

# Pemanfaatan ampas batang kelapa sawit tua bebas nira sebagai bahan baku biopelet

[Utilization of sap free old palm dregs as raw material for biopellets]

Tanto Pratondo Utomo<sup>1\*</sup>, Udin Hasanudin<sup>1</sup>, Sri Hidayati<sup>1</sup>, Silaturahmi Widaputri<sup>1</sup>, dan Devi Zuhaida Sari<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Lampung

\* Email korespondensi : tanto.utomo@fp.unila.ac.id

Diterima : 29 January 2024, Disetujui : 3 April 2024, DOI: 10.23960/jthp.v29i1.100-108

## ABSTRACT

*Palm oil plants, after reaching the end of their productive life, need to be rejuvenated with proper handling to prevent old palm trunks, which have been cut down, from being infested by beetles and the growth of *Ganoderma sp.* fungus, which can damage productive palm oil plants in the vicinity. The old oil palm trunks contain sap and have been utilized. The residue of the oil palm trunk after sap extraction contains carbon compounds that can be used as raw material for bio-pellets, representing an added value potential. In this study, the composition of sap-free palm trunk dregs as raw material for bio pellets and the manufacture of bio pellets using sap-free palm dregs with a combination of particle size treatment and pressing pressure of T1M1 (0.4882 kg/cm<sup>2</sup>; 10 mesh); T1M2 (0.4882 kg/cm<sup>2</sup>; 20 mesh); T1M3 (0.4882 kg/cm<sup>2</sup>; 40 mesh); T2M1 (0.9764 kg/cm<sup>2</sup>; 10 mesh); T2M2 (0.9764 kg/cm<sup>2</sup>; 20 mesh); T2M3 (0.9764 kg/cm<sup>2</sup>; 40 mesh); T3M1 (1.4647 kg/cm<sup>2</sup>; 10 mesh); T3M2 (1.4647 kg/cm<sup>2</sup>; 20 mesh); and T3M3 (1.4647 kg/cm<sup>2</sup>; 40 mesh) using a hydraulic shop press to produce bio-pellets with a length of 2.5 cm and a diameter of 1.2 cm. The research used a descriptive method by presenting data as diagrams and tables. The results showed that the nira-free palm dregs used as raw material for the best bio-pellets in the T2M1 treatment (0.9764 kg/cm<sup>2</sup>; 10 mesh) contained 25.7% hemicellulose, 47.6% cellulose, and 7.2% lignin. The pellets produced contained 6.50% moisture content, 5.01% ash content, and 4416.93 cal/g heating value.*

*Keywords: dregs, palm stem, bio-pellets, sap free*

## ABSTRAK

Tanaman kelapa sawit setelah masa produktifnya berakhir harus dilakukan peremajaan dengan penanganan yang tepat agar batang sawit tua yang telah ditebang terhindar dari kemungkinan kumbang bersarang di dalamnya dan tumbuhnya *Ganoderma sp.* yang dapat merusak tanaman kelapa sawit produktif di sekitarnya. Batang sawit tua mengandung nira dan telah dimanfaatkan. Ampas batang sawit sisa pemerahan nira mengandung senyawa karbon yang berpotensi sebagai bahan baku biopelet yang menjadi potensi nilai tambah. Pada penelitian ini, komposisi ampas batang sawit bebas nira dikaji sebagai bahan baku biopelet menggunakan ampas sawit bebas nira dengan kombinasi perlakuan ukuran partikel dan tekanan pengepresan sebesar T<sub>1</sub>M<sub>1</sub> (0,4882 kg/cm<sup>2</sup>; 10 mesh); T<sub>1</sub>M<sub>2</sub> (0,4882 kg/cm<sup>2</sup>; 20 mesh); T<sub>1</sub>M<sub>3</sub> (0,4882 kg/cm<sup>2</sup>; 40 mesh); T<sub>2</sub>M<sub>1</sub> (0,9764 kg/cm<sup>2</sup>; 10 mesh); T<sub>2</sub>M<sub>2</sub> (0,9764 kg/cm<sup>2</sup>; 20 mesh); T<sub>2</sub>M<sub>3</sub> (0,9764 kg/cm<sup>2</sup>; 40 mesh); T<sub>3</sub>M<sub>1</sub> (1,4647 kg/cm<sup>2</sup>; 10 mesh); T<sub>3</sub>M<sub>2</sub> (1,4647 kg/cm<sup>2</sup>; 20 mesh); dan T<sub>3</sub>M<sub>3</sub> (1,4647 kg/cm<sup>2</sup>; 40 mesh). Pengepresan menggunakan *hydraulic shop press* sehingga dihasilkan biopelet berdimensi panjang 2,5 cm dengan diameter 1,2 cm. Penelitian menggunakan metode deskriptif dengan hasil analisis disajikan dalam diagram dan tabel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ampas sawit bebas nira yang digunakan sebagai bahan baku biopelet terbaik pada perlakuan T<sub>2</sub>M<sub>1</sub> (0,9764 kg/cm<sup>2</sup>; 10 mesh) yang mengandung 25,7% hemiselulosa; 47,6% selulosa; dan 7,2% lignin. Biopelet yang dihasilkan mengandung kadar air 6,50%; kadar abu 5,01%; dan nilai kalor 4416,93 kal/g.

