



## Torefaksi Pelet Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Reaktor Putar

### *Torrefaction of Palm Oil Empty Fruit Bunch Pellets Using Rotary Reactor*

Cahyo Eko Purnomo<sup>1</sup>, Agus Haryanto<sup>1\*</sup>, Febryan Kusuma Wisnu<sup>1</sup>,  
Mareli Telaumbanua<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Jl. Sumantri Brojonegoro 1, Bandar Lampung, Indonesia. 35145

\*Corresponding author: [agus.haryanto@fp.unila.ac.id](mailto:agus.haryanto@fp.unila.ac.id)

**Abstract.** *One of the potential uses of oil palm empty fruit bunches (TKKS) as fuel is through conversion into pellets. However, pellets still have drawbacks because they are still easy to absorb moisture and the calorific value is still low not far from the original material. Torrefaction is a thermochemical process that can improve the quality of biomass pellets. This study aimed to determine the effect of torrefaction on changes in the properties of EFB pellets. Pellet torrefaction was carried out using a rotary tube reactor. The combination of torrefaction temperature (220, 240, and 260 °C) and torrefaction time (15, 25, and 35 minutes) was performed with three replications. Parameters observed included water content, water absorption, and lignocellulosic content. Results showed that torrefaction process succeeded in reducing the moisture content of the pellets from 10.57% (control) to less than 4%. Torrefaction also decreased the cellulose content and increased the lignin content of the pellets. The torrefaction process produced more hydrophobic pellets characterized by lower moisture absorption as compared to those of without torrefaction. The moisture absorption test showed that the higher the torrefaction temperature resulted in pellets with slower moisture absorption, which meant that the pellets were more hydrophobic.*

**Keywords:** *Biomass, torrefaction, OPEFB pellets, moisture absorption.*

### 1. Pendahuluan

Produksi minyak kelapa sawit kasar atau CPO (crude palm oil) di Indonesia setiap tahun mengalami peningkatan. Pada tahun 2019 luas perkebunan kelapa sawit Indonesia mencapai total 14.456 ribu hektar yang terdiri dari perkebunan rakyat 5.897 ribu ha (40,79%),

perkebunan besar negara 617,5 ribu ha (0,47%), dan perkebunan besar swasta 7.942,3 ribu ha (54,94%). Pada tahun yang sama produksi CPO mencapai 47,12 juta ton, meningkat signifikan dari produksi 42,88 juta ton pada tahun 2018 (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2020).

CPO diperoleh melalui proses ekstraksi minyak kelapa sawit dari tandan buah segar (TBS). Proses ini juga menghasilkan limbah padat dalam jumlah yang besar, yaitu tandan kosong kelapa sawit (TKKS), serat, cangkang, dan abu boiler. Limbah padat berupa TKKS merupakan yang paling banyak dengan persentase sekitar 20–23% dari berat TBS (Haryanto et al., 2019a), diikuti oleh serat yang mencapai 13% dan cangkang yang mencapai 6% (Hasanudin et al., 2015). TKKS dihasilkan dari proses penebangan yang memisahkan buah kelapa sawit dari tandannya. TKKS tersusun oleh serat yang sangat kuat yang terdiri dari tangkai utama sekitar 20-25% dan spikelet 75-80% (Abdullah et al., 2011). TKKS merupakan limbah yang potensial dimanfaatkan untuk berbagai keperluan karena memiliki komponen selulosa 41,3–46,5 %, hemiselulosa 25,3–32,5 % dan lignin 27,6–32,5 %. TKKS memiliki potensi sebagai sumber energi yang cukup besar (Wahyudi et al., 2020).

