

DOI: 10.29303/jrpb.v11i1.447
ISSN 2301-8119, e-ISSN 2443-1354
Tersedia online di <http://jrpb.unram.ac.id/>

**PENGARUH GAYA TEKAN DAN WAKTU PENEKANAN TERHADAP
KARAKTERISTIK PELET TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT**

*Effect of Compression Force and Compression Duration on the Characteristic of Oil Palm
Empty Fruit Bunch Pellet*

Sri Waluyo¹, Aziza Putri Utami¹, Agus Haryanto^{1*}, Sugeng Triyono¹

¹ Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Jl. Soemantri
Brojonegoro No. 1, Bandar Lampung, INDONESIA. 35145

Email^{*}: agus.haryanto@fp.unila.ac.id

ABSTRACT

Oil palm empty fruit bunches (OPEFB) are the largest solid waste from palm oil mill having high potential to be used as fuel pellets. The objective of this study was to evaluate the effect of compression force (0.5, 1.0, 2.0, and 3.0 ton) and compression time (9, 60, 180 s) on the characteristics of pellets from OPEFB. Pelletizing was carried out using a hydraulic pelletizing machine with feed particle size of <0.6 mm. Pellet characteristics included water content, ash content, density, pellet color, pellet strength and moisture absorption capacity. The data was analyzed using ANOVA and LSD at significance level of $\alpha = 5\%$. Results showed that pressure significantly affected the ash content and density of OPEFB pellets. Compression time significantly affected the color of the pellet. Force compression of 1 ton with duration of 9 seconds was enough to get pellet with high durability.

Keywords : Ash; density; heating value; OPEFB; particle size

ABSTRAK

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan limbah padat terbesar dari pabrik kelapa sawit yang memiliki potensi tinggi untuk dijadikan pelet bahan bakar. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi pengaruh gaya tekan (0,5; 1,0; 2,0; dan 3,0 ton) dan lama penekanan (9, 60, 180 detik) terhadap karakteristik pelet TKKS. Peletisasi dilakukan menggunakan mesin pencetak pelet tipe hidrolik dengan ukuran partikel umpan < 0,6 mm. Evaluasi karakteristik pelet meliputi kadar air, kadar abu, densitas, warna pelet, kekuatan pelet, dan daya serap air. Data dianalisis menggunakan Anova dan uji BNT pada taraf signifikansi $\alpha = 5\%$. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gaya tekan berpengaruh nyata kadar abu dan densitas pelet. Lama penekanan memengaruhi warna pelet. Gaya tekan 1 ton dan waktu penekanan 9 detik (perlakuan PIT1) sudah cukup untuk menghasilkan pelet dengan ketahanan 99%.

Kata kunci: Abu; densitas; nilai kalor; TKKS; ukuran partikel

PENDAHULUAN

Indonesia adalah salah satu negara tropis yang dikaruniai kelimpahan sumber daya alam, termasuk biomassa. Saat ini Indonesia adalah penghasil kelapa sawit nomor satu di dunia dengan total produksi kelapa sawit yaitu 46,22 juta ton (BPS, 2022). Luas total perkebunan kelapa sawit mencapai 14,7 juta ha dan tersebar terutama di pulau Sumatera dan Kalimantan. Kini kelapa sawit juga merambah ke Sulawesi dan Papua. Dalam proses ekstraksi minyak kelapa sawit, pabrik kelapa sawit akan menghasilkan produk utama berupa minyak sawit kasar atau *crude palm oil* (CPO) dan minyak inti sawit atau *palm kernell oil* (PKO). Produk sampingnya yaitu serabut, tandan kosong kelapa sawit (TKKS), cangkang sawit, dan limbah cair.

TKKS adalah limbah padat terbesar, yaitu sekitar 23% dari tandan buah segar dan biasanya digunakan sebagai pupuk organik atau mulsa di lahan perkebunan kelapa sawit. TKKS dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan pupuk organik yang mengandung unsur hara yang dibutuhkan oleh tanah dan tanaman. Tetapi, untuk pabrik kelapa sawit (PKS) yang tidak memiliki kebun sendiri, aplikasi TKKS ke lahan akan menjadi masalah. Saat ini diperkirakan 20% PKS tidak memiliki kebun sendiri dan mengandalkan buah sawit dari petani mandiri yang tersebar. Jarak yang jauh dan transportasi yang mahal menjadi kendala mengembalikan TKKS ke kebun petani (Haryanto *et al.*, 2021). Sebagai contoh jarak petani di Sri Bawaono (Lampung Timur) atau Kalianda (Lampung Selatan) ke pabrik sawit PTPN VII Bekri (Lampung Tengah) lebih dari 100 km. TKKS dapat dikembangkan menjadi sumber bahan bakar alternatif yang bersifat terbarukan dan *carbon-neutral*. Tetapi, dalam kondisi asalnya TKKS sulit digunakan sebagai bahan bakar karena memiliki kadar air yang tinggi dan massa jenis rendah (*bulky*).

Kandungan lignin yang tinggi menyebabkan TKKS layak digunakan sebagai bahan bakar padat. Pemanfaatan TKKS sebagai sumber bahan bakar baku industri pelet perlu dipertimbangkan karena layak secara ekonomi (Alamsyah & Supriatna, 2018). Konversi TKKS menjadi pelet juga akan berkontribusi terhadap perlindungan lingkungan. Sudah menjadi pengetahuan bahwa tumpukan TKKS yang basah akan menghasilkan emisi gas rumah kaca dalam bentuk CH₄ (Haryanto *et al.*, 2019). Sebagai biomassa lignoselulosa, TKKS dapat dibuat menjadi briket atau pelet melalui proses densifikasi yang relatif sederhana. Peletisasi atau densifikasi bertujuan untuk meningkatkan densitas bahan dan menghasilkan bentuk yang seragam (Ibitoye *et al.*, 2021).