*Kata kunci: ampas, batang sawit, biopelet, bebas nira*

## Pendahuluan

Kelapa sawit adalah salah satu komoditas unggulan di Indonesia dengan produksi minyak sawit sebanyak 46,82 juta ton pada tahun 2022 dan hal ini menyebabkan Indonesia menjadi produsen sawit terbesar di dunia. Selain itu, kelapa sawit menjadi salah satu penggerak ekonomi rakyat karena sebanyak

6,21 juta hektar atau sekitar 40,51 persen dari total luas areal perkebunannya merupakan perkebunan rakyat dengan kontribusi produksi minyak sawit sebanyak sekitar 16 juta ton (Badan Pusat Statistik, 2023).

Kelapa sawit mempunyai usia produktif terbatas, yaitu 25-30 tahun, dalam memproduksi tandan buah segar (TBS) sebagai bahan baku *crude palm oil* (CPO) atau minyak sawit kasar (Gunawan et al., 2021). Tanaman kelapa sawit yang telah memasuki usia tidak produktif selanjutnya diremajakan dengan cara ditebang untuk selanjutnya dilakukan proses peremajaan tanaman kelapa sawit baru yang lebih unggul dengan tujuan utama meningkatkan produktivitasnya (Gunawan et al., 2021). Walaupun bertujuan untuk meningkatkan produktivitas, peremajaan kelapa sawit memerlukan penanganan yang tepat untuk batang kelapa sawit tua yang telah ditebang. Pada saat ini, pohon kelapa sawit tua yang dikelola petani apabila setelah ditebang batang umumnya hanya dibakar, atau dibiarkan membusuk di kebun, sedangkan pada perusahaan besar kelapa sawit dilakukan pencacahan batang dan dikembalikan ke kebun. Batang kelapa sawit tua yang telah ditebang apabila dibiarkan akan berpotensi menimbulkan masalah berupa tumbuhnya jamur patogen *Ganoderma sp.* penyebab penyakit akar pada tanaman perkebunan dan kehutanan, termasuk kelapa sawit. Apabila tanaman kelapa sawit telah terinfeksi *Ganoderma sp.*, maka pengendalian infeksi menjadi sulit karena siklus hidupnya yang kompleks walaupun menggunakan pengendali hayati *Trichoderma reesei* yang bersifat antagonis terhadap jamur lain (Jazuli et al., 2022).

Batang kelapa sawit tua yang telah ditebang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan berbagai produk yang bernilai tambah seperti gula cair, alkohol, dan asam asetat dengan memanfaatkan nira dari batang kelapa sawit tua sebagai bahan bakunya (Wulandika et al., 2019). Selain itu, batang sawit tua juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku produk lembaran serat semen (Naufa & Limbong, 2019) dan berbagai perabotan untuk tugas beban ringan sama dengan berat (berat jenis kelas IV dan kuat lentur kelas V) (Limbong & Sipahutar, 2021)

Ampas batang kelapa sawit tua yang telah diambil niranya diduga masih dapat digunakan bahan baku bahan bakar rumah tangga dan industri dalam bentuk biopelet berupa bahan bakar padat berbahan baku biomassa hasil samping pertanian yang berukuran lebih kecil dari briket yaitu berdiameter 15-20 mm dengan tambahan perekat berkisar 0,5-5,0 persen. Biopelet dibuat dalam 6 tahapan proses yang terdiri dari proses pendahuluan, pengeringan, pengecilan ukuran, pencetakan, pendinginan, dan *silage*. Biopelet menggunakan proses peletisasi untuk meningkatkan kerapatan spesifiknya menjadi lebih dari 1.000 kg/m<sup>3</sup> (Windarwati, 2011; Lehtingkas, 2001).

Beberapa penelitian pemanfaatan bagian dari kelapa sawit sebagai bahan bakar antara lain briket dari kombinasi tandan kosong-ampas tebu-serbuk gergaji menggunakan perekat kanji (Faizal et al., 2016); biobriket arang berbahan baku tandan kosong kelapa sawit dan ampas tebu (Giyanto & Hamdi, 2021); dan biopelet berbahan baku pelepah kelapa sawit dan ampas tebu dengan perekat tepung tapioka (Halawa & Harjanti, 2021). Pada penelitian ini kajian dilakukan terhadap pemanfaatan ampas batang kelapa sawit tua sisa pemerahan nira menjadi biopelet berdasarkan kombinasi ukuran partikel dan tekanan pengepresan. Karena ukuran serat batang sawit cukup panjang yaitu 2-4 cm, maka diperlukan pengecilan ukuran (Agustira et al, 2019; Hakim, 2019). Peneliti terdahulu menggunakan batang sawit tua sebagai bahan baku biopelet dalam bentuk ampas sawit tanpa pemanfaatan terlebih dahulu niranya (Zulfadhli & Munazir, 2017; Hakim, 2019; Agustira et al., 2019) sehingga hanya mendapatkan nilai tambah sebagai biopelet sedangkan niranya tidak termamfaatkan. Selain itu, biopelet yang dikaji pada penelitian ini tidak menambahkan perekat seperti yang dilakukan dan Faizal et al., (2016) dan Giyanto & Hamdi (2021), melainkan memanfaatkan lignin yang masih terdapat pada ampas batang sawit bebas nira sehingga apabila diterapkan akan menghemat biaya.