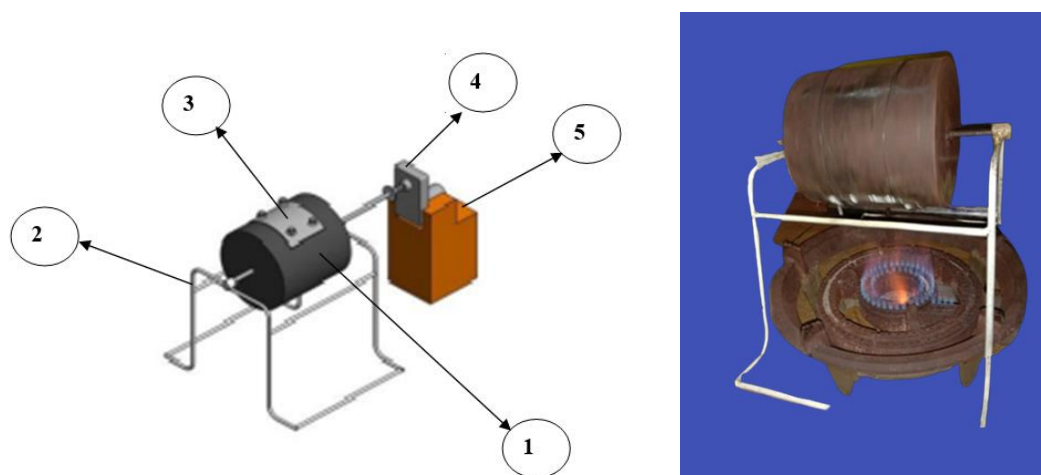
Sejauh ini pemanfaatan limbah padat kelapa sawit untuk menghasilkan energi baru sangat terbatas, yaitu sebagai bahan bakar padat pada ketel (boiler). Khusus untuk limbah TKKS, pemanfaatan sebagai bahan bakar padat boiler mempunyai kendala yang disebabkan oleh tingginya kandungan air yang mencapai 60% (Haryanto et al., 2021a). Selain itu, TKKS memiliki kerapatan yang sangat rendah, sehingga tidak efisien untuk proses pengangkutan. Salah satu pemanfaatan TKKS sebagai bahan bakar adalah melalui konversi menjadi pelet (Haryanto et al., 2021a). Pelet diperoleh dari biomassa yang diperkecil ukurannya melalui penggilingan, kemudian dipadatkan sehingga berbentuk silindris berdiameter sekitar 0,8 cm yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Tetapi, pelet TKKS (dan pelet biomassa lainnya) masih memiliki kekurangan karena mudah menyerap lengas sehingga mudah rusak dalam penyimpanan pada udara terbuka. Selain itu, pelet juga masih memiliki nilai kalori yang rendah, tidak berbeda dengan bahan asalnya.

Dalam teknologi yang saat ini sedang dikembangkan, untuk mengubah biomassa menjadi bahan bakar padat yang berkualitas dan ramah lingkungan diperlukan proses-proses tambahan salah satunya yaitu, proses pirolisis pada temperatur relatif rendah yang dikenal dengan nama torefaksi (torrefaction). Torefaksi merupakan proses termal pada suhu rendah, antara 200–350 °C. Selama proses pirolisis akan terjadi perubahan-perubahan baik fisika dan kimia (Hidayat et al., 2020; Rani et al., 2020; Yulianto et al., 2020), seperti penguapan air dan kandungan volatil. Berkurangnya kandungan air dan bahan volatil akan meningkatkan kualitas pelet dari segi nilai kalorinya (Haryanto et al., 2021b). Selain itu pelet akan berubah menjadi hidropobik (takut air) sehingga sangat menguntungkan untuk proses penyimpanan. Tim peneliti dari Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Lampung telah membuat reaktor torefaksi tipe putar (rotary) skala laboratorium untuk melakukan proses torefaksi (Haryanto et al., 2021b). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan karakteristik pelet TKKS setelah melalui proses torefaksi menggunakan reaktor putar.

## **2. Metode Penelitian**

## 2.1 Bahan dan alat

Bahan dalam penelitian ini adalah pelet TKKS yang diperoleh dari suatu industri pelet TKKS di Tebing Tinggi, Sumatera Utara. Pelet TKKS ini berwarna coklat gelap dan memiliki penampang berbentuk heksagonal (segi 6) dengan diameter sekitar 8 mm. Proses torefaksi dilakukan menggunakan reaktor putar (Gambar 1). Putaran tabung reaktor diperoleh dari suatu dinamo yang bekerja pada putaran 24 RPM. Panas yang diperlukan untuk proses torefaksi diberikan secara eksternal dari pembakaran gas LPG. Suhu torefaksi diatur dengan mengatur jarak antara kompor LPG dengan tabung reaktor. Untuk memperoleh proses transfer panas yang seragam ke pelet, di dalam tabung reaktor putar dimasukkan pasir yang sudah dicuci. Pasir ini juga berfungsi untuk mencegah benturan antara pelet dengan dinding reaktor yang dapat menghancurkan pelet. Proses torefaksi dilakukan dengan dua kombinasi perlakuan, yaitu suhu torefaksi 220 °C (S1), 240 °C (S2), dan 260 °C (S3) dan waktu torefaksi 15 menit (T1), 25 menit (T2), dan 35 menit (T3). Setiap kombinasi perlakuan dilaksanakan dengan 3 kali ulangan.



Gambar 1. Reaktor torefaksi tipe putar (1. Tabung torefaksi; 2. Rangka dudukan tabung torefaksi; 3. Tutup tabung torefaksi sebagai pintu pemasukan dan pengeluaran pelet; 4. Dinamo; 5. Penyangga dinamo).

## 2.2 Analisis dan pengukuran

Parameter yang diamati meliputi kadar air, abu, lignin, selulose dan kadar hemiselulose.