Kualitas pelet ditentukan dari berbagai faktor baik yang berkaitan dengan bahan baku (jenis biomassa, kadar air, ukuran partikel) maupun proses (suhu, tekanan, lama penekanan, bentuk dan ukuran cetakan). Jenis biomassa akan menentukan kandungan lignin yang berperan sebagai perekat alami ketika biomassa mengalami tekanan dan suhu yang tinggi. Kadar air berkaitan dengan perilaku “*spring back*” dimana akan mekar kembali setelah tekanan dilepaskan. Kadar air bahan yang optimum adalah antara 5-10% untuk bahan dari kayu dan antara 10-20% untuk bahan hasil pertanian atau rerumputan (Stelte *et al.*, 2012a). Ukuran partikel yang makin kecil meningkatkan gaya gesekan dengan dinding cetakan pelet (Stelte *et al.*, 2011b) sehingga densitas pelet juga meningkatkan (Kaliyan & Morey (2009).

Suhu berkaitan dengan kualitas pelet dan energi yang diperlukan dalam proses peletisasi bahan. Naiknya suhu dilaporkan menurunkan gaya gesekan antara bahan dan dinding-dalam cetakan sehingga menurunkan kebutuhan energi (Nielsen *et al.* 2009). Selain itu peningkatan suhu juga berakibat pada peningkatan sifat mekanis pelet dari berbagai bahan, seperti batang jagung (Kaliyan & Morey 2009) dan rumput

(Gilbert *et al.* 2009). Tekanan pencetakan pelet berkisara antara 50-600 MPa (Stelte *et al.* 2012). Kekuatan mekanis dan durabilitas pelet meningkat dengan naiknya tekanan (Kaliyan & Morey, 2009). Bentuk dan ukuran cetakan pelet (*die*) menentukan besarnya daya motor yang diperlukan untuk (Nielsen *et al.*, 2020). Waktu penekanan dalam pembuatan pelet biomassa bervariasi dari 1 detik (Salas-Bringas *et al.*, 2010), 15–30 detik (Dhamodaran & Afzal, 2012), hingga 2 – 4 menit (Chen *et al.*, 2021).

Kajian mengenai pelet biomassa banyak ditemukan untuk limbah kayu dan pertanian, seperti serbuk gergaji berbagai kayu (Poddar *et al.*, 2014), limbah jagung (Miranda *et al.*, 2018; Wongsiriamnuay & Tippayawong, 2015), sampah dedaunan (Tippayawong *et al.*, 2018), dan jerami dan sekam padi (Brand *et al.*, 2021).

Beberapa penelitian mengenai pelet TKKS telah dilaporkan, baik sebagai bahan satu-satunya atau sebagai campuran dengan biomassa lain (Pua *et al.*, 2020). Pelet TKKS dibuat dari 60 g partikel ukuran 20 mesh dengan perekat amilum (20-50 g) dilaporkan memiliki nilai kalori 4151,67 kal/g atau 17,37 MJ/kg (Falah & Nelza, 2019). Laporan lain menyatakan fraksi perekat hingga 10% sudah cukup pada pencetakan pelet dengan tekanan 5 MPa (Rahman *et al.*, 2013). Penggunaan perekat diperlukan untuk pelet yang dicetak dengan tekanan rendah, tetapi berakibat pada meningkatnya biaya. Pembuatan pelet dari limbah kelapa sawit (TKKS, cangkang, pelepah, dan serat sawit) pada suhu tinggi (200-300°C) dilaporkan oleh Munawar & Subiyanto (2014). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh gaya tekan dan lama penekanan terhadap karakteristik pelet dari TKKS sehingga diketahui interaksi terbaik.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

TKKS diperoleh dari Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit Lambang Bumi Perkasa, Lampung. TKKS disobek-sobek secara manual lalu dikeringkan di bawah

sinar matahari selama 2-3 hari untuk mendapatkan TKKS kering (Gambar 1 atas). TKKS kering kemudian dicacah menggunakan mesin pencacah. Partikel TKKS kemudian diayak menggunakan ayakan ukuran 30 mesh untuk mendapatkan partikel berukuran diameter $\leq 0,6$ mm yang akan digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan pelet (Gambar 1 bawah).

Pencetakan pelet TKKS dilakukan menggunakan mesin press hidrolik *single die* (Gambar 2) dengan kemampuan gaya tekan hingga 20 ton. Cetakan pelet terbuat dari besi pejal dengan diameter lubang cetakan 12 mm. Panjang cetakan 10 cm.



Gambar 1. TKKS kering jemur (atas) dan TKKS giling (bawah)



Gambar 2. Pencetak pelet tipe *single die Rancangan Percobaan*

Penelitian ini dirancang dalam suatu Rancangan Acak Lengkap, faktorial 4 x 3. Faktor pertama adalah gaya tekan (P) yang terdiri dari 4 taraf, yaitu 0,5 ton (P1), 1 ton (P2), 2 ton (P3) dan 3 ton (P4). Dengan diameter cetakan 12 mm, gaya tekan ini setara dengan 43, 87, 173, dan 260 MPa. Hal ini sesuai dengan kisaran tekanan untuk pencetakan pelet antara 50-600 MPa (Stelte *et al.*, 2012b). Faktor kedua adalah waktu penekanan (T) yang terdiri dari 3 taraf mengacu pada Simanjuntak (2022), yaitu: 9 detik (T1), 60 detik (T2), dan 180 detik (T3). Semua kombinasi perlakuan dilakukan dalam tiga ulangan.

Analisis dan Pengukuran

Parameter yang diukur dalam penelitian ini meliputi kadar air, massa jenis, kekuatan pelet, daya serap air pelet, warna pelet, dan nilai kalori bahan.

Nilai Kalori

Nilai kalori atau HHV (*high heating value*) bahan TKKS diukur menggunakan Bom Calorimeter (PARR 1341). Sampel serbuk TKKS kering oven ± 200 mg disiapkan dalam vessel (*bomb*). Vesel diisi dengan oksigen hingga mencapai tekanan 25 atm. Vesel lalu dimasukkan ke dalam panci yang sudah diisi air 2000 ml dan kabel listrik dihubungkan ke tempat yang tersedia di tutup vesel. Pengaduk air dihidupkan selama 5 menit sambil dicatat perubahan suhu setiap menit. Pada awal menit ke-6 vesel dihidupkan dan dicatat perubahan suhu

setiap 15 detik selama 2 menit, lalu setiap menit hingga 15 menit. Data massa bahan, panjang kawat yang terbakar, dan perubahan suhu dimasukkan ke aplikasi excel dengan menambahkan suhu tertinggi dan waktu untuk mencapainya. Aplikasi excel akan menampilkan nilai kalori bahan yang diuji.