## Bahan dan metode

### Bahan dan alat

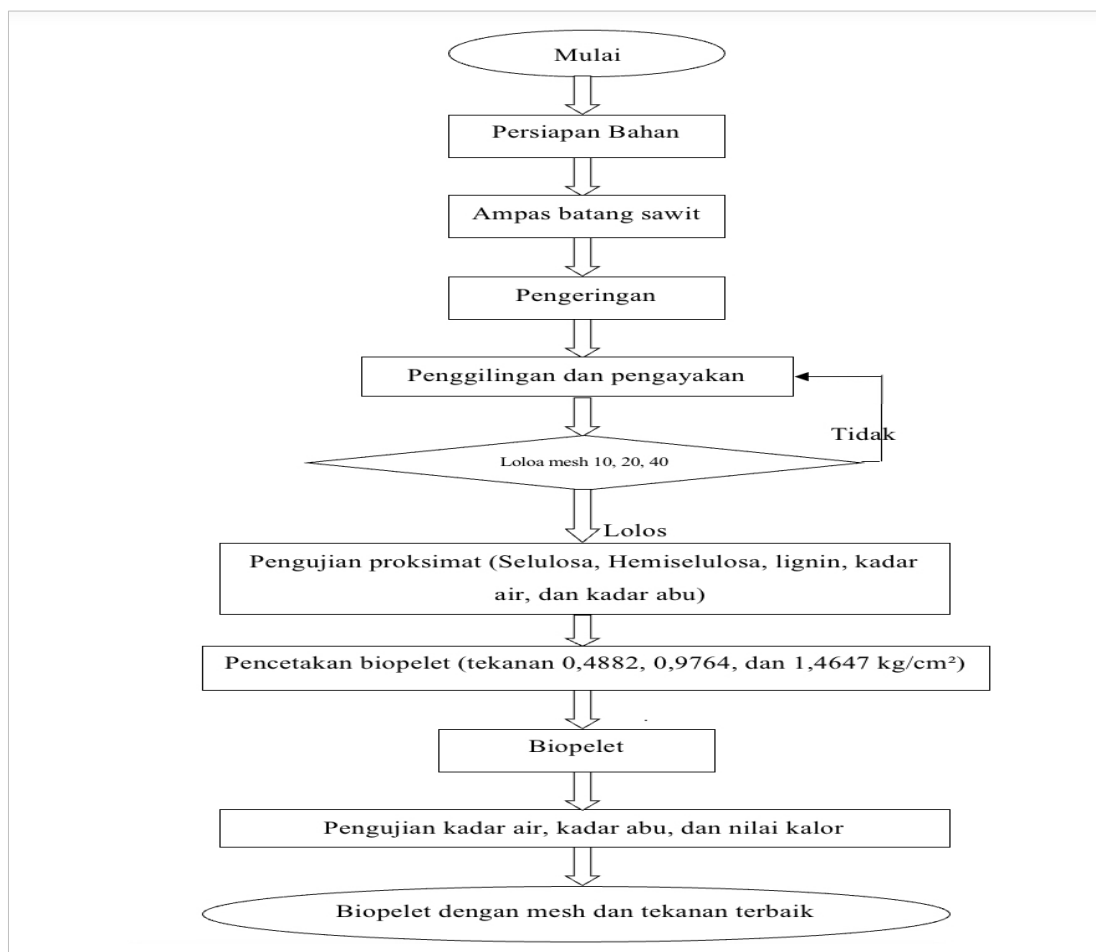
Ampas sawit bebas nira yang digunakan sebagai bahan baku biopelet diperoleh dari PTPN 7 Unit Usaha Rejosari, Lampung, sedangkan peralatan yang digunakan berupa peralatan pencacah ampas, pencetak biopelet, dan peralatan pengujian komposisi ampas sawit batang kelapa sawit tua berupa kadar selulosa-hemiselulosa-lignin, peralatan pengujian biopelet yang dihasilkan.

### Metode penelitian

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif dengan hasil analisis disajikan dalam diagram dan tabel. Perlakuan adalah kombinasi perlakuan ukuran partikel dan tekanan pengepresan sebesar  $T_1M_1$  (0,4882 kg/cm<sup>2</sup>; 10 mesh);  $T_1M_2$  (0,4882 kg/cm<sup>2</sup>; 20 mesh);  $T_1M_3$  (0,4882 kg/cm<sup>2</sup>; 40 mesh);  $T_2M_1$  (0,9764 kg/cm<sup>2</sup>; 10 mesh);  $T_2M_2$  (0,9764 kg/cm<sup>2</sup>; 20 mesh);  $T_2M_3$  (0,9764 kg/cm<sup>2</sup>; 40 mesh);  $T_3M_1$  (1,4647 kg/cm<sup>2</sup>; 10 mesh);  $T_3M_2$  (1,4647 kg/cm<sup>2</sup>; 20 mesh); dan  $T_3M_3$  (1,4647 kg/cm<sup>2</sup>; 40 mesh). Pengepresan menggunakan *hydraulic shop press* untuk menghasilkan biopelet berdimensi panjang 2,5 cm dengan diameter 1,2 cm. Perlakuan menggunakan dua ulangan.

### Pelaksanaan penelitian

Pelaksanaan penelitian dibagi menjadi tahapan persiapan bahan baku berupa ampas batang kelapa sawit tua bebas nira yang dilakukan penghalusan untuk selanjutnya diproses sebagai bahan baku pembuatan biopelet (Gambar 1).