### 2.2.1 Kadar air

Penetapan nilai kadar air dilakukan dengan sampel sekitar 2 gram yang diletakkan pada cawan porselen yang bobotnya sudah ditimbang, kemudian dimasukkan ke dalam oven (Memmert UN 55) pada suhu 105°C selama 24 jam sampai kadar air konstan. Pelet kemudian didinginkan dalam desikator sampai kondisi stabil dan seimbang. Perhitungan kadar air (KA) dapat dilakukan dengan rumus sebagai berikut (Badan Standardisasi Nasional, 2014):

$$KA = \frac{Ba - Bk}{Ba} \times 100 \% \dots\dots\dots (1)$$

dimana *KA* = kadar air (% dasar basah), *Ba* = Bobot bahan awal (g), dan *Bk* = Bobot bahan setelah di oven (g).

**2.2.2 Kadar abu**

Kadar abu diukur dengan cara mengabukan sejumlah sampel dalam tanur (Stuart SF7/D) yang dioperasikan pada suhu 550 °C selama 2 jam. Kadar abu (%) dihitung dari massa abu yang dihasilkan dari pembakaran dibagi berat kering sampel.

**2.2.3 Kadar lignoselulose**

Analisis komposisi kimia yang meliputi lignin, selulosa, dan hemiselulosa dilakukan dengan mengacu pada metode Chesson (Datta, 1981). Sampel pelet digerus dan dikeringkan dalam oven dengan suhu 105°C sampai bobot konstan. Satu gram sampel kering oven (a) ditambahkan 150 ml aquades, lalu dididihkan menggunakan hot plate selama satu jam disertai dengan pendingin balik (reflux condenser). Setelah disaring dan dioven pada suhu 105°C, kemudian ditimbang sehingga diperoleh residu pertama (b). Selanjutnya residu pertama dididihkan kembali menggunakan 150 ml H2SO4 1N selama satu jam disertai dengan pendingin balik lalu disaring. Residu dicuci dengan 300 ml aquades dan di oven pada suhu 105°C lalu ditimbang sehingga didapatkan residu kedua (c). Residu kedua ditambahkan dengan 10 ml H2SO4 72% dan didiamkan selama 4 jam pada suhu kamar. Selanjutnya ditambahkan 150 mL of H2SO4 1N dididihkan selama satu jam disertai dengan pendingin balik. Kemudian residu disaring lalu dicuci dengan air hingga pH dari air saringan lebih dari 6,5 dan setelah itu di oven pada suhu 105°C sehingga didapatkan residu ketiga (d). Kadar hemiselulosa, selulosa, dan lignin dihitung dari (Haryanto et al., 2021a):

$$Hemiselulosa = \frac{b-c}{a} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