Kadar Air

Kadar air pelet diukur menggunakan oven (Mettler UM-500) dengan suhu 105°C selama 24 jam. Kadar air (KA) dasar basah (db) dan dasar kering (dk) diperoleh dari massa sampel awal (M_a) dan massa sampel akhir (M_f) melalui Persamaan (1 dan 2):

$$KA(db) = \frac{M_a - M_f}{M_a} \times 100 \quad (1)$$

$$KA(dk) = \frac{M_a - M_f}{M_f} \times 100 \quad (2)$$

Kadar Abu

Sampel kering oven dibakar di dalam tanur (Vulcan D-550) pada suhu 550°C selama 2 jam. Setelah didinginkan dalam desikator, berat abu ditimbang dan kadar abu (*Ash*) dinyatakan sebagai persentase dari massa sampel kering oven.

$$Ash = \frac{\text{massa abu}}{\text{sampel kering}} \times 100 \quad (3)$$

Massa Jenis

Massa jenis (ρ) adalah rasio antara massa bahan (m) terhadap volume bahan (V). Untuk material curah dibedakan dua massa jenis, yaitu massa jenis partikel tunggal (*single particle density*) dan massa jenis kamba (*bulk density*). Volume partikel tunggal dihitung dari dimensi pelet tunggal (panjang dan diameter). Massa jenis kamba diukur dengan memasukkan sejumlah pelet hingga memenuhi wadah berukuran 100 ml dan menimbang berat sampel pelet.

$$\rho = m/V \quad (4)$$

Kekuatan Pelet

Kekuatan pelet diwakili oleh parameter *PDI* (*pellet durability index*) yang merupakan persentase berat pelet yang utuh setelah uji jatuh (Rosmiati, 2019). Dalam penelitian ini kekuatan pelet diukur dari uji jatuh pelet.

Sampel pelet tunggal dengan massa $M1$ dijatuhkan dari ketinggian 1,5 meter, kemudian massa pelet terbesar setelah jatuh ditimbang ($M2$), dan PDI dihitung dengan Persamaan (5):

$$PDI = (M2/M1) \times 100 \quad (5)$$

Daya Serap Air

Pelet kering oven diletakkan dalam ruang terbuka selama satu bulan. Suhu ruang yang diukur pada setiap pukul 6 pagi berkisar 24,3-25,7°C dengan RH antara 85-90%. Perubahan masa pelet akibat penyerapan lengas dipantau setiap hari. Daya serap air (DSA) dihitung dari massa awal (m_0) dan massa pelet pada hari t (m_t) yang ditimbang dengan ketelitian hingga 0,0001 gram (Kern ADB 200-4). DSA dinyatakan dalam %dk dan dihitung melalui Persamaan (6).

$$DSA = \frac{m_t - m_0}{m_0} \times 100\% \quad (6)$$

Warna Pelet

Warna pelet merupakan parameter yang berkaitan dengan mutu pelet (Sgarbossa *et al.*, 2014). Warna pelet diukur menggunakan colormeter (AMT 506) untuk parameter kecerahan (L^*), kroma merah-hijau (a^*), dan kroma kuning-biru (b^*). Nilai L^* adalah 0 untuk hitam sempurna dan 100 untuk putih sempurna. Nilai L^* sekitar 50 adalah untuk warna abu-abu (*grey*). Nilai a^* dan b^* adalah antara 0-80 dimana a^* positif adalah merah, a^* negatif hijau, b^* kuning, dan b^* negatif biru. Warna total (E^*) dihitung dari Persamaan 1 (Wrolstad & Smith, 2017):

$$E^* = \sqrt{(L^{*2} + a^{*2} + b^{*2})} \quad (6)$$

Analisis Data

Data hasil pengukuran atau perhitungan disajikan sebagai nilai rata-rata dari 3 ulangan. Analisis ragam (ANOVA) dilakukan untuk mengetahui adanya pengaruh perlakuan terhadap variabel bebas yang diukur. Jika terdapat perbedaan nyata, maka dilanjutkan dengan uji beda nyata terkecil pada taraf $\alpha = 5\%$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

TKKS merupakan bahan berserat yang ulet. Kandungan lignoselulosa yang tinggi menjadi TKKS berpotensi untuk dikembangkan sebagai bahan bakar. Hasil pengujian menunjukkan bahwa TKKS kering oven memiliki nilai kalori sebesar 17,85 MJ/kg. Nilai ini setara dengan nilai kalori bahan bakar kayu pada umumnya. Standar Nasional Indonesia (SNI 8675:2018) menetapkan batas minimal bahan bakar pelet sebesar 16,5 MJ/kg sehingga TKKS sangat potensial untuk dikembangkan menjadi bahan bakar pelet. Nilai kalori pelet TKKS dapat ditingkatkan dengan proses termokimia seperti torefaksi (Hidayat *et al.*, 2020). Dengan mengonversi TKKS menjadi pelet maka nilai jualnya akan semakin terbuka. Hal yang perlu dipertimbangkan adalah bahwa TKKS memiliki kadar air yang tinggi hingga 46,9% untuk TKKS yang sudah dipress dan sekitar 65% untuk TKKS tanpa press (Haryanto *et al.*, 2019).

Gambar 3 memperlihatkan contoh pelet yang dihasilkan dari penelitian ini. Secara visual pelet memiliki warna abu-abu. Pelet memiliki kekuatan yang baik dan tidak rapuh. Tabel 1 meringkaskan pengaruh perlakuan terhadap karakteristik pelet TKKS yang dihasilkan dari penelitian ini.