Gambar 1. Diagram alir pelaksanaan penelitian

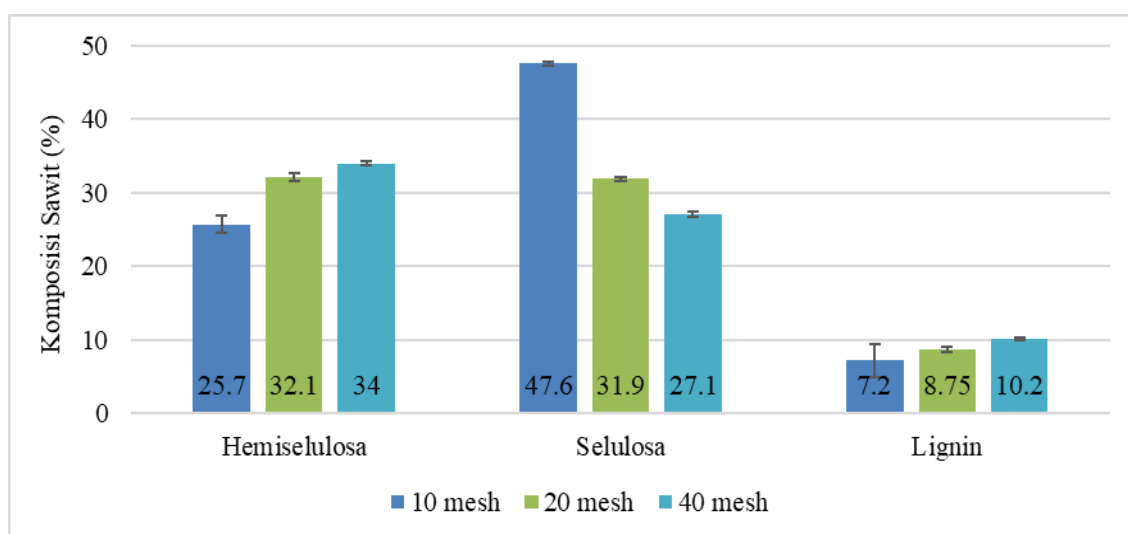
### Parameter penelitian

Pengamatan terhadap ampas batang kelapa sawit tua bebas nira yang digunakan sebagai bahan baku biopelet berupa kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin menggunakan prinsip gravimetri berdasarkan biomassa yang hilang setelah proses hidrolisis asam secara bertahap menggunakan asam sulfat (Widiputri et al., 2022). Pengamatan terhadap biopelet yang dihasilkan menggunakan metode gravimetri (AOAC, 2019) untuk kadar air dan kadar abu, dan pendekatan panas yang dilepaskan dari pembakaran sejumlah unit bahan bakar (abu, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, dan N<sub>2</sub>) yang tidak termasuk air menjadi uap air (ASTM, 2023).

## Hasil dan pembahasan

### Komposisi ampas batang kelapa sawit tua bebas nira

Komposisi ampas batang kelapa sawit tua bebas nira yang digunakan sebagai bahan baku pada tiga jenis ukuran yaitu 10, 20, dan 40 mesh disajikan pada Gambar 2.



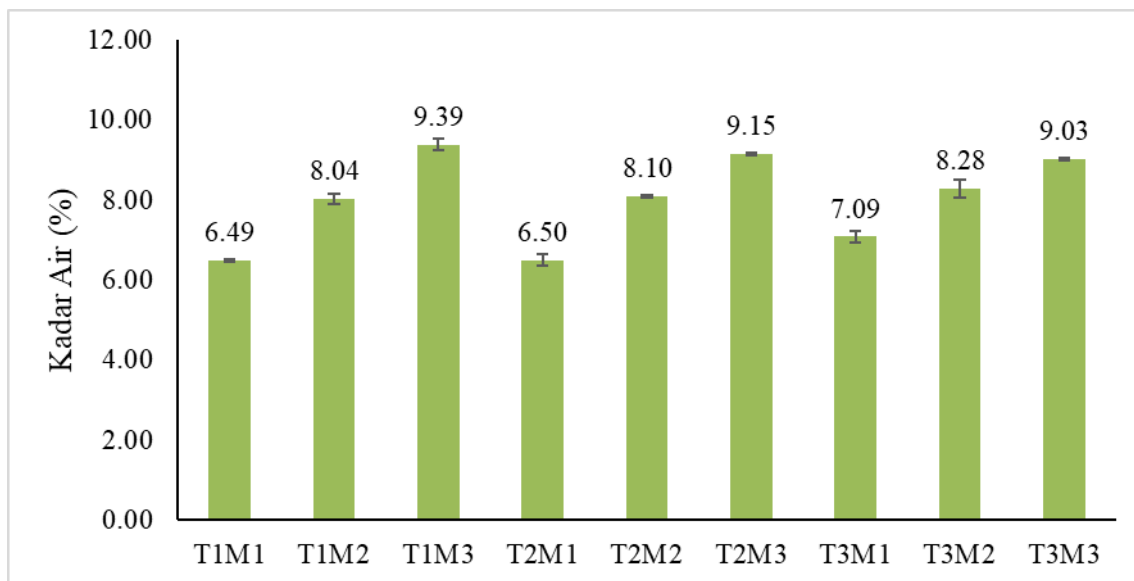
Gambar 2. Komposisi ampas batang kelapa sawit tua bebas nira yang digunakan sebagai bahan baku biopelet

Ampas batang kelapa sawit tua bebas nira yang digunakan sebagai bahan baku biopelet terdiri dari selulosa, hemiselulosa dan lignin yang ketiganya mengandung karbon sehingga biomasanya dapat digunakan sebagai bahan bakar dengan nilai *higher heating value* (HHV) diperkirakan sebesar 18,60 kJ/g sedangkan lignin 23,25-25,58 kJ/g (Chandraratne & Daful, 2022; Demirbas, 2001). Berdasarkan penggolongannya, selulosa dan hemiselulosa tergolong karbohidrat sedangkan lignin tidak termasuk karbohidrat.