$$Selulosa = \frac{c-d}{a} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

$$Lignin = \frac{d-e}{a} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

**3. Hasil dan Pembahasan**

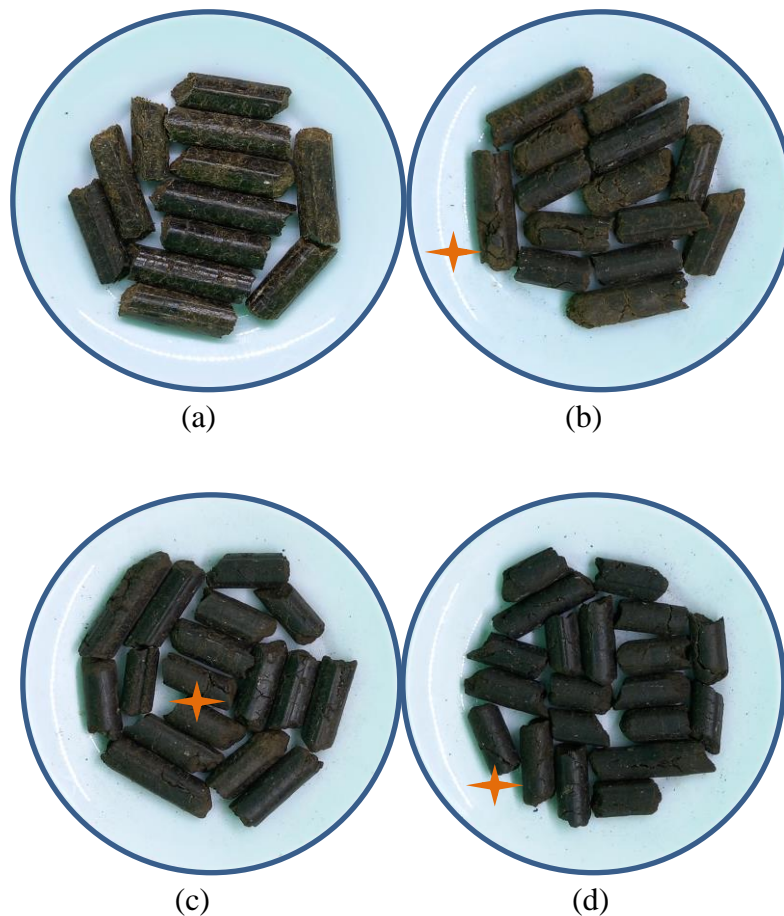
**3.1 Perubahan visual**

Tabel 1 menunjukkan karakteristik pelet TKKS sebelum proses torefaksi. Terlihat bahwa pelet TKKS memiliki kadar air yang baik (10%), sama dengan standar nasional bahan bakar pelet untuk rumah tangga (maksimum 10%) dan lebih rendah dari standar nasional untuk pelet industri (maksimum 12%) (Badan Standardisasi Nasional, 2018). Tetapi, pelet TKKS memiliki kekurangan yang mencolok, yaitu kadar abu yang tinggi, mencapai 18,4%. Standar nasional

bahan bakar pelet mensyaratkan kadar abu maksimum 5%. Kadar abu yang tinggi mengakibatkan nilai kalori menjadi rendah (Haryanto et al., 2019b). Kadar abu yang tinggi juga tidak baik bagi biomassa sebagai bahan bakar. Pada pembakaran suhu tinggi abu akan meleleh dan mengakibatkan aglomerasi dan penyumbatan yang mengakibatkan turunnya efisiensi sistem pembakaran dan kegagalan tanur dan boiler (Haryanto et al., 2021a).

Tabel 1. Karakteristik pelet TKKS sebelum torefaksi

Parameter	Nilai Rata-rata
Kadar air (%)	10,05
Hemiselulosa (% TS)	22,04
Selulosa (% TS)	40,67
Lignin (% TS)	18,89
Kadar Abu (% TS)	18,40

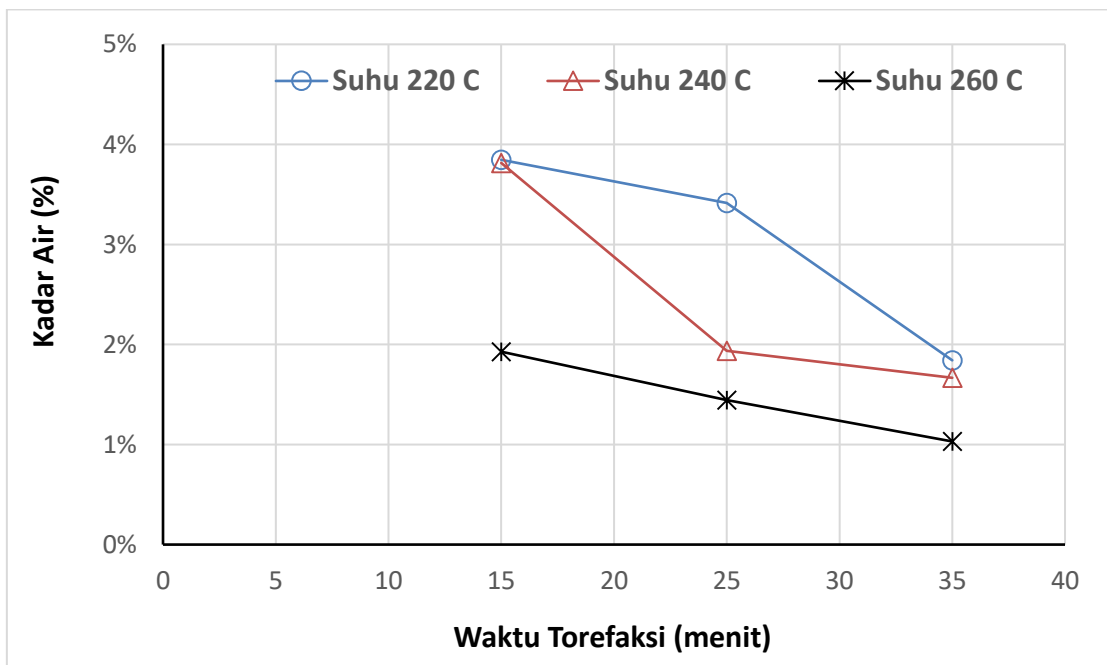


Gambar 1. Pelet TKKS: (a) tanpa torefaksi; (b) torefaksi pada 220 °C, 35 menit; (c) torefaksi pada 240 °C, 25 menit; (d) torefaksi pada 260 °C, 35 menit. Tanda bintang untuk menunjukkan pelet yang mengalami keretakan setelah proses torefaksi.