Gambar 3. Contoh pelet TKKS

Tabel 1. Pengaruh interaksi gaya tekan (P) dan waktu kompresi (T) terhadap karakteristik pelet TKKS

Parameter	P	T	P×T
Kadar air	ns	ns	ns
Kadar abu	**	ns	ns
Massa jenis partikel	**	ns	**
Massa jenis curah	ns	ns	ns
Kekuatan pelet	ns	ns	ns
Daya serap air	ns	ns	ns
Warna pelet	ns	**	ns
Daya serap air	*	ns	ns

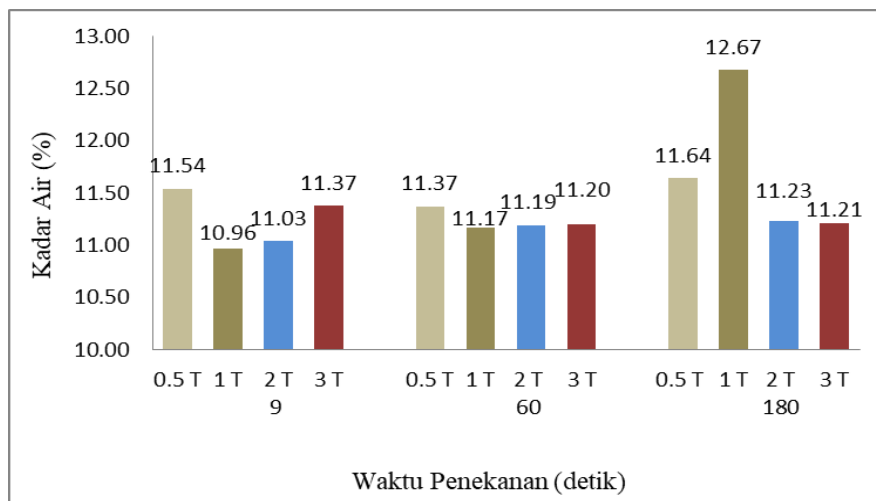
Keterangan: ns = tidak nyata; * = nyata ($P < 0,05$); ** sangat nyata ($P < 0,01$).

Karakteristik Fisik Pelet

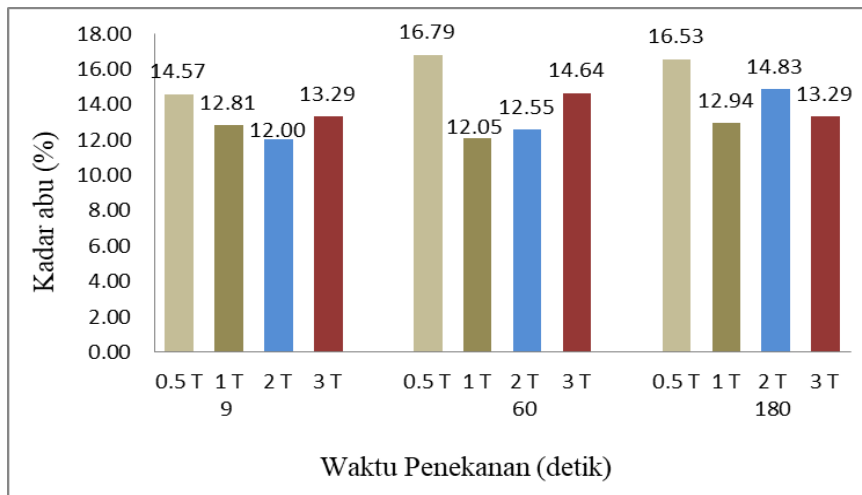
Pelet memiliki kadar air antara 10,96% hingga 12,67% dasar basah (Gambar 4). Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 8675:2018) batas maksimal kadar air pelet adalah 10% untuk penggunaan domestik dan 12% untuk aplikasi industri. Oleh karena itu, dalam hal kadar air, hampir semua pelet yang dihasilkan pada penelitian ini telah memenuhi SNI, kecuali pelet dari perlakuan tekanan 1 t dan waktu kompresi 180 s. Hasil

analisis statistik menunjukkan bahwa tidak terdapat pengaruh yang nyata yang disebabkan oleh faktor gaya tekan, waktu penekanan, maupun interaksi antara kedua faktor tersebut. Kadar air pelet praktis tidak banyak berubah dari kadar air bahan TKKS kering jemur, sekitar 12%. Pada tekanan yang tinggi sebagian energi sebenarnya terkonversi menjadi panas yang akan meningkatkan suhu bahan, mengakibatkan penguapan air. Hal ini dapat diamati dengan jelas pada saat proses pembuatan pelet komersial yang terlihat dari kepulan uap air yang keluar selama pencetakan pelet dan ketika pelet keluar dari mesin pencetak. Tetapi, dalam penelitian ini pelet dicetak satu per satu dengan jeda waktu yang lama sehingga tidak terjadi akumulasi panas yang mampu menguapkan air dari bahan pelet.

Pelet memiliki kadar abu antara 12,0-16,8% (Gambar 5), yang berarti 2-3 kali dari batas maksimal 5% (SNI 8675:2018). Dengan kadar abu yang tinggi, pelet TKKS hanya bisa digunakan sebagai bahan bakar