Berdasarkan Gambar 2 terlihat kandungan hemiselulosa dan selulosa yang semakin besar dengan kandungan lignin yang semakin kecil maka semakin besar ukuran partikel bahan baku biopelet. Hal ini diduga karena hemiselulosa merupakan polimer rantai pendek yang tersusun dari 500-3.000 unit molekul glukosa sedangkan selulosa terdiri dari 7.000-15.000 molekul glukosa, dan hemiselulosa merupakan polimer bercabang sedangkan selulosa tidak bercabang (Gibson, 2012). Mansor et al., (2018) menyatakan bahwa hemiselulosa merupakan konstituen biomassa yang pertama kali terurai selama pemanasan dengan mengacu pada grafik TGA-DTG pada interval suhu 200°C dan 300°C. Dekomposisi selulosa yang stabil dimulai pada suhu sekitar 300°C. Lignin dicirikan sebagai proses dekomposisi yang lambat, mencakup seluruh rentang suhu antara 120°C dan 900°C. Biopelet yang dihasilkan pada penelitian ini diduga mengandung lignin yang mencukupi pada pembuatan biopelet, sehingga biopelet berbahan baku ampas batang kelapa sawit tua bebas nira tidak perlu menggunakan perekat.

### Kadar air

Kadar air biopelet yang dihasilkan pada ukuran mesh dan tekanan yang berbeda disajikan pada Gambar 3. Nilai rata-ran kadar air biopelet pada ukuran mesh dan tekanan yang berbeda berkisar antara 6,49 persen sampai dengan 9,39 persen. Nilai kadar air biopelet yang dihasilkan cenderung meningkat dengan adanya kombinasi perlakuan tekanan pengepresan dengan nilai yang besar dan ukuran mesh dengan nilai yang kecil. Hal ini disebabkan tingginya tekanan pengepresan dan ukuran serbuk yang kecil menyebabkan air yang keluar dari bahan semakin kecil. (Aripin et al., 2015) menyatakan bahwa komposisi pada ukuran biopelet yang berbeda dan pori-pori yang beragam antar partikel menyebabkan kemampuan biopelet menyerap air akan berbeda. Kadar air biopelet ampas batang sawit bebas nira yang dihasilkan pada ukuran mesh dan tekanan yang berbeda memenuhi SNI 8021: 2014 yaitu maksimum 12 persen.



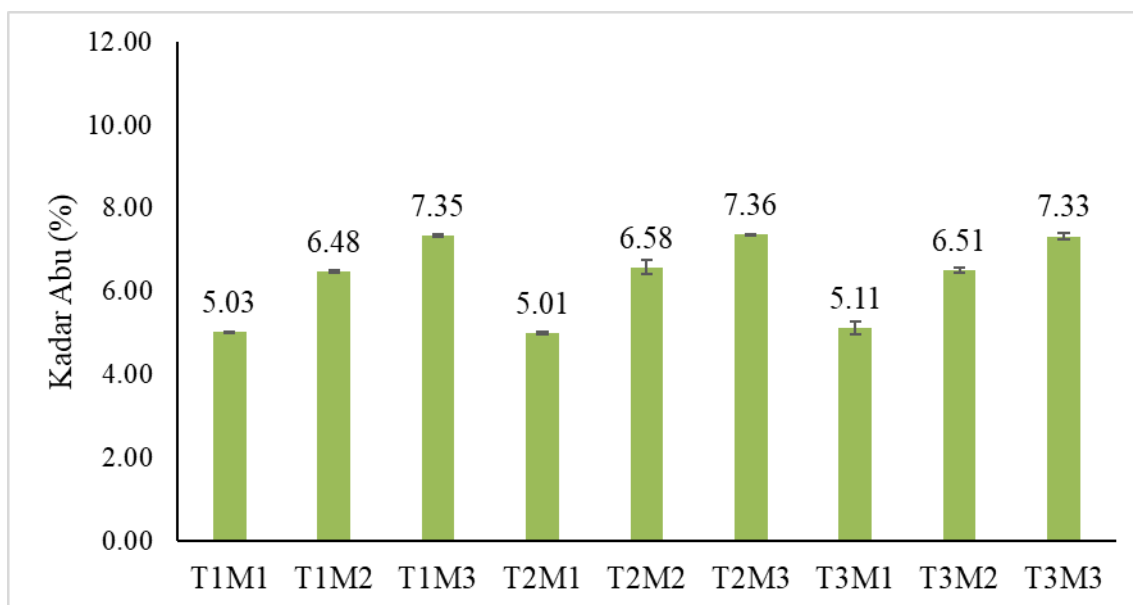
Gambar 3. Kadar air biopelet pada ukuran mesh dan tekanan pengepresan yang berbeda

Keterangan: T (Tekanan saat pengepresan ( $T_1=0,4882 \text{ kg/cm}^2$ ;  $T_2=0,9764 \text{ kg/cm}^2$ ;  $T_3=1,4647 \text{ kg/cm}^2$ )); M (Ukuran mesh saat pengepresan ( $M_1=10 \text{ mesh}$ ;  $M_2=20 \text{ mesh}$ ;  $M_3=40 \text{ mesh}$ )).

