

Upgrading Karakteristik Biopellet Tandan Kosong Sawit Dengan Penambahan *Oil Sludge* Sebagai *Co-Firing*

Idral Amri^a, Tengku Muchlis^b, Zuchra Helwani^c

^aTeknik Kimia, Universitas Riau, Pekanbaru 28291, Indonesia

^bTeknik Kimia, Universitas Riau, Pekanbaru 28291, Indonesia

^cTeknik Kimia, Universitas Riau, Pekanbaru 28291, Indonesia

INFO ARTIKEL

Article history

Received February 7th 2020

Received in reviewed from
March 8th, 2020

Accepted March 10th 2021

Keywords:

Biopellet,
Torefaction,
Oil Sludge,
Co- Firing

*corresponding author:

Email: idral_amri@eng.unri.ac.id

ABSTRACT

Biopellet is one of the alternative fuels converted from biomass. Biomass which has great potential to be converted into biopellet is Empty Fruit Bunches (EFB). Such considerations make researchers interested in conducting a study on the use of EFB as an alternative fuel in the form of biopellets. In this research, we used torefaction and densification processes and the addition of oil sludge as a co-firing to increase the mass and energy density which had been a problem with the nature of EFB. The research procedure started from the raw material preparation stage, the EFB and oil sludge torefaction process and the biopellet manufacturing stage. For fixed variables, the raw material size (EFB) is ± 15 mm, the raw material ratio is 70:30 (EFB: Oil Sludge), the torefaction temperature is 275 °C, the size of the biopellet diameter is 20 mm (ISO 17225). For 20 mesh particles, the N₂ flow rate was 50 ml / minute, for the changing variables were the torefaction detention time of 30, 45 and 60 minutes, the pressing pressure was 30, 40 and 50 bar. The results showed that there was an effect of torefaction detention time which was directly proportional to the increase in proximate characteristics and calorific value of biopellets with the best results of 3.35% moisture content, 8.66% ash content, 9.50% volatile content, 78.49 %, fixed carbon content, and the calorific value of 4597.76 cal / g under the conditions of 60 minutes of torefaction detention time. There is an effect of pressing pressure which is directly proportional to the increase in the mechanical properties of the biopellet with the best results of density 1.148 gr / cm³, compressive strength 16.86 bar, and porosity of biopellet 13.33% under pressure conditions of 50 bar. The effect of adding oil Sludge as co-firing resulted in the calorific value of the biopellet being lower than the calorific value of EFB. This is because the calorific value of oil sludge is lower than the calorific value of EFB.

1. Pendahuluan

Pemerintah Indonesia bersama dengan pemimpin dunia sepakat di dalam agenda Sustainable Development Goals (SDGs) nomor 7 agar dapat menjamin akses terhadap energi yang sangat terjangkau, dapat diandalkan, berkelanjutan, dan modern (UCGL, 2015). Untuk merealisasikan program tersebut, diperlukannya dukungan semua pihak terutama para akademisi, pengusaha, dan peneliti bidang energi. Produksi LPG dalam negeri tidak mampu mengimbangi peningkatan kebutuhan LPG di masa mendatang, yang mengakibatkan rasio impor diperkirakan akan terus meningkat (BPPT, 2018). Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka perlu dilakukan langkah konkrit untuk memanfaatkan energi alternatif yang potensi sumber dayanya cukup besar. Indonesia merupakan negara agraris karena sebagian besar penduduknya bermata pencaharian sebagai petani. Data Badan Pusat Statistik (BPS) Februari 2017 mencatat penduduk Indonesia yang bekerja di sektor pertanian sebesar 39,68 juta orang atau 31,86% dari jumlah penduduk bekerja sebesar 124,54 juta orang.

Salah satu primadona tanaman perkebunan yaitu kelapa sawit. Pembangunan sub sektor kelapa sawit merupakan penyedia lapangan kerja yang cukup besar dan sebagai sumber pendapatan petani. Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas yang memiliki andil besar dalam menghasilkan pendapatan asli daerah, produk domestik bruto, dan kesejahteraan masyarakat (Afifuddin, 2007). Luas areal produksi kelapa sawit telah tersebar di seluruh wilayah Indonesia. Pulau Sumatera tercatat memiliki luas areal terbesar diantara pulau Indonesia lainnya, dengan total areal sebesar 7.191.738 ha dan produksi kelapa sawit sebanyak 22.687.079 ton. Dimana Provinsi Riau mempunyai luas areal terbesar yaitu 2.430.508 ha dengan produksi sebanyak 8.506.646 ton.

Melihat luasnya areal produksi perkebunan kelapa sawit tersebut, tentu berkaitan dengan aktivitas pengolahan di industri kelapa sawit. Aktivitas perkebunan kelapa sawit menghasilkan limbah biomassa berupa pelepah sawit dan batang sawit. Sementara itu, pengolahan kelapa sawit di industri tentunya menghasilkan limbah. Limbah industri kelapa sawit merupakan salah satu limbah biomassa pertanian yang terdiri dari limbah cair, limbah gas, dan limbah padat yang dihasilkan dari aktifitas pabrik kelapa sawit. Sejauh ini pemanfaatan limbah padat kelapa sawit untuk menghasilkan energi baru terbatas sebagai bahan bakar padat pada ketel (boiler). Khusus untuk limbah tandan kosong kelapa sawit, pemanfaatan sebagai bahan bakar padat boiler mempunyai masalah penghambat yaitu pada tingginya kandungan air (moisture) 60% dan polusi yang dihasilkan (Surjosatyo dan Vidian, 2004). Limbah tandan kosong sawit sejauh ini tidak digunakan sebagai sumber energi, sehingga permasalahan yang kemudian timbul adalah melimpahnya jumlah limbah yang tertimbun pada kawasan di sekitar industri-industri pengolahan kelapa sawit tersebut (Surjosatyo dan Vidian, 2004).