Gambar 4. Kadar air pelet TKKS dari semua kombinasi perlakuan

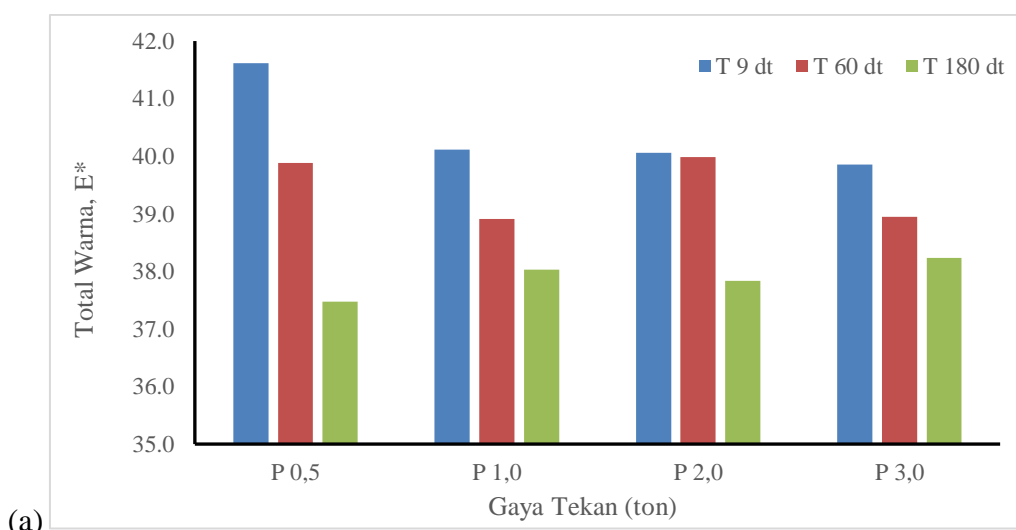


Gambar 5. Kadar abu pelet TKKS dari semua kombinasi perlakuan

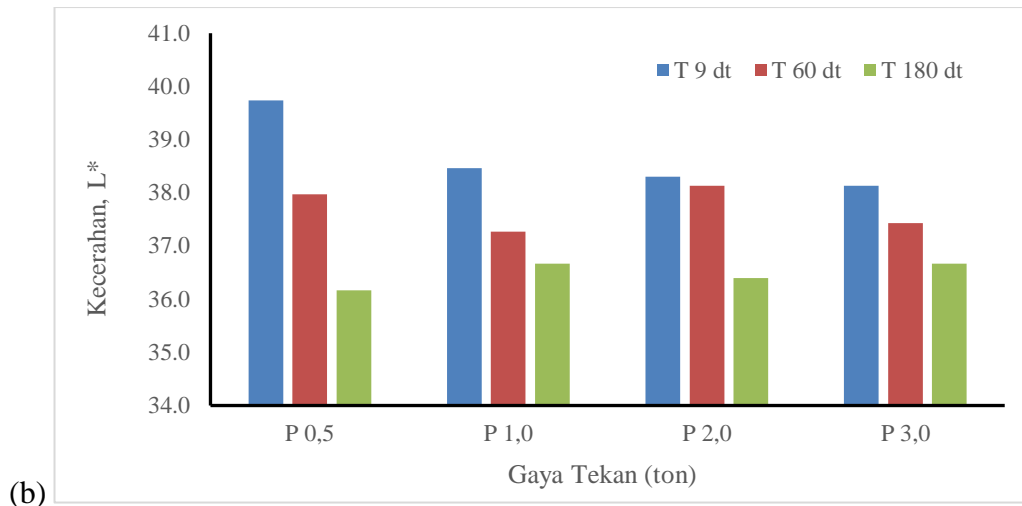
domestik karena aplikasi sebagai bahan bakar boiler industri atau pembangkit listrik akan melibatkan suhu yang tinggi. Kandungan abu yang tinggi pada bahan bakar biomassa akan mengakibatkan *slagging* dan *fouling* yang akan mengganggu proses pembakaran dan transfer panas (Haryanto *et al.*, 2021). Analisis sidik ragam menunjukkan bahwa hanya faktor tekanan yang berpengaruh sangat nyata ($P < 0,01$) terhadap kadar abu pelet. Terdapat kecenderungan bahwa makin tinggi tekanan mengakibatkan penurunan kadar abu dimana rata-rata kadar abu perlakuan P1 (15,97) secara signifikan lebih tinggi dari semua perlakuan lain, yaitu 13,74% (P4), 13,13 (P3), dan 12,60% (P2). Meskipun demikian, belum diketahui

bagaimana mekanisme berkurangnya kadar abu akibat peningkatan tekanan.

Pelet memiliki nilai warna total antara 37,5-41,6 (Gambar 6a). Secara visual pelet memiliki kecerahan warna abu-abu dengan nilai L^* antara 36,2 – 39,7 (Gambar 6b). Peggoreti *et al.* (2019) menyimpulkan bahwa warna pelet yang gelap berkaitan dengan kadar abu yang tinggi. Warna pelet juga menentukan kualitas dan sifat energetik pelet. Nilai > 32 akan melebihi standar abu sehingga pelet tidak akan memenuhi standar Eropa dan menyulitkan tahap komersialisasi di pasar internasional. Waktu penekanan berpengaruh nyata terhadap total warna maupun kecerahan pelet. Gambar 6 menunjukkan makin waktu penekanan menghasilkan pelet dengan nilai total warna



(a)