Nilai kalor biopelet yang dihasilkan dipengaruhi oleh kadar air. Semakin tinggi kadar air biopelet maka akan semakin rendah nilai kalor dan suhu api selama pembakarannya sehingga kadar air dibatasi dalam SNI 9021: 2014 maksimum 12 persen. Hal ini merupakan akibat penguapan endotermik, yaitu total energi yang dibutuhkan untuk mencapai suhu pembakaran. Kadar air dalam biopelet akan menyerap kalor untuk proses pengucapannya sehingga secara signifikan akan mengurangi nilai kalor biopelet (Badri et al., 2022; Mawardi et al., 2023).

### Kadar abu

Kadar abu biopelet yang dihasilkan pada ukuran mesh dan tekanan yang berbeda disajikan pada Gambar 4. Nilai rata-ran kadar abu biopelet pada ukuran mesh dan tekanan yang berbeda berkisar antara 5,01-7,36 persen. Biopelet yang dihasilkan memiliki kadar abu yang melebihi syarat dalam SNI 8021;2014 yaitu maksimum 1,5 persen. Hal ini diduga karena kadar abu merupakan zat sisa pembakaran berupa silika yang tidak memiliki unsur karbon dan tidak bernilai kalor. Ampas batang sawit bebas nira yang digunakan mengandung silika dalam jumlah yang tergolong tinggi yaitu 1,34 persen (Ridwansyah et al., 2007), dan nilai ini lebih tinggi dibandingkan kandungan silika pada beberapa jenis kayu antar lain Kayu Agathis dan Kayu Jati yaitu masing-masing 0,1 dan 0,4 persen.



**Gambar 4.** Kadar abu biopellet pada ukuran mesh dan tekanan pengepresan yang berbeda

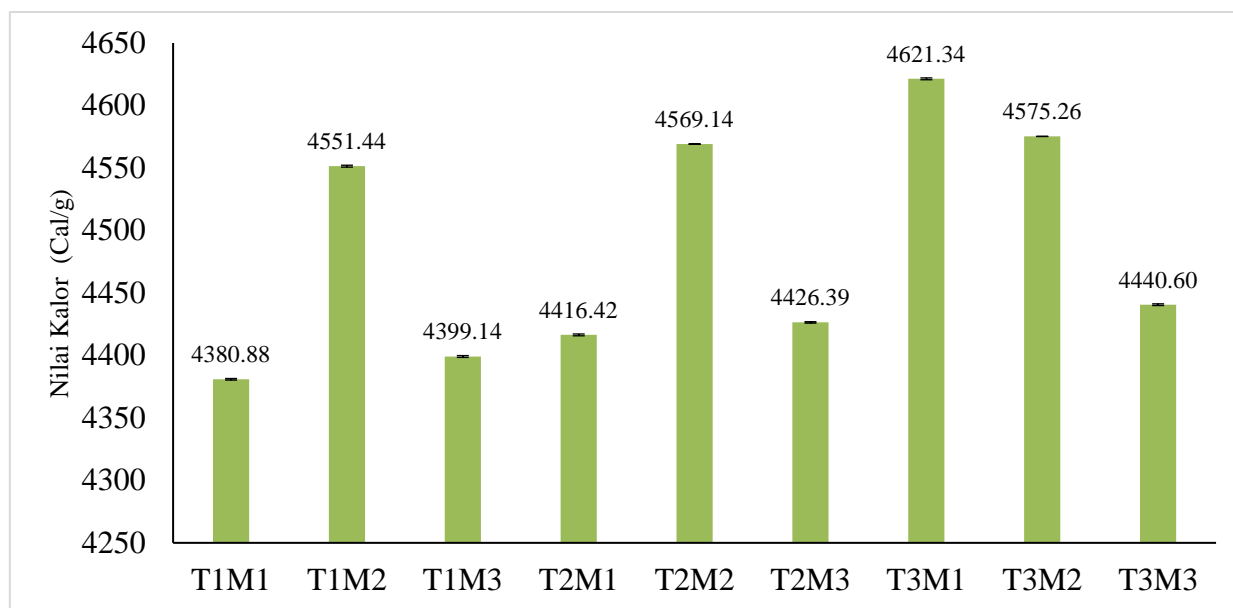
Keterangan: T (Tekanan saat pengepresan ( $T_1=0,4882 \text{ kg/cm}^2$ ;  $T_2=0,9764 \text{ kg/cm}^2$ ;  $T_3=1,4647 \text{ kg/cm}^2$ ); M (Ukuran mesh saat pengepresan ( $M_1=10 \text{ mesh}$ ;  $M_2=20 \text{ mesh}$ ;  $M_3=40 \text{ mesh}$ )).