Biopellet merupakan salah satu bahan bakar alternatif hasil konversi dari biomassa. Biomassa yang memiliki potensi besar untuk dikonversi menjadi biopellet ialah Tandan Kosong Sawit (TKS). TKS yang begitu melimpah umumnya tidak mempunyai nilai ekonomis sehingga relatif tidak termanfaatkan dan cenderung berpotensi mencemari lingkungan. Biopellet merupakan bahan bakar padat berbasis biomassa yang berbentuk tabung padat atau berbentuk pelet. Proses yang digunakan adalah pengempaan dengan suhu dan tekanan tinggi, sehingga membentuk produk yang seragam. Biopellet memiliki keunggulan yaitu dapat meningkatkan nilai kalor yang dihasilkan dari proses pembakaran, serta ukuran dan keseragaman biopellet dapat memudahkan proses transportasi dari satu tempat ke tempat lainnya (Battacharya, 1998).

Berdasarkan data International Energy Agency (IEA) Bioenergy Task 40 Global Wood Pellet Industry Market and Trade Study di tahun 2011 jumlah produksi dan kebutuhan biopellet dunia hampir mencapai 20 juta ton. Melihat tingginya kebutuhan biopellet dunia, Indonesia memiliki peluang yang sangat besar untuk turut serta memenuhi kebutuhan tersebut. Pertimbangan yang demikian itulah membuat peneliti tertarik untuk melakukan sebuah penelitian mengenai pemanfaatan TKS sebagai bahan bakar alternatif dalam bentuk biopellet. Pada penelitian ini gunakan proses torefaksi dan densifikasi serta penambahan oil sludge sebagai co-firing untuk meningkatkan densitas massa dan energi yang selama ini menjadi permasalahan dari sifat alami TKS.

2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Produk, Laboratorium Teknologi Oleokimia, Laboratorium Pengendalian dan Pencegahan Pencemaran Lingkungan, dan Laboratorium Teknik Reaksi Kimia dan Katalisis Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Riau dalam rentang waktu ± 4 bulan.

2.1 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dimulai dari tahap persiapan bahan baku, proses torefaksi TKS dan oil sludge serta tahap pembuatan biopelet.

2.1.1 Pengumpulan data

Penelitian ini terdiri dari variabel tetap dan variabel berubah. Untuk variabel tetap adalah:

- Ukuran bahan baku (TKS) : ± 15 mm (Mendrofa dkk, 2017)
- Rasio bahan baku : 70 : 30 (TKS : Oil Sludge)
- Suhu Torefaksi : 275 °C
- Ukuran biopelet : Diameter 20 mm (ISO 17225)
- Ukuran Partikel : 20 mesh (Zulfian dkk, 2015)
- Laju alir N₂ : 50 ml/menit (Susanty dkk, 2019)

Untuk variabel berubah adalah:

- Waktu detensi torefaksi : 30, 45 dan 60 menit
- Tekanan Pengempaan : 30, 40 dan 50 bar

2.1.2 Metode Analisa

Metode analisis yang dilakukan yaitu karakteristik proksimat (kadar air, kadar abu, kadar volatil, dan kadar fixed carbon) berdasarkan ASTM D-3172-13 sampai ASTM D-3175-13. Nilai kalor dianalisis berdasarkan ASTM D-5865-13. Densitas dianalisis berdasarkan massa per volume dimensi biopelet tersebut. Kuat tekan dianalisis dengan memberi beban massa pada luas penampang biopelet. Porositas dianalisis menggunakan alat Piknometer dan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakteristik Bahan Baku

Tabel 3.1 Karakteristik Bahan Baku (¹Cahyono, 2019 serta ²Putri, 2012)

No	Parameter	TKS ¹	Oil Sludge ²	ISO 17225-6
1	Kadar Air (%)	3,0	28,9	≤ 12
2	Kadar Abu (%)	7,9	30,306	≤ 5
3	Kadar Volatil (%)	8,7	37,579	≤ 15
4	Kadar Fixed Carbon (%)	80,4	3,215	≥ 77
5	Nilai Kalor (Kal/gram)	4.287,96	4.100,39	4000
6	Densitas (gr/cm ³)	1,28	-	600
7	Kuat Tekan (Bar)	15,04	-	-
8	Porositas (%)	13,88	-	-