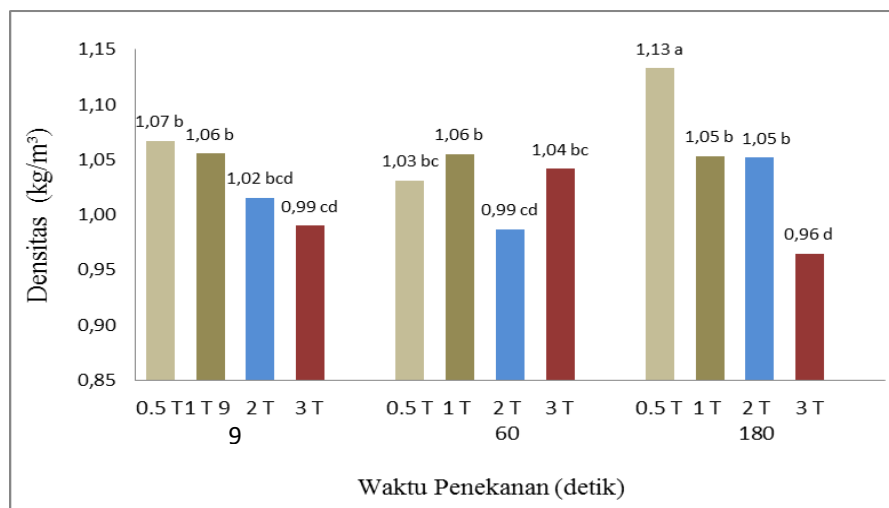


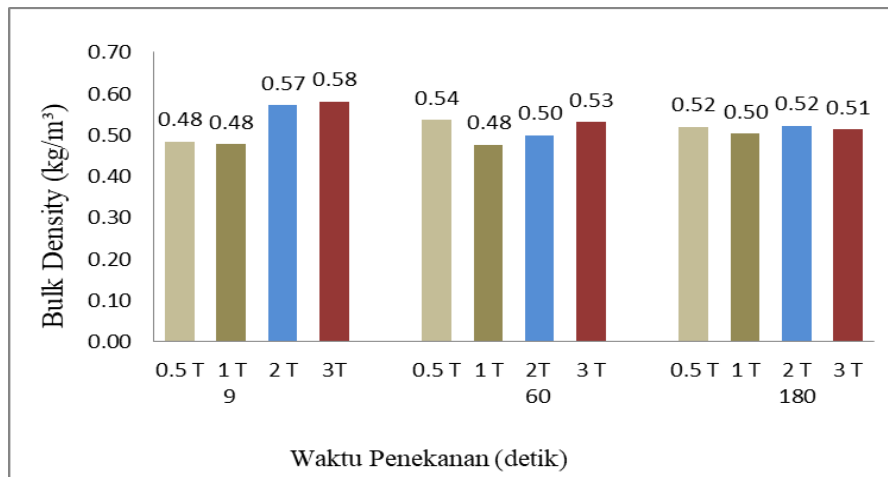
Gambar 6. (a) Total warna, dan (b) Kecerahan pelet TKKS dari semua kombinasi perlakuan

makin rendah. Demikian pula kecerahan pelet, nilainya makin rendah (makin gelap) seiring dengan naiknya waktu penekanan. Efek tekanan terlihat pada waktu penekanan singkat (9 detik). Pada kompresi yang lebih lama, efek tekanan terlihat fluktuatif.

Pelet TKKS yang dihasilkan dari penelitian ini memiliki densitas partikel antara 0,9-1,13 kg/dm³ (Gambar 7) yang berarti pelet secara intrinsik memiliki kepadatan yang tinggi. Tumuluru (2015) melaporkan masa jenis pelet dari bahan batang jagung dan jerami gandum masing-masing 1,133 dan 1,096 kg/dm³. Selain memfasilitasi penyimpanan dan *handling*, mengurangi biaya transportasi, dan mengurangi kadar air, densifikasi bahan bakar biomasa bertujuan untuk menaikkan berat jenis menjadi antara 600 hingga 1400 kg/m³ (Chen *et al.*, 2015).

Ada kecenderungan bahwa gaya tekan tinggi menghasilkan pelet dengan densitas partikel makin rendah. Hal ini sangat mengejutkan dan di luar ekspektasi. Secara fisik makin tinggi tekanan partikel akan terdesak untuk mengisi rongga antar partikel, menghasilkan pelet yang makin padat dan kompak. Densitas curah (*bulk density*) antara 0,48 hingga 0,58 kg/m³ yang berarti lebih rendah dari standar minimal 0,6 kg/m³ sebagaimana disyaratkan dalam SNI 8675:2018. Densitas kamba bukanlah sifat atau karakteristik intrinsik pelet dan nilainya dipengaruhi oleh ukuran, bentuk, dan keseragaman pelet (Qiu *et al.*, 2015). Pada penelitian ini, pelet dicetak dengan ukuran 12 mm, sedangkan pelet komersial umumnya memiliki ukuran 6 mm (Tumuluru, 2015) dan 8 mm (Whittaker & Shield, 2017).



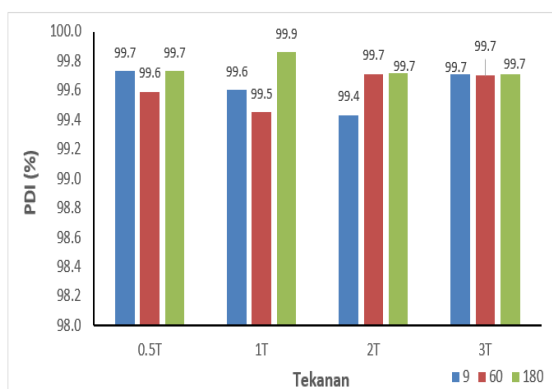


Gambar 7. Masa jenis partikel (atas), dan massa jenis kamba (bawah) pelet TKKS dari semua kombinasi perlakuan

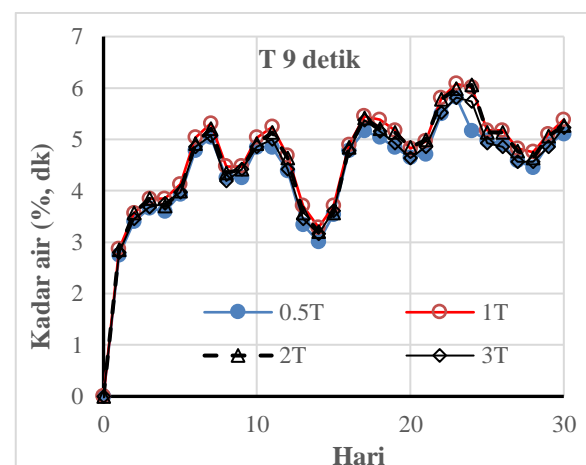
Dari uji jatuh pada ketinggian 150 cm, dapat disimpulkan bahwa pelet memiliki kekuatan yang baik dengan nilai *durability index* 99% (Gambar 8). Hal ini berarti kurang dari 1% bagian pelet yang rontok. *Durability* pelet dipengaruhi oleh banyak faktor (Whittaker & Shield, 2017) seperti dimensi pelet, karakteristik bahan baku (kadar lignoselulosik, densitas, kadar air), perlakuan (pengeringan, pengecilan ukuran, penggunaan zat aditif), dan proses pencetakan (suhu, tekanan, pendinginan). Tetapi dalam penelitian ini pengaruh dari faktor tekanan, waktu, maupun interaksi keduanya tidak ada yang signifikan.