Kadar abu biopellet berbahan baku ampas batang sawit bebas nira cenderung meningkat dengan adanya kombinasi tekanan pengepresan dengan nilai yang besar dan ukuran mesh dengan nilai yang kecil. Kombinasi ini menyebabkan semakin banyak abu yang terikat pada ampas sawit bebas nira yang digunakan berupa abu terikat pada selulosa dan lignin (Kusdarini et al., 2017). Kadar selulosa dan lignin pada bahan baku ampas sawit bebas nira yang digunakan meningkat seiring meningkatnya ukuran mesh (Gambar 2). Wistara et al., (2021) menambahkan bahwa nilai kadar abu biopellet cenderung meningkat pada biopellet yang terbuat dari partikel berukuran 60 mesh dibandingkan dengan partikel berukuran 20 dan 40 mesh.

### Nilai Kalor

Nilai kalor biopellet yang dihasilkan pada ukuran mesh dan tekanan yang berbeda disajikan pada Gambar 5. Nilai rata-rata nilai kalor biopellet yang dihasilkan pada ukuran mesh dan tekanan pengepresan yang berbeda berkisar 4380,42 – 4621,886 kal/g. Nilai kalor biopellet dengan ukuran serbuk ampas batang kelapa sawit tua bebas nira 10 mesh menggunakan tekanan 1,4647 kg/cm<sup>2</sup> mempunyai nilai kalor yang terbesar dan sesuai dengan penjelasan Zulfadhli & Munazir (2017) yaitu nilai kalor biopellet dari batang kelapa sawit tua bebas nira dengan perlakuan lolos 10 mesh menghasilkan nilai kalor 4451,667 kal/g dan kandungan air berbanding terbalik dengan nilai kalornya. (Saputro, 2012) menyatakan bahwa tekanan yang paling efektif untuk pembuatan biopellet serbuk ampas batang kelapa sawit adalah menggunakan tekanan pengepresan 1,4647 kg/cm<sup>2</sup>. Biopellet yang digunakan sebagai bahan bakar ditentukan kualitasnya berdasarkan nilai kalornya yang dipengaruhi oleh kadar air, kadar abu, dan kadar zat menguap yang berbanding terbalik dengan nilai kalornya; sedangkan kadar karbon terikat dan kadar lignin berbanding lurus dengan nilai kalornya (Mawardi et al., 2023; Wahyono et al., 2021; dan Saputra et al., 2012).





Gambar 5. Nilai kalor biopellet pada ukuran mesh dan tekanan pengepresan yang berbeda

Keterangan: T (Tekanan saat pengepresan ( $T_1=0,4882$  kg/cm<sup>2</sup>;  $T_2=0,9764$  kg/cm<sup>2</sup>;  $T_3=1,4647$  kg/cm<sup>2</sup>); M (Ukuran mesh saat pengepresan ( $M_1=10$  mesh;  $M_2=20$  mesh;  $M_3=40$  mesh)).

## Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ampas sawit bebas nira yang digunakan sebagai bahan baku biopellet terbaik pada perlakuan  $T_2M_1$  ( $0,9764$  kg/cm<sup>2</sup>; 10 mesh) yang mengandung 25,7% hemiselulosa; 47,6% selulosa; dan 7,2% lignin. Biopellet yang dihasilkan mengandung kadar air 6,50%; kadar abu 5,01%; dan nilai kalor 4416,93 kal/g. Biopellet berbahan baku ampas batang kelapa awit bebas nira yang dihasilkan masih belum memenuhi SNI 8021:2014 untuk kadar abunya sehingga memerlukan perlakuan pendahuluan sebelum digunakan sebagai bahan baku biopellet.

## Daftar pustaka

- Achmadi, & Suminar. (2010). *Kimia Kayu*. Pusat Antar Universitas Ilmu Hayati Institut Pertanian Bogor.
- Agustira, M. A., Siahaan, D., & Hasibuan, H. A. (2019). Nilai ekonomi nira sawit sebagai potensi pembiayaan peremajaan kebun kelapa sawit rakyat. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 27(2), 115–126.
- AOAC. (2019). *Official methods of analysis association of Official Analytical Chemist (21th edition)* (20th ed.). Benjamin Franklin Station.
- Aripin, M., Lina, L., Sukmawati, Y., & Zainnudin. (2015). Analisis kualitas briket arang tongkol jagung yang menggunakan bahan perekat sagu dan kanji. *Jurnal Aplikasi Fisika*, 6, 93–94.
- ASTM. (2023). *Standard test method for total evaporates moisture content of aggregate by drying*. ASTM International.
- Badan Pusat Statistik. (2023). *Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2022* (Vol. 16). Badan Pusat Statistika.
- Badri, M., Sofyan Arief, D., & Kurniawan, I. (2022). Effects of oil palm trunk (OPT), peat and coconut shell charcoal on the characteristics of biomass pellet. *The Journal of Ocean, Mechanical and Aerospace - Science and Engineering- (JOMase)*, 66(1), 1–7. <https://doi.org/10.36842/jomase.v66i1.277>
- Demirbaş, A. (2001). Relationships between lignin contents and heating values of biomass. *Energy Conversion and Management*, 42(2), 183–188. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(00\)00050-9](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(00)00050-9)
- Faizal, M., Kurniawan, M. A., & Kurniawan, D. (2016). Pengaruh komposisi biobriket dari tkks, ampas tebu, dan serbuk gergaji dengan perekat kanji terhadap nilai pembakaran. *Jurnal Teknik Kimia*, 4(22), 1–10.