3.2 Karakteristik Biopelet

3.2.1 Pengaruh Waktu Detensi Torefaksi terhadap Karakteristik Proksimat dan Nilai Kalor Biopelet

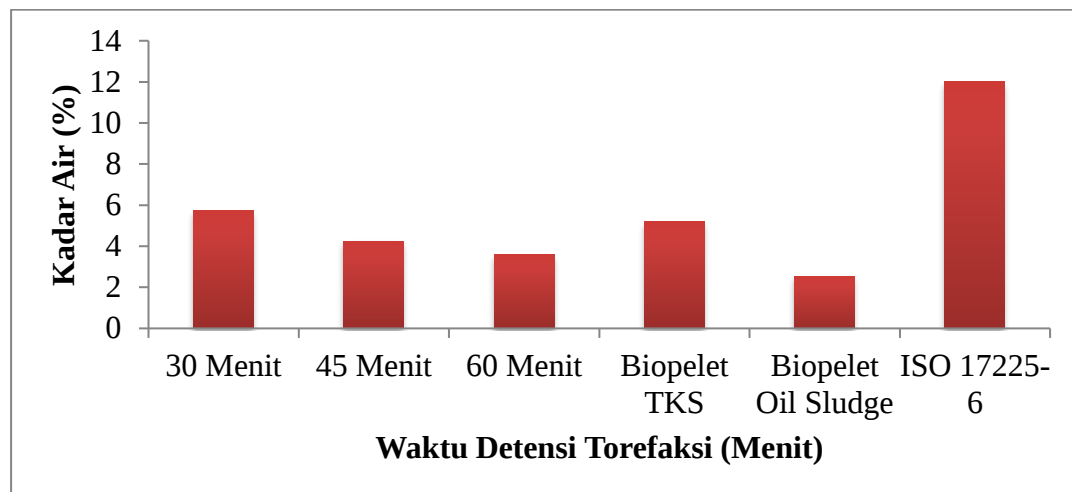
Pada penelitian ini digunakan variasi waktu detensi torefaksi 30,45,dan 60 menit. Pengaruh waktu detensi torefaksi pada penelitian ini dibahas berdasarkan variasi tekanan pengempaan 50 bar. Sebagai pembanding, biopelet TKS dan *Oil Sludge* murni dibuat pada kondisi 60 menit waktu detensi torefaksi dan 50 bar tekanan pengempaan.

A Analisis Proksimat Biopelet

• Kadar Air

Kadar air merupakan salah satu parameter yang mempengaruhi proses pembakaran. Semakin tinggi kadar air dari suatu bahan maka nilai kalor yang dihasilkan pada proses pembakaran juga semakin rendah.

Pengaruh waktu detensi torefaksi terhadap kadar air biopelet dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut

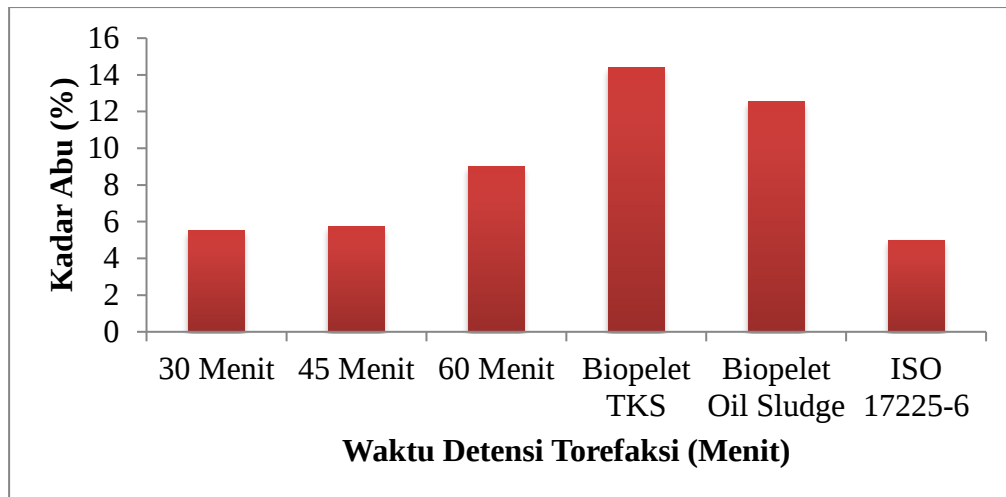


Gambar 3.1 Pengaruh Waktu Detensi Torefaksi terhadap Kadar Air Biopelet

Berdasarkan Gambar 4.1. dapat dilihat bahwa semakin lama waktu detensi torefaksi maka kadar air pada biopelet juga semakin berkurang. Hal ini dikarenakan pada proses torefaksi terjadi proses drying atau pengeringan. Pada tahap pengeringan (100-180) °C terjadi perubahan secara fisik yaitu berkurangnya kadar air tanpa mengubah komposisi pada biomassa (Tumuluru dkk, 2010).

• Kadar Abu

Kadar abu merupakan salah satu komponen dari analisis proksimat. Kadar abu juga merupakan parameter yang mempengaruhi proses pembakaran bahan bakar padat. Pengaruh waktu detensi torefaksi terhadap kadar abu biopelet dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut.