Gambar 2 memperlihatkan pelet TKKS tanpa torefaksi dan yang sudah ditorefaksi. Secara visual terlihat bahwa pelet yang belum diterafaksi berwarna coklat tua, halus dan mengkilap di bagian permukaannya. Sedangkan pelet yang sudah ditorefaksi berwarna lebih gelap dan tidak mengkilap. Dalam proses torefaksi dimana pelet terus berputar dengan bantalan pasir, kemungkinan debu-debu halus menempel di bagian permukaan sehingga pelet menjadi kusam. Dapat dilihat pada Gambar 2 bahwa warna pelet makin gelap dengan naiknya suhu dan lama torefaksi. Selama torefaksi terjadi beberapa reaksi seperti dekomposisi produk hemiselulosa yang terikat pada permukaan material padat yang mengakibatkan perubahan warna menjadi gelap. Secara visual juga dapat diamati bahwa pelet torefaksi memiliki ukuran lebih pendek. Hal ini terjadi karena selama proses torefaksi pelet terus bergerak dan mengakibatkan sebagian pelet patah. Selain itu, pelet torefaksi juga mengalami keretakan yang terlihat nyata.

### 3.2. Kadar air

Gambar 3 menunjukkan kadar air pelet setelah melalui proses torefaksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar air pelet torefaksi berada pada kisaran antara 1% hingga 3,8%. Hal ini berarti jauh lebih rendah dibandingkan kadar air pelet asal yang mencapai 10,05%. Dapat diamati dari Gambar 3, bahwa kedua faktor perlakuan baik suhu maupun waktu torefaksi berpengaruh terhadap kadar air pelet torefaksi. Makin tinggi suhu torefaksi mengakibatkan kadar air pelet semakin rendah. Demikian juga makin lama proses torefaksi mengakibatkan kadar air pelet semakin rendah. Kadar air pelet torefaksi yang paling rendah (1%) dihasilkan dari kombinasi perlakuan suhu tertinggi (260 °C) dan waktu terlama (35 menit).

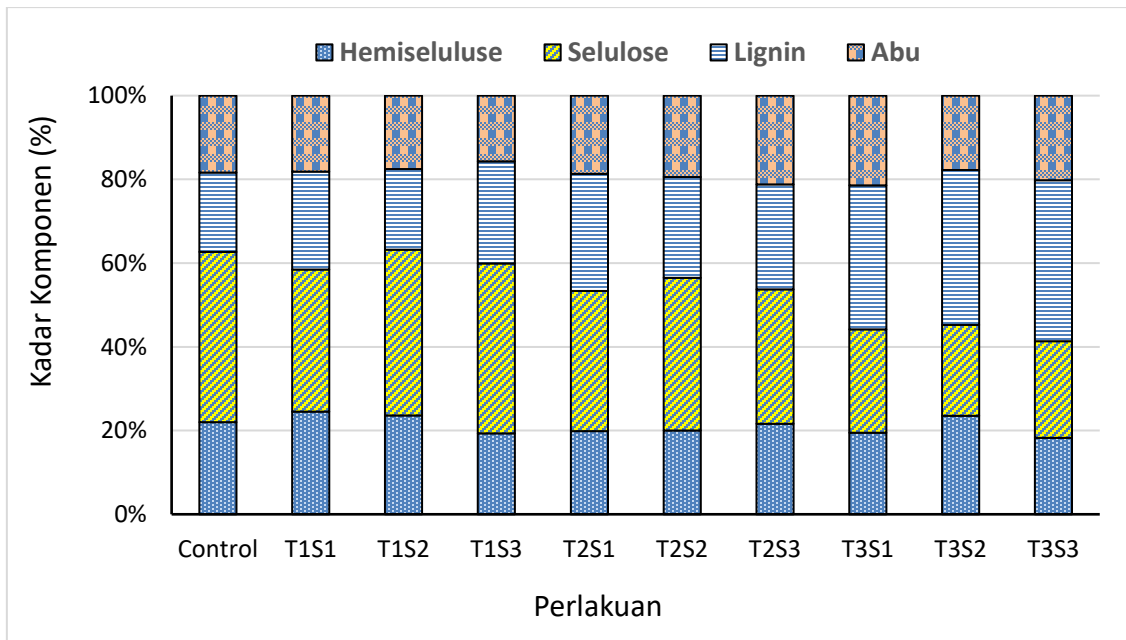


Gambar 3. Pengaruh perlakuan suhu dan waktu torefaksi terhadap kadar air pelet torefaksi.

Selama proses torefaksi tidak hanya terjadi pengeringan dan penguapan air, tetapi juga penguapan kandungan volatil. Yulianto *et al.* (2020) melaporkan bahwa pelet TKKS yang dibungkus dengan aluminium foil ditorefaksi menggunakan furnace pada suhu 280 °C selama 20 menit, hanya menurunkan kadar air dari 11,56% (kontrol) menjadi 6,66%. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan reaktor putar menghasilkan proses penguapan air yang lebih efektif. Dalam kondisi terus bergerak akibat tabung yang berputar, proses perpindahan panas terjadi lebih intensif dibandingkan pelet yang dibungkus aluminium foil. Bungkus aluminium foil mungkin berperan dalam menghambat perpindahan panas ke dalam pelet dan menghalangi penguapan air dari pelet.