Gambar 9 hingga 11 menunjukkan karakteristik pelet dalam kaitannya dengan kemampuan pelet menyerap lengas. Semua

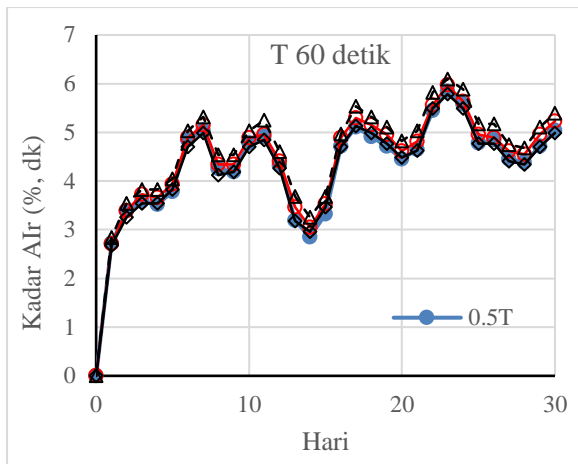
pelet mampu menyerap lengas hingga maksimum sekitar 6% (dk) yang terjadi setelah 23 hari penyimpanan. Hal ini menunjukkan bahwa pelet yang dihasilkan dari penelitian ini memiliki ketahanan yang baik karena menyerap air di bawah kadar air keseimbangan. Hal ini menjadi petunjuk bahwa pelet akan memiliki daya simpan yang lama. Selama penyimpanan di wadah terbuka, bobot pelet naik-turun. Hal ini dipengaruhi oleh kelembapan udara (RH). Jika RH naik, maka udara akan mengandung banyak uap air, sehingga pelet menyerap lebih banyak lengas dan bobot pelet akan naik. Sebaliknya, dalam udara yang kering dengan RH yang rendah pelet akan kehilangan uap air sehingga bobotnya turun.



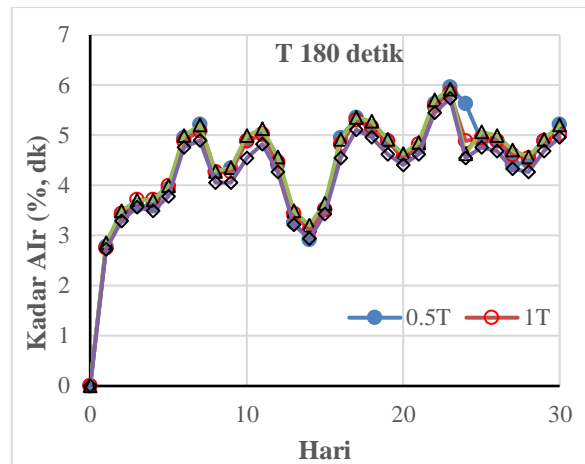
Gambar 8. Pellet Durability Index (PDI) pelet TKKS dari semua kombinasi perlakuan



Gambar 9. Pengaruh gaya tekan terhadap daya serap air pelet dengan lama kompresi 9 dt



Gambar 10. Pengaruh gaya tekan terhadap daya serap air pelet dengan lama kompresi 120 dt



Gambar 11. Pengaruh gaya tekan terhadap daya serap air pelet dengan lama kompresi 180 dt

Tabel 2. Pengaruh gaya tekan dan waktu penekanan terhadap DSA maksimum pelet TKKS

Perlakuan	0,5 ton	1 ton	2 ton	3 ton	Rata-rata
9 dt	5.82	6.08	5.99	5.81	5.93 a
60 dt	5.84	5.97	6.10	5.78	5.92 a
180 dt	5.97	5.85	5.92	5.73	5.87 a
Rata-rata	5.88 a	5.97 a	6.00 a	5.78 b	

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang berbeda pada baris atau kolom yang sama berarti berbeda nyata pada uji BNT taraf $\alpha = 0,05$.

Tabel 2 menunjukkan daya serap air maksimum yang terjadi pada hari ke-23 penyimpanan. Hasil Anova menyimpulkan bahwa faktor gaya tekan berpengaruh nyata, sedangkan faktor waktu penekanan dan interaksi tidak berpengaruh nyata. Makin tinggi gaya tekan secara nyata menurunkan daya serap air. Hal ini terjadi karena dengan gaya tekan yang tinggi akan menghasilkan pelet yang lebih padat sehingga lebih sedikit menyerap air. Salah satu cara untuk menjadikan pelet bersifat tidak menyerap air (hidropobik) adalah dengan proses torefaksi (Hidayat *et al.*, 2020; Yulianto *et al.*, 2020; Rani *et al.*, 2020; Purnomo *et al.*, 2022).

KESIMPULAN

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) memiliki nilai kalori 17,85 MJ/kg sehingga berpotensi untuk dikembangkan sebagai bahan bakar pelet. Gaya tekan dan lama

penekanan tidak signifikan pada hampir semua parameter. Besarnya gaya tekan pada saat pencetakan berpengaruh nyata pada massa jenis partikel dan kadar abu. Lama penekanan berpengaruh signifikan pada warna pelet. Secara umum, pelet memiliki kekuatan yang baik dengan nilai *durability* (ketahanan) lebih dari 99%. Hal ini mengisyaratkan bahwa pencetakan pelet dengan gaya tekan 1 ton dan lama penekanan 9 detik sudah cukup untuk menghasilkan pelet yang baik. Berdasarkan karakteristiknya, pelet yang dihasilkan masih memiliki keterbatasan dan hanya cocok untuk aplikasi bahan bakar domestik. Pelet memiliki kadar abu yang tinggi sehingga tidak cocok untuk aplikasi industri.

DAFTAR REFERENSI

Alamsyah, R., & Supriatna, D. (2018). Analisis teknik dan tekno ekonomi pengolahan biomassa limbah tandan