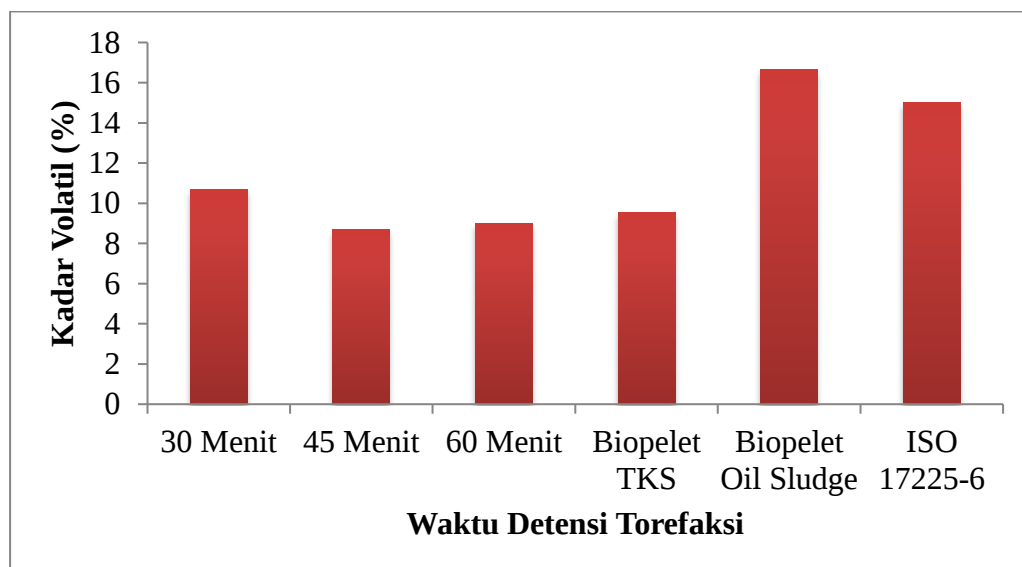


Gambar 3.2. Pengaruh Waktu Detensi Torefaksi Terhadap Kadar Abu Biopellet

Berdasarkan Gambar 4.2. dapat dilihat bahwa semakin lama waktu detensi torefaksi maka kadar abu dari biopellet juga semakin tinggi. Kadar abu biopellet hasil penelitian ini berkisar antara 4,17% - 10,68% -b. Kadar abu biopellet yang diperoleh secara keseluruhan melebihi batas minimum dari standar ISO 17225-6 yaitu $\leq 5\%$.

- **Kadar Volatil**

Kadar volatil adalah banyaknya zat yang hilang ketika sampel dipanaskan pada suhu dan waktu yang telah ditentukan. Semakin tinggi kadar volatil maka laju pembakarannya juga akan semakin meningkat, sehingga akan memudahkan dalam penyalaan. Pengaruh Waktu Detensi Torefaksi terhadap Kadar Volatil Biopellet Gambar 3.3 merupakan hasil analisis kadar volatil biopellet.



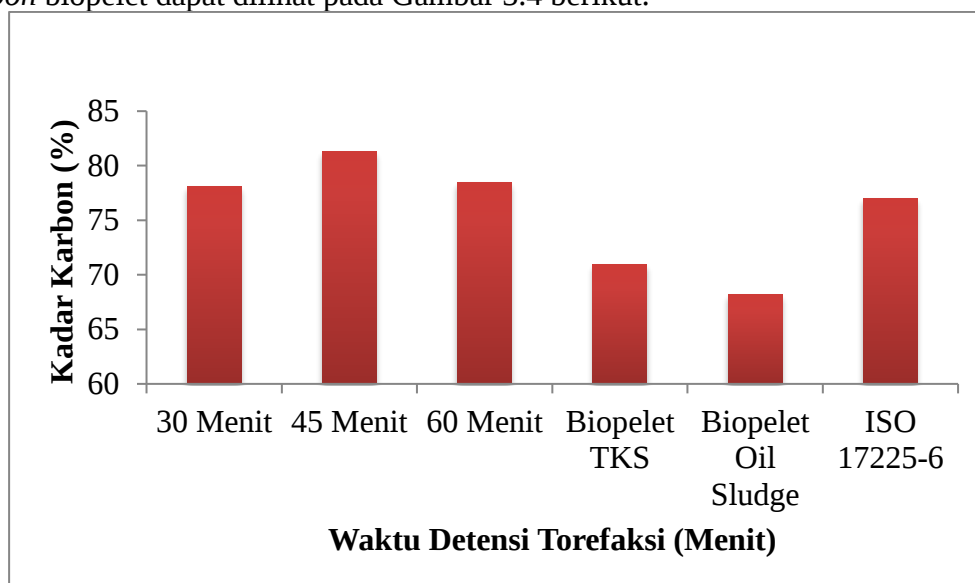
Gambar 3.3. Pengaruh Waktu Detensi Torefaksi terhadap Kadar Volatil Biopellet

Berdasarkan Gambar 3.3 dapat dilihat bahwa semakin lama waktu detensi torefaksi maka kadar volatil pada biopellet akan semakin rendah. Kadar volatil yang didapat pada penelitian ini secara umum telah memenuhi standar ISO 17225-6 yaitu maksimum 15%. Menurut Bhavsar dkk (2018) kadar volatil disebabkan oleh tingginya kandungan selulosa pada biomassa. Keberadaan selulosa yang tinggi pada biomassa akan banyak

menghasilkan zat volatil light hydrocarbon dan produk kondensasi seperti levoglukosan, hidroksil metil furfural, hidroasetaldehid, aseton, dan formaldehid (Uzun dkk, 2007 dan Shumeiko dkk, 2017). Bahkan menurut Putra (2016) depolimerisasi selulosa terjadi sangat cepat hingga 80% senyawa volatil dengan mayoritas merupakan senyawa organik yang dapat terkondensasi.