**3.3. Perubahan komposisi pelet**

Gambar 4 menunjukkan perubahan komposisi pelet akibat proses torefaksi. Dapat diamati bahwa abu merupakan komponen yang relatif tidak berubah karena proses torefaksi. Hal yang serupa juga dilaporkan oleh (Haryanto et al., 2021b) dimana kadar abu relatif tidak berubah selama proses torefaksi. Hal ini bisa dijelaskan karena abu merupakan salah satu komponen yang inert dan tidak akan bereaksi pada suhu rendah. Komponen lain yang secara umum sedikit saja perubahannya adalah hemiselulosa. Pada kombinasi suhu dan lama reaksi yang paling tinggi (T3S3) hemiselulosa hanya turun kurang dari 4% dari 22,04% (kontrol) menjadi 18,26%. Hal ini agak mengherankan mengingat hemiselulosa merupakan komponen biomasa yang paling mudah terdekomposisi secara termal dibandingkan selulosa dan lignin (Chen et al., 2018).



Gambar 4. Komposisi kimia pelet kontrol dan perubahannya setelah torefaksi

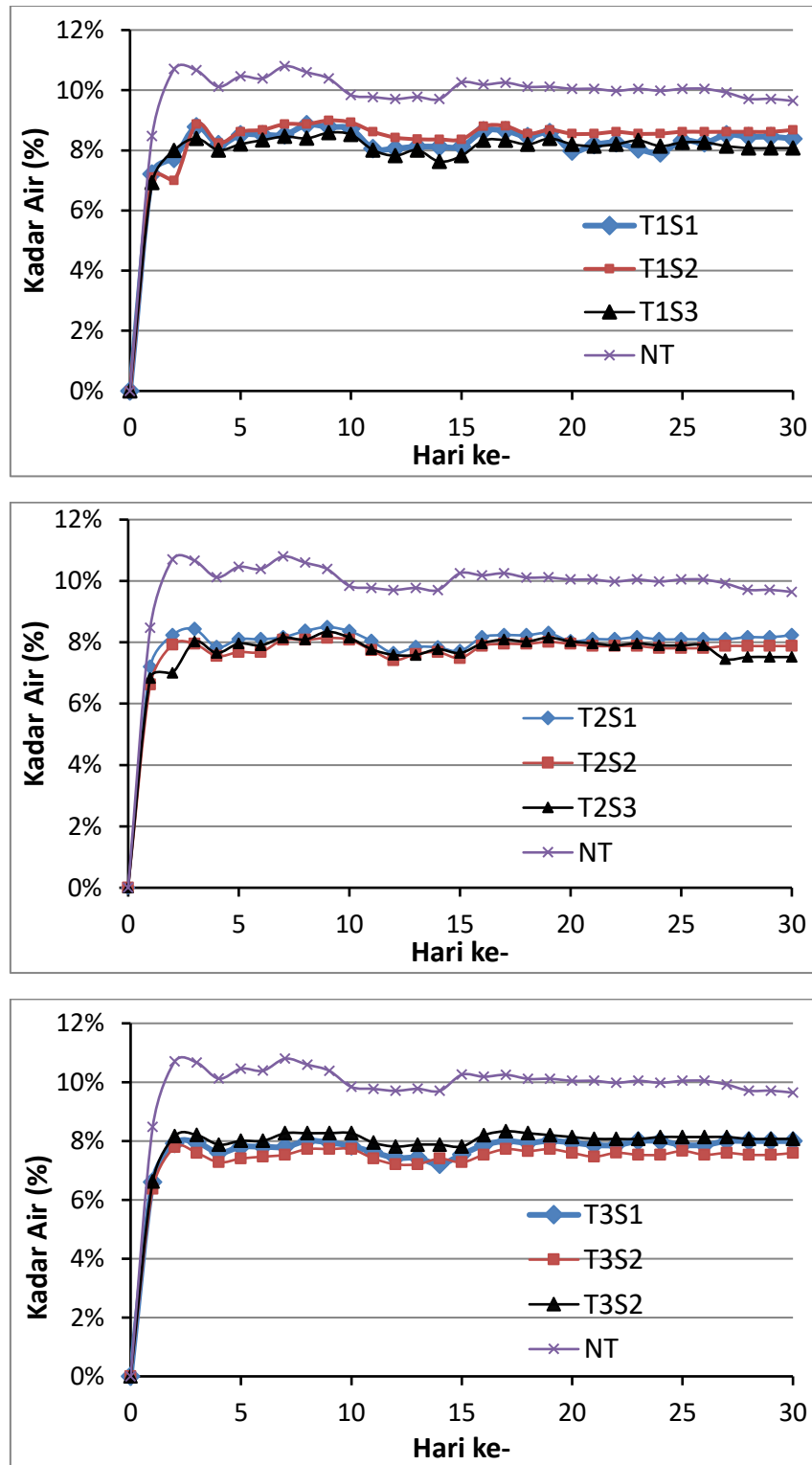
Komponen biomasa yang mengalami perubahan signifikan adalah selulosa dan lignin. Pada suhu 260 oC dan waktu proses 25–35 menit, kadar selulose turun mencapai 32–47% dari kontrol. Sebaliknya, kadar lignin meningkat hampir dua kali lipat menjadi 37–38% dari kontrol (19%). Peningkatan kandungan lignin pelet TKKS dari 17% (kontrol) hingga 31% (torefaksi) juga dilaporkan oleh (Iryani et al., 2019). Penelitian lain melaporkan bahwa proses torefaksi meningkatkan kandungan lignin pelet kayu karet dari 30,11% (kontrol) menjadi 47,38% setelah torefaksi pada suhu 300 C (Rubiyanti et al., 2019). Selain karena penurunan relatif komponen lain (hemiselulosa dan selulosa) yang lebih mudah terdekomposisi, peningkatan kadar lignin terjadi karena beberapa reaksi seperti re-polimerisasi produk, reaksi kondensasi, dan dekomposisi produk hemiselulosa yang terikat pada permukaan material padat (Iryani et al., 2019).