- Gibson, L. J. (2012). The hierarchical structure and mechanics of plant materials. *Journal of The Royal Society Interface*, 9(76), 2749–2766. <https://doi.org/10.1098/rsif.2012.0341>
- Giyanto, & Hamdi, M. W. (2021). Pembuatan biobraket arang berbasis tandan kosong kelapa sawit dan ampas tebu sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan. *Agro Fabrica*, 2(1), 1–6.
- Gunawan, C., Asben, A., Anggraini, T., & Amanda Septevani, A. (2021). Produksi dan karakterisasi selulosa mikrokristalin dari limbah batang kelapa sawit (*Elaeis Guineensis Jacq.*) hasil replanting perkebunan. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 29(3), 137–146. <https://doi.org/10.22302/iopri.jur.jpks.v29i3.139>
- Hakim, M. H. (2019). Pengaruh komposisi bahan dan tekanan pengepresan pada pembuatan biopelet terhadap nilai kalor pembakaran. *Briliant*, 4(4), 559–566.
- Halawa, J., & Harjanti, R. S. (2021). Pemanfaatan limbah pelepah kelapa sawit dan ampas tebu sebagai sumber energi biopelet dengan perekat tepung tapioka. *Jurnal Pengelolaan Perkebunan*, 1(1), 1–8.
- Jazuli, N. A., Kamu, A., Chong, K. P., Gabda, D., Hassan, A., Abu Seman, I., & Ho, C. M. (2022). A Review of Factors Affecting Ganoderma Basal Stem Rot Disease Progress in Oil Palm. *Plants*, 11(19), 2462. <https://doi.org/10.3390/plants11192462>
- Kusdarini, E., Budianto, A., & Ghafarunnisa, D. (2017). Produksi karbon aktif dari batubara bituminus dengan aktivasi tunggal  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , kombinasi  $\text{H}_3\text{PO}_4\text{-NH}_4\text{HCO}_3$ , dan termal. *Reaktor*, 17(2), 74–80. <https://doi.org/10.14710/reaktor.17.2.74-80>
- Lehtikangas, P. (2001). Quality properties of pelletised sawdust, logging residues and bark. *Biomass and Bioenergy*, 20(5), 351–360. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(00\)00092-1](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(00)00092-1)
- Limbong, H. P., & Sipahutar, E. H. (2021). Aspek ekonomi pemanfaatan batang kelapa sawit. *Jurnal Teknik Dan Teknologi*, 16(31), 36–42.
- Mansor, A. M., Lim, J. S., Ani, F. N., Hashim, H., & Ho, W. S. (2018). Ultimate and proximate analysis of Malaysia pineapple biomass from MD2 cultivar for biofuel application. *Chemical Engineering Transactions*, 63, 127–132.
- Mawardi, I., Razali, M., Zuhaimi, Z., Ibrahim, A., Akadir, Z., Razak, H., Nurlaili, N., Ginting, A., Ismy, A. S., & Syarif, J. (2023). Characteristics of hybrid biopellet based on oil palm wood and natural activated charcoal as a renewable alternative energy source. *Journal of Ecological Engineering*, 24(9), 80–91. <https://doi.org/10.12911/22998993/168412>
- Naufa, M., & Limbong, H. P. (2019). Pemanfaatan serat batang kelapa sawit sebagai lembaran serat semen. *Jurnal Teknik Dan Teknologi*, 14(28), 40–48.
- Ridwansyah, Nasution, M. Z., Sunarti, T. C., & Fauzi, A. M. (2007). Karakteristik sifat fisiko-kimia pati kelapa sawit. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 17, 1–6.
- Saputro, D. (2012). Karakterisasi briket dari limbah pengolahan kayu sengon dengan metode cetak panas. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains Dan Teknologi (SNAST) Periode 3*.
- Sudiro, & Sigit. (2014). Pengaruh komposisi dan ukuran serbuk briket yang terbuat dari batu bara dan jerami padi terhadap karakteristik pembakaran. *Jurnal Saintek Politeknik Indonesia Surakarta*, 2(2).
- Wahyono, Y., Hadiyanto, H., Zuli Pratiwi, W., & Dianratri, I. (2021). "Biopellet" as one of future promising biomassbased renewable energy: a review. *E3S Web of Conferences*, 317, 04029. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202131704029>
- Widiputri, D. I., Ayuyasmin, F., & Legowo, E. H. (2022). *Biopellet production from the wastes of palm oil plantation and processing plant through various pretreatment processes: A Review*. <https://doi.org/10.2991/absr.k.220101.007>
- Windarwati. (2011). Uji kinerja rotary dryer berdasarkan efisiensi termal pengeringan serbuk kayu untuk pembuatan biopelet. *Jurnal Teknik Kimia*, 2(21), 31-39.
- Wistara, N. J., Diputra, P., & Hendra, D. (2021). Biopellet from demineralized oil palm trunk. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 891(1), 012022. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/891/1/012022>



- Wulandika, V. N., Siahaan, N., & Zulfansyah, O. S. H. (2019). Pembuatan gula merah dari nira batang sawit dengan teknologi vakum. *Jurnal Teknologi Dan Pengelolaan Lingkungan*, 12(1), 85–92.
- Zulfadhli, A. N., & Munazir, R. (2017). Pengaruh komposisi serat limbah batang kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.): studi terhadap uji tarik. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Rekayasa IV*.