- **Kadar Fixed Carbon**

Fixed carbon menyatakan banyaknya karbon yang terdapat dalam suatu material setelah *volatil matter* dihilangkan. *Fixed carbon* merupakan bahan bakar padat yang tertinggal ditungku setelah bahan yang mudah menguap didistilasi. Kandungan utamanya adalah karbon, tetapi juga mengandung hidrogen, oksigen, sulfur dan nitrogen yang tidak terbawa gas. Pengaruh waktu detensi torefaksi terhadap kadar *fixed carbon* biopellet dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut.

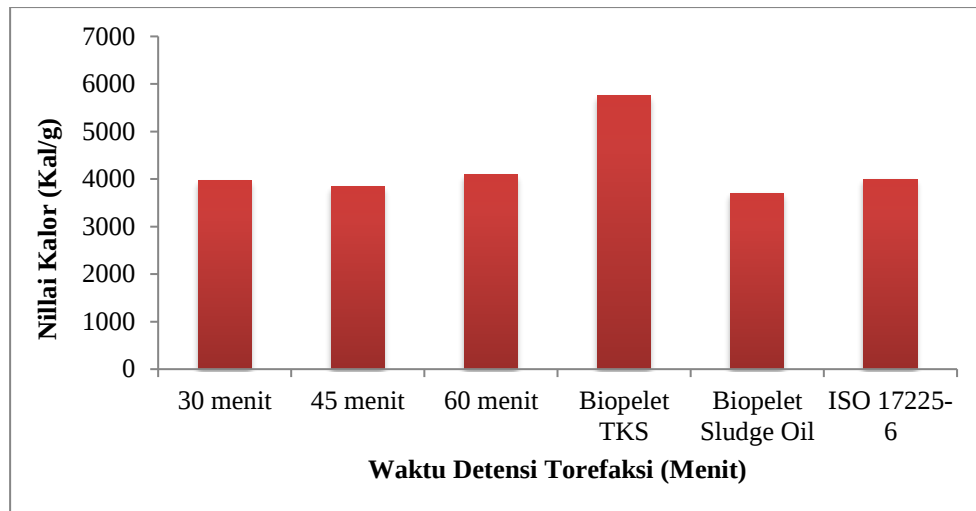


Gambar 3.4 Pengaruh Waktu Detensi Torefaksi terhadap Kadar *Fixed Carbon* Biopellet

Berdasarkan Gambar 4.4 menunjukkan secara umum bahwa semakin lama waktu detensi torefaksi maka kadar *fixed carbon* biopellet akan semakin meningkat. Kadar *fixed carbon* yang didapat pada penelitian ini secara umum telah memenuhi standar ISO 17225-6 yaitu $\geq 77\%$.

B Analisis Nilai Kalor Biopellet

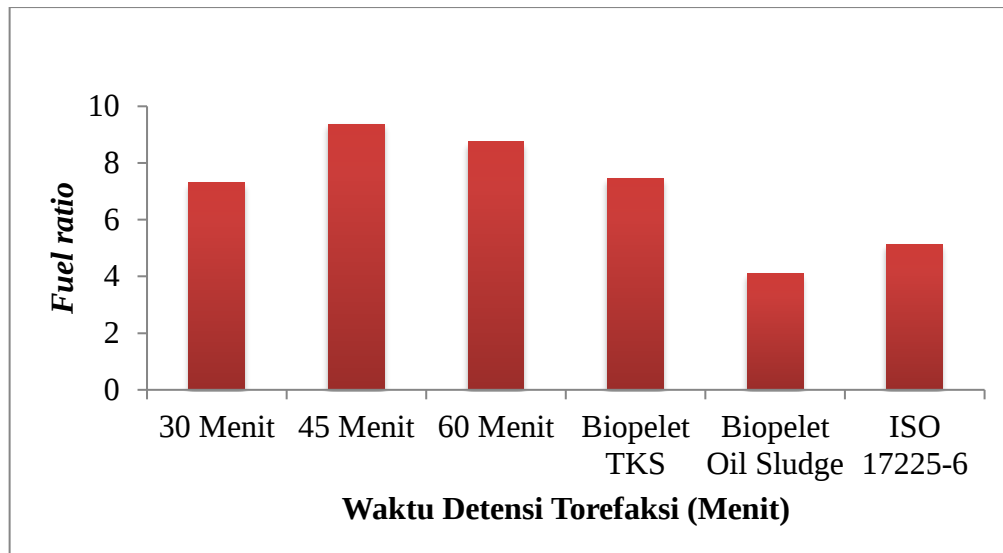
Nilai kalor adalah indikator penting untuk mengevaluasi kualitas bahan bakar padat. Nilai kalor merupakan jumlah energi yang dihasilkan ketika suatu bahan bakar dibakar secara sempurna dalam suatu proses aliran *steady*. Nilai kalor sangat dipengaruhi oleh kadar air, kadar abu, kadar volatil, dan kadar fixed carbon. Nilai kalor dibedakan menjadi *High Heating Value* (HHV) dan *Low Heating Value* (LHV). Pengaruh waktu detensi torefaksi terhadap nilai kalor biopellet dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut.