### **3.4. Daya serap air**

Pada umumnya pelet biomassa memiliki sifat higroskopis sehingga sangat mudah menyerap lengas dari udara. Hal ini tidak dikehendaki karena pelet menjadi mudah rusak karena air akan memicu dekomposisi biologis pada pelet. Karakteristik higroskopis dari pelet akan menimbulkan masalah terutama dalam penyimpanan untuk keperluan persediaan (Haryanto et al., 2021b). Torefaksi merupakan perlakuan yang ditujukan untuk mengurangi sifat ini dan meningkatkan hidropobitas pelet. Gambar 5 menunjukkan pengaruh torefaksi terhadap kemampuan pelet dalam menyerap lengas dari udara. Pada umumnya, pelet kering akan segera menyerap lengas. Kadar air pelet meningkat tajam setelah satu hari pelet bersentuhan dengan udara terbuka. Secara praktis dalam waktu tiga hari pelet sudah menyerap air secara maksimal. Selanjutnya kadar air pelet akan mengalami sedikit fluktuasi yang diakibatkan oleh kelembaban relatif udara. Jika udara lembab, maka pelet akan menyerap lengas, yang ditandai dengan massa pelet yang bertambah berat. Sebaliknya jika udara kering, maka pelet akan kehilangan lengas dan ditandai dengan massa pelet yang berkurang.

Gambar 5 menunjukkan bahwa tanpa torefaksi, pelet TKKS menyerap lengas hingga mencapai kadar air maksimum 10,80%. Dengan perlakuan torefaksi, pelet menjadi lebih hidropobik sehingga penyerapan air hanya sampai sekitar 8%. Dari gambar juga dapat diamati bahwa makin tinggi suhu torefaksi mengakibatkan daya serap air dari pelet menjadi makin rendah yang berarti pelet menjadi semakin hidropobik. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian lain yang menyatakan bahwa derajat hidropobitas bergantung pada suhu torefaksi, makin tinggi makin hidropobik (Dyjakon et al., 2019). Hal ini merupakan salah satu kelebihan pelet hasil torefaksi. Dengan makin meningkatnya sifat hidropobitas dan turunnya daya serap air, maka pelet dapat disimpan menjadi lebih lama.





Gambar 5. Perubahan kadar air pelet selama penyimpanan dalam wadah terbuka ke udara berdasarkan waktu torefaksi (atas: waktu 15 menit; tengah: 25 menit; bawah: 35 menit)

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan di atas, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Torefaksi menurunkan kadar air dan kandungan selulosa pelet TKKS serta meningkatkan kandungan lignin. Makin tinggi suhu dan lama waktu torefaksi menghasilkan pelet dengan kadar air dan kandungan selulosa yang makin rendah. Sebaliknya kandungan lignin dari pelet semakin meningkat pada kombinasi suhu dan lama waktu torefaksi yang tinggi.
2. Proses torefaksi menghasilkan pelet yang lebih hidropobik yang ditandai dengan daya penyerapan lengas yang lebih rendah. Pelet tanpa torefaksi menyerap lengas hingga sekitar 10,80%, sedangkan pelet torefaksi pada suhu 260 °C dan 35 menit memiliki daya serap lengas 8,33%.

