Frau C, Ferrara F, Orsini A, Pettinau A. Characterization of several kinds of coal and biomass for pyrolysis and gasification. *Fuel* [Internet]. 2015;152:138–45. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2014.09.054>.
- [7] Kabir Ahmad R, Anwar Sulaiman S, Yusup S, Sham Dol S, Inayat M, Aminu Umar H. Exploring the potential of coconut shell biomass for charcoal production. *Ain Shams Engineering Journal* [Internet]. 2022;13(1):101499. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.05.013>.
- [8] Sheng C, Azevedo JLT. Estimating the higher heating value of biomass fuels from basic analysis data. *Biomass Bioenergy*. 2005;28(5):499–507.
- [9] Chen WH, Lin BJ, Lin YY, Chu YS, Ubando AT, Show PL, et al. Progress in biomass torrefaction: Principles, applications and challenges. *Prog Energy Combust Sci*. 2021;82.
- [10] Satria P, Obounou F, Fradet F, Philippe G. Understanding the thermoplasticization mechanism of wood via esterification with fatty acids: A comparative study of the reactivity of cellulose, hemicelluloses and lignin. *Carbohydr Polym*. 2023;324(October 2023).
- [11] Ighalo JO, Conradie J, Ohoro CR, Amaku JF, Oyedotun KO, Maxakato NW, et al. Biochar from coconut residues: An overview of production, properties, and applications. *Ind Crops Prod* [Internet]. 2023;204(PA):117300. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117300>.
- [12] Saidur R, Abdelaziz E a., Demirbas a., Hossain MS, Mekhilef S. A review on biomass as a fuel for boilers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011;15(5):2262–89.
- [13] Awasthi MK, Sar T, Gowd SC, Rajendran K, Kumar V, Sarsaiya S, et al. A comprehensive review on thermochemical, and biochemical conversion methods of lignocellulosic biomass into valuable end product. *Fuel* [Internet]. 2023;342(January):127790. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.127790>.
- [14] Ibarra-Gonzalez P, Rong BG. A review of the current state of biofuels production from lignocellulosic biomass using thermochemical conversion routes. *Chin J Chem Eng* [Internet]. 2019;27(7):1523–35. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2018.09.018>.