Gambar 3.5. Pengaruh Waktu Detensi Torefaksi terhadap Nilai Kalor Biopellet

Berdasarkan Gambar 3.5 dapat dilihat bahwa nilai kalor biopellet berbanding lurus dengan waktu detensi torefaksi. Nilai kalor tertinggi pada penelitian ini terdapat pada kondisi waktu detensi torefaksi 60 menit yaitu sebesar 4597,76 kal/gr. Meningkatnya kadar fixed carbon pada suatu bahan disebabkan oleh menurunnya kadar air dan kadar volatil bahan tersebut selama proses torefaksi (Tumuluru dkk, 2010). Pada saat proses torefaksi harus memperhatikan lama waktu tinggal yang mempengaruhi biomassa terhadap degradasi termalnya. Meningkatkan pemanasan membedakan antara pirolisis dengan torefaksi dilakukan dengan cepat. Massa produk padatan menurun dan memiliki energi padatan yang tinggi jika proses waktu tinggal lebih lama. Hasil analisis menunjukkan bahwa sebagian nilai kalor biopellet yang dihasilkan belum memenuhi standar ISO 17225-6 yaitu minimal 4000 kal/gr.

Nilai kalor biopellet hasil penelitian ini lebih rendah dibandingkan dengan nilai kalori biopellet hasil penelitian Cahyono (2019) yaitu 4719,59 kal/gr. Hal ini disebabkan nilai kalori Oil Sludge sebagai co-firing lebih rendah dibandingkan dengan nilai kalori TKS. Sludge Oil murni memiliki nilai kalor sebesar 3.703,16 kal/gr, sedangkan nilai kalori TKS 5.752 kal/gr. Hasil analisis proksimat menunjukkan bahwa biopellet Oil Sludge memiliki kadar air, kadar abu, dan kadar volatil yang lebih rendah serta kadar fixed carbon yang lebih tinggi dari Biopellet TKS. Pengaruh waktu detensi torefaksi terhadap fuel ratio biopellet dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut.

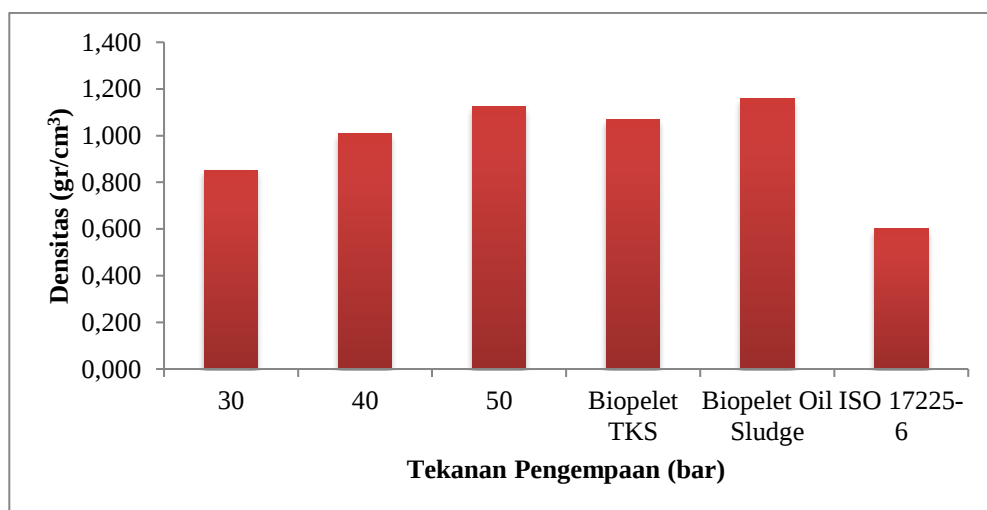


Gambar 3.6. Pengaruh Waktu Detensi Torefaksi terhadap Fuel Ratio Biopellet

Gambar 3.6 merupakan grafik *fuel ratio* biopellet terhadap waktu detensi torefaksi. Secara umum, waktu detensi torefaksi akan menaikkan *fuel ratio* biopellet. *Fuel ratio* merupakan salah satu parameter yang menentukan kualitas bahan bakar padat. Semakin tinggi angka *fuel ratio* maka semakin tinggi pula rank dari bahan bakar padat tersebut. Namun menurut Huseini dkk (2018) *fuel ratio* yang melebihi angka 1,2 akan menyebabkan menurunnya kecepatan pembakaran. Kondisi tersebut memungkinkan suatu bahan bakar padat membutuhkan bahan bakar lain seperti solar pada saat penyalaan awal atau *start up* maupun disaat *shutdown*. *Fuel ratio* biopellet dari penelitian ini berkisar antara 7,32 - 9,37.

3.2.2 Pengaruh Tekanan Pengempaan terhadap Karakteristik Sifat Mekanik Biopellet A Analisis Densitas Biopellet

Densitas adalah suatu besaran pengukuran kerapatan massa setiap satuan volume benda tersebut. Bahan bakar padat yang memiliki densitas tinggi dan baik akan memudahkan dalam penyimpanan namun menurunkan laju pembakaran akibat sedikitnya pori-pori pada bahan bakar tersebut. Pengaruh tekanan pengempaan terhadap densitas biopellet dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut.