- kosong kelapa sawit (TKKS) menjadi pelet sebagai bahan bakar terbarukan skala produksi. *Warta IHP*, 35(1), 1-11.
- BPS (Badan Pusat Statistik). (2022). *Statistical Yearbook of Indonesia 2022*. Badan Pusat Statistik.
- Brand, M.A., Rodrigues, T.M., da Silva, J.P., & de Oliveira, J. (2021). Recovery of agricultural and wood wastes: The effect of biomass blends on the quality of pellets. *Fuel*, 284, 118881.
- BSN (Badan Standardisasi Nasional). (2018). *SNI 8675-2018: Pelet Biomassa Untuk Energi*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Chen, W.-H., Peng, J., & Bi, X.T. (2015). A State-of-the-art review of biomass torrefaction, densification and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 847–866. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.12.039>
- Chen, X., Liang, J., Liao, P., Huang, W., He, J., & Chen, J. (2021). Effect of process parameters and raw material characteristics on the physical and mechanical quality of sugarcane bagasse pellets. *Biomass and Bioenergy*, 154, 106242.
- Dhamodaran, A., & Afzal, M.T. (2012). Compression and springback properties of hardwood and softwood pellets. *BioRes.* 7(3), 4362-4376.
- Falah, M., & Nelza, N. (2019). Pembuatan biopellet dari limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebagai bahan bakar terbarukan. *Ready Star*, 2(1), 90-95.
- Gilbert, P., Ryu, C., Sharifi, V., & Swithenbank, J. (2009). Effect of process parameters on pelletisation of herbaceous crops. *Fuel*, 88(8), 1491-1497.
- 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, 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, 33–42.
- 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>
- Ibitoye, S. E., Jen, T.-C., Mahamood, R. M., & Akinlabi, E. T. (2021). Densification of agro-residues for sustainable energy generation: An overview. *Bioresources and Bioprocessing*, 8(1), 75.
- Kaliyan, N., & Morey, R.V. (2009). Densification characteristics of corn stover and switchgrass. *Trans. ASABE*, 52(3), 907-920.
- Miranda, M.T., Sepúlveda, F.J., Arranz, J.I., Montero, I., & Rojas, C.V. (2018). Analysis of pelletizing from corn cob

- waste. *Journal of Environmental Management*, 228, 303–311.
- Munawar, S.S., & Subiyanto, B. (2014). Characterization of biomass pellet made from solid waste oil palm industry. *Procedia Environmental Sciences*, 20, 336–341.
- Nasrin, A.B., Loh, S.K., Sukiran, M.A., Bukhari, N.A., Aziz, A.A., Lim, J., Lim, S., & Chin, E. (2022). Production and characterization of low-ash empty fruit bunches pellets as a solid biofuel. *Bioenerg. Res.* 15, 517–529.
- Nielsen, N.P.K., Gardner, D.J., Poulsen, T., & Felby, C. (2009a). Importance of temperature, moisture content, and species for the conversion process of wood residues into fuel pellets. *Wood Fiber Sci.* 41(4), 414-425.
- Nielsen, S.K., Mandø, M., & Rosenørn, A.B. (2020). Review of die design and process parameters in the biomass pelleting process. *Powder Technology*, 364, 971–985.
- Poddar, S., Kamruzzaman, M., Sujana, S.M.A., Hossain, M., Jamal, M.S., Gafur, M.A., & Khanam, M. (2014). Effect of compression pressure on lignocellulosic biomass pellet to improve fuel properties: Higher heating value. *Fuel*, 131, 43–48.
- Pua, F-L., Subari, M.S., Ean, L-W., & Krishnan, S.G. (2020). Characterization of biomass fuel pellets made from Malaysia tea waste and oil palm empty fruit bunch. *Materials Today: Proceedings*, 31, 187–190.
- Purnomo, C.E., Haryanto, A., Wisnu, F.K., & Telaumbanua, M. (2022). Torefaksi Pelet Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Reaktor Putar. *J. Agricultural and Biosystem Engineering*, 1(1), 1-11.
- Qiu, J., Khalloufi, S., Martynenko, A., Van Dalen, G., Schutyser, M., & Almeida-Rivera, C. (2015). Porosity, bulk density, and volume reduction during drying: Review of measurement methods and coefficient determinations. *Drying Technology*, 33, 1681–1699. <https://doi.org/10.1080/07373937.2015.1036289>
- Rahman, N.A., Atan, M.F., Low, C.M., Bains, R., Mat, N.F.C., & Salleh, S.F. (2013). Study on the potential of pelletisation of empty fruit bunch with sago as binding agent for power generation. *European International Journal of Science and Technology*, 2(2), 111-118.
- 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. <http://dx.doi.org/10.23960/jtep-l.v9i1.63-70>
- Rosmiati, R. (2019). Penentuan peleting durability index pada pakan pellet ayam broiler. *Ready Star*, 2, 212–216.
- Salas-Bringas, C., Filbakk, T., Skjevraak, G., Lekang, O-I., Høibø, O., & Schüller, R.B. (2010). Compression rheology and physical quality of wood pellets pre-handled with four different conditions. *Annual Transactions of The Nordic Rheology Society*, 18, 7 halaman.
- Sgarbossa, A., Costa, C., Menesatti, P., Antonucci, F., Pallottino, F., Zanetti, M., Grigolato, S., & Cavalli, R. (2014). Colorimetric patterns of wood pellets and their relations with quality and energy parameters. *Fuel*, 137, 70-76.

- Simanjuntak, F.A. (2022). Pengaruh durasi penekanan dan ukuran partikel terhadap kualitas pelet serbuk gergaji. *Jurnal Agricultural Biosystem Engineering*, 1(3), 349-360.
- Stelte, W., Holm, J.K., Sanadi, A.R., Ahrenfeldt, J., & Henriksen, U.B. (2011). Fuel pellets from biomass: The importance of the pelletizing pressure and its dependency on the processing conditions. *Fuel*, 90(11), 3285-3290.
- Stelte, W., Sanadi, A.R., Shang, L., Holm, J.K., Ahrenfeldt, J., & Henriksen, U.B. (2012). Recent developments in biomass pelletization – A review. *BioRes.* 7(3), 4451-4490.
- Tippayawong, N., Jaipa, C., & Kwanseng, K. (2018). Biomass pellets from densification of tree leaf waste with algae. *AgricEngInt: CIGR Journal*, 20(4), 119-125.
- Tumuluru, J.S. (2015). High moisture corn stover pelleting in a flat die pellet mill fitted with a 6 mm die: Physical properties and specific energy consumption. *Energy Science & Engineering*, 3, 327–341. <https://doi.org/10.1002/ese3.74>
- Whittaker, C., & Shield, I. (2017). Factors affecting wood, energy grass and straw pellet durability – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.119>
- Wongsiriamnuay, T., & Tippayawong, N. (2015). Effect of densification parameters on the properties of maize residue pellets. *Biosystems Engineering*, 139, 111-120.
- Wrolstad, R. E., & Smith, D. E. (2017). Color analysis. In S. S. Nielsen (Ed.), *Food Analysis* (pp. 545–555). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5_31
- 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. <http://dx.doi.org/10.23960/jtep-1.v9i2.104-111>