#### Daftar Pustaka

- Abdullah, N., Sulaiman, F., & Gerhauser, H. (2011). Characterisation of oil palm empty fruit bunches for fuel application. *Journal of Physical Science*, 22.
- Pelet Kayu, SNI 8021:2014 (2014).
- Pelet Biomassa Untuk Energi, SNI 8675:2018 (2018).
- Chen, D., Gao, A., Cen, K., Zhang, J., Cao, X., & Ma, Z. (2018). Investigation of biomass torrefaction based on three major components: Hemicellulose, cellulose, and lignin. *Energy Conversion and Management*, 169, 228–237. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.05.063>
- Datta, R. (1981). Acidogenic fermentation of lignocellulose—acid yield and conversion of components. *Biotechnology and Bioengineering*, 23(9), 2167–2170. <https://doi.org/10.1002/bit.260230921>
- Direktorat Jenderal Perkebunan. (2020). *Statistik Perkebunan Unggulan Nasional*. Sekretariat Direktorat Jenderal Perkebunan, Direktorat Jenderal Perkebunan, Kementerian Pertanian.
- Dyjakon, A., Noszczyk, T., & Smędzik, M. (2019). The influence of torrefaction temperature on hydrophobic properties of waste biomass from food processing. *Energies*, 12(24), 4609. <https://doi.org/10.3390/en12244609>
- Haryanto, A., Hasanudin, U., Sahari, B., & Sugiarto, R. (2019). Methane emission reduction in palm oil mill through co-composting empty fruit bunch and palm oil mill effluent. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*, 6(3), 431–441.
- Haryanto, A., Iryani, D. A., Hasanudin, U., Telaumbanua, M., Triyono, S., & Hidayat, W. (2021). Biomass fuel from oil palm empty fruit bunch pellet: Potential and challenges. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*, 8(1), 33–42.
- Haryanto, A., Nita, R., Telaumbanua, M., Suharyatun, S., Hasanudin, U., Hidayat, W., Iryani, D. A., Triyono, S., Amrul, & Wisnu, F. K. (2021). Torrefaction to improve biomass pellet made of oil palm empty fruit bunch. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 749(1), 012047. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/749/1/012047>

- Haryanto, A., Suharyatun, S., Rahmawati, W., & Triyono, S. (2019). *Energi terbarukan dari jerami padi: Review potensi dan tantangan bagi Indonesia*. 7(2), 137–144.
- Hasanudin, U., Sugiharto, R., Haryanto, A., Setiadi, T., & Fujie, K. (2015). Palm oil mill effluent treatment and utilization to ensure the sustainability of palm oil industries. *Water Science and Technology*, 72(7), 1089–1095. <https://doi.org/10.2166/wst.2015.311>
- Hidayat, W., Rani, I. T., Yulianto, T., Febryano, I. G., Iryani, D. A., Hasanudin, U., Lee, S., Kim, S., Yoo, J., & Haryanto, A. (2020). Peningkatan kualitas pelet tandan kosong kelapa sawit melalui torefaksi menggunakan reaktor Counter-Flow Multi Baffle (COMB). *Jurnal Rekayasa Proses*, 14(2), 169–181. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.56817>
- Iryani, D. A., Haryanto, A., Hidayat, W., Amrul, Telaumbanua, M., Hasanudin, U., & Lee, S. (2019). Torrefaction upgrading of palm oil empty fruit bunches biomass pellets for gasification feedstock by using COMB (Counter Flow Multi-Baffle) reactor. *Proceeding of 7th International Conference on Trends in Agricultural Engineering 2019*, 212–217.
- Rani, I. T., Hidayat, W., Febryano, I. G., Iryani, D. A., Haryanto, A., & Hasanudin, U. (2020). Pengaruh torefaksi terhadap sifat kimia pelet tandan kosong kelapa sawit. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 9(1), 63–70. <https://doi.org/10.23960/jtep-1.v9i1.63-70>
- Rubiyanti, T., Hidayat, W., Febryano, I. G., & Bakri, S. (2019). Karakterisasi pelet kayu karet (*Hevea brasiliensis*) hasil torefaksi dengan menggunakan reaktor Counter-Flow Multi Baffle (COMB). *Jurnal Sylva Lestari*, 7(3), 321–331.
- Wahyudi, R., Amrul, A., & Irsyad, M. (2020). Karakteristik bahan bakar padat produk torefaksi limbah tandan kosong kelapa sawit menggunakan reaktor torefaksi kontinu tipe tubular. *INVOTEK: Jurnal Inovasi Vokasional dan Teknologi*, 20(2), 1–8. <https://doi.org/10.24036/invotek.v20i2.706>
- Yulianto, T., Febryano, I. G., Iryani, D. A., Haryanto, A., Hasanudin, U., & Hidayat, W. (2020). Perubahan sifat fisis pelet tandan kosong kelapa sawit hasil torefaksi. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 9(2), 104–111. <https://doi.org/10.23960/jtep-1.v9i2.104-111>