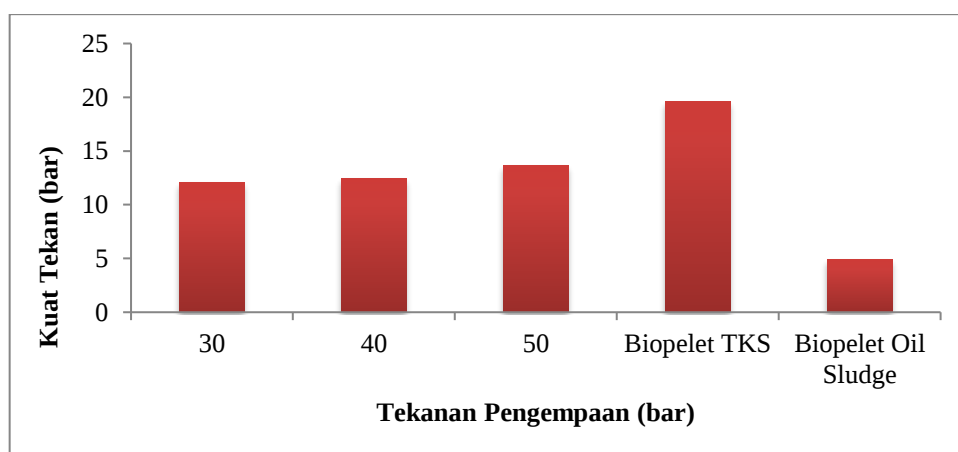


Gambar 3.7 Pengaruh Tekanan Pengempaan terhadap Densitas Biopellet

Gambar 3.7 menunjukkan hasil bahwa semakin besar tekanan pengempaan yang diberikan maka densitas biopellet juga semakin besar. Densitas biopellet hasil penelitian ini dengan berbagai variasi tekanan pengempaan telah melebihi batas minimum standar ISO 17225-6 yaitu $0,6 \text{ gr/cm}^3$. Menurut Mitchual dkk (2013) densitas dari suatu bahan bakar padat dipengaruhi oleh ukuran partikel dan densitas partikel bahan penyusun bahan bakar tersebut. Pada penelitian lain Nasrin dkk (2011) melakukan upaya menaikkan densitas Biopellet TKS dengan cara menambahkan Cangkang Sawit. Cangkang Sawit memiliki densitas yang lebih tinggi sehingga dapat menaikkan densitas dari Biopellet TKS. Begitupun dengan penelitian ini, Oil Sludge yang digunakan sebagai bahan tambahan memiliki densitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan densitas TKS, sehingga dapat meningkatkan densitas biopellet TKS.

B Analisis Kuat Tekan Biopellet

Kuat tekan yang semakin besar akan memudahkan proses transportasi suatu bahan bakar padat. Pengaruh tekanan pengempaan terhadap kuat tekan biopellet dapat dilihat pada Gambar 3.8 berikut.



Gambar 3.8. Pengaruh Tekanan Pengempaan terhadap Kuat Tekan Biopellet

Berdasarkan Gambar 3.8 dapat dilihat bahwa kuat tekan paling besar terdapat pada kondisi pengempaan 50 bar. Tekanan penempaan 50 bar menghasilkan kuat tekan sebesar 13,61 bar. Sedangkan tekanan pengempaan 30 dan 40 bar masing-masing menghasilkan kuat tekan 12,09 dan 12,42 bar. Setiap jenis bahan baku memberikan respon yang berbeda-beda terhadap kuat tekan biopellet. Hasil dari penelitian ini, biopellet TKS memiliki kuat tekan yang lebih besar dibandingkan kuat tekan biopellet Oil Sludge.

Secara teori, hal ini disebabkan oleh meningkatnya sifat adhesi antar partikel karena adanya peningkatan tekanan pengempaan (Tumuluru dkk, 2011). Penelitian yang dilakukan oleh Mitchual dkk (2013) menyatakan bahwa tekanan pengempaan merupakan variabel yang paling signifikan dalam meningkatkan kuat tekan selain jenis biomassa dan ukuran partikel. Setiap jenis biomassa memberikan respon yang berbeda-beda terhadap kuat tekan biopellet. Hasil dari penelitian ini, Biopellet TKS memiliki kuat tekan yang lebih besar dibandingkan kuat tekan Biopellet Oil Sludge. Menurut Stelte dkk (2011) lignin merupakan perekat alami yang dapat meningkatkan kuat tekan dari biopellet. Seperti yang diketahui, kadar lignin pada TKS lebih tinggi sehingga biopellet

dapat merekat sempurna. Menurut Tumuluru dkk (2010) pada proses torefaksi lignin akan mencair dan berfungsi sebagai perekat alami, tahap tersebut disebut sebagai tahap softening (120-150°C).

C Analisis Porositas

Porositas hasil penelitian ini sebesar 13,33%. Menurut Thakur (2017) porositas merupakan perbandingan antara volume ruang yang terdapat diantara partikel berupa pori yang terisi oleh fluida. Porositas biopellet merupakan perbandingan volume pori terhadap volume biopellet yang dinyatakan dalam persen. Porositas bergantung pada jenis bahan, ukuran bahan, dan distribusi partikel. Semakin tinggi tingkat porositas suatu biopellet maka laju pembakarannya semakin cepat namun mengurangi densitas dan kuat tekan biopellet tersebut.

Kesimpulan dan Saran

Terdapat pengaruh waktu detensi torefaksi yang berbanding lurus dengan kenaikan karakteristik proksimat dan nilai kalor biopellet dengan hasil terbaik kadar air 3,35%, kadar abu 8,66%, kadar volatil 9,50%, kadar *fixed carbon* 78,49%, dan nilai kalor 4597,76 kal/gr pada kondisi waktu detensi torefaksi 60 menit. Terdapat pengaruh tekanan pengempaan yang berbanding lurus dengan kenaikan sifat mekanik biopellet dengan hasil terbaik densitas 1,148 gr/cm³, kuat tekan 16,86 bar, dan porositas biopellet 13,33% pada kondisi tekanan pengempaan 50 bar. Pengaruh penambahan Oil Sludge sebagai co-firing mengakibatkan nilai kalor biopellet menjadi lebih rendah dari nilai kalor TKS. Hal ini disebabkan karena nilai kalor oil sludge yang lebih rendah dibandingkan nilai kalor TKS. Adapun saran untuk peneliti selanjutnya yaitu perlu dilakukan pre-treatment untuk mereduksi kadar abu pada biomassa tandan kosong sawit (TKS). Perlu dilakukan dengan tambahan perekat yang baik untuk meningkatkan sifat mekanik biopellet tanpa mengurangi nilai kalornya. Perlu dilakukan dengan menggunakan bahan co-firing lain yang dapat lebih meningkatkan karakteristik biopellet. Perlu diperhatikan sifat higroskopis biopellet dalam proses penyimpanannya.

Daftar Pustaka

- Afifuddin., S., Kusuma., SI. (2007). Analisis Struktur Pasar CPO: Pengaruhnya Terhadap Pengembangan Ekonomi Wilayah Sumatera Utara. Jurnal Perencanaan dan Pengembangan Wilayah. Vol. 2 No. 3. April 2007. Hal 124 – 136.
- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)., (2018). Outlook Energi Indonesia. PPIPE dan BPPT. Jakarta.
- Badan Pusat Statistik (BPS)., (2017). Neraca Energi Indonesia 2012-2016. BPS. Jakarta.
- Bhattacharya., S.C., (1998). Appropriate Biomass Energy Technologies: Issues and Problems. Invited Paper for Seminar on Renewable Energy Sources for Rural Areas, Nadi, Fiji, 20-25 July, 1998.
- Bhavsar., P. A., Jagdale, M. H., Khandetod, Y. P., & Mohod, A. G. (2018). Proximate Analysis of Selected Non Woody Biomass. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 7(09), 2846–2849.
- Cahyono., A. A, (2019). Upgrading Karakteristik Biopellet Tandan Kosong Sawit Dengan Penambahan Buah Bintaro Sebagai Co-Firing. Skripsi. Universitas Riau.
- Mendrofa., E., Komalasari., & Helwani., Z. (2013). Bahan Bakar Padat Dari Tandan Kosong Sawit Menggunakan Proses Torefaksi; Variasi Suhu Dan Ukuran Bahan Baku. JOM FTEKNIK, 4(1).
- Putra., R. D. (2016). Studi Pengaruh Dekomposisi Selulosa dan Lignin Terhadap Nilai Kalor Produk Torefaksi Sampah Kota. Skripsi. Institut Teknologi Bandung.

- Putri., Anggi (2012) dan Sukandar, Studi Pemanfaatan Limbah B3 Sludge Produce Water Sebagai Bahan Baku Refuse Derived Fuel (RDF), Program Studi Teknik Lingkungan Institut Teknologi Bandung.
- Surjosatyo., A. dan F. Vidian., 2004. Studi Co-gasifikasi Tandan Kosong dan Tempurung Kelapa Sawit Menggunakan Gasifier Aliran ke Bawah. Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses, Jakarta. Hal 13-27.
- Susanty., W., Helwani., Z., & Bahrudin., (2019). Optimization of the Condition of Palm Frond Torrefaction Process by Utilizing Liquid Torrefaction Product as Pre-treatment for Improve Product Quality. Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan, 14(1), 12–18. <https://doi.org/https://doi.org/10.23955/rkl.v14i1.13443>
- Thakur., P. (2017). Porosity and Permeability of Coal. In Advanced Reservoir and Production Engineering for Coal Bed Methane (pp. 33–49). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803095-0.00003-X>
- Tumuluru., J. S., Sokhansanj., S., Wright., C. T., & Boardman., R. D. (2010). Biomass Torrefaction Process Review and Moving Bed Torrefaction System Model Development. Idaho: Idaho National Laboratory.
- United Cities and Local Governments (UCLG)., 2015. Tujuan Pembangunan Berkelanjutan yang Perlu Diketahui oleh Pemerintah Daerah. UCLG Asia-Pacific. Jakarta.
- Zulfian., Diba., F., Setyawati., D., Nurhaida., & Roslinda., E. (2015). The Quality of Biopellet from Oil Palm Trunk Waste with Different Size of Particle and Adhesives. Jurnal Hutan Lestari, 3(2), 208–216.