



Studi Pendahuluan Pemanfaatan Sludge IPAL Industri Tekstil Sebagai Bahan Baku Briket

Study of Utilization Textile Industry Sludge from WWTP as Raw Material for Briquettes

DINI RAHMAULINA¹, ETIH HARTATI^{1*}, DYAH MARGANINGRUM²

¹Institut Teknologi Nasional Bandung, Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan

²Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

*etih@itenas.ac.id

ARTICLE INFO

Article history:

Received 4 January 2021

Accepted 13 December 2021

Published 23 January 2022

Keywords:

Sludge

Briquette

Bottom ash

ABSTRACT

The sludge textile industry was a by-product from wastewater treatment plant (WWTP) categorized as toxic and hazardous waste, sludge (SL) produced every day from WWTP could cause problems in the factory environment, such as reducing the storage space and aesthetic of the factory environment. This study discussed sludge that will be used as raw materials for briquettes. The analysis of the study was based on proximate analysis, calorific value, total sulfur, heavy metals, and slagging and fouling potential, which used method ASTM, AAS, Spectrophotometry and Gravimetry. These sludge briquettes materials were also added with additional raw material: bottom ash (BA); afterwards, it was mixed with sludge, and the compositions were 90%BA:10%SL, 80%BA:20%SL, and 70%BA:30%SL. The characteristic quality of briquettes was compared to Ministry of Environmental Regulation Number 06 of 2021 and Indonesia National Standard Number 4931 of 2010. The analysis of sludge material for briquette had moisture content, ash content, volatile matter, fixed carbon, calorific value, and total sulfur of 2.57%, 7.92%, 4.76%, 13.47%, 1,172 kcal/kg, and 0.98%, respectively. In addition, the slagging and fouling potential indicated moderate and low classification with the impact value index of 0.310 and 0.412, respectively. The study results also showed that the best briquette was a briquette that uses a composition of 70%BA:30%SL. This briquette had a calorific value of 1,473 kcal/kg; however, it has not met the provisions of the Ministry of Environmental and Forestry Regulation Number 06 of 2021 and Indonesia National Standard Number 4931 of 2010.

INFORMASI ARTIKEL

Histori artikel:

Diterima 4 Januari 2021

Disetujui 13 Desember 2021

Diterbitkan 23 Januari 2022

Kata kunci:

Sludge

Briket

Bottom ash

ABSTRAK

Sludge Industri Tekstil merupakan hasil samping dari proses Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang tergolong ke dalam limbah B3, *sludge* (SL) yang dihasilkan dari IPAL dapat menimbulkan masalah berupa berkurangnya ruang penyimpanan *sludge* serta mengganggu estetika lingkungan pabrik. Studi ini membahas *sludge* yang selanjutnya akan digunakan sebagai bahan baku bahan bakar briket. Analisis studi yang akan dikaji yaitu analisis proksimat, nilai kalor, total sulfur, kandungan logam berat serta potensi terjadinya *slagging* dan *fouling* menggunakan metode ASTM, AAS, Spektrofotometri serta Gravimetri. Briket berbahan baku *sludge* kemudian ditambahkan bahan baku tambahan berupa *bottom ash* (BA) yang kemudian dicampur dengan *sludge* pada komposisi 90%BA:10%SL, 80%BA:20%SL, dan 70%BA:30%SL. Kualitas briket tersebut dibandingkan dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 06 Tahun 2021 dan SNI 4931 Tahun 2010. Berdasarkan studi yang dilakukan *sludge* memiliki kandungan kadar air, kadar abu, *volatile matter*, *fixed carbon*, nilai kalor, dan total sulfur secara berturut-turut 2,57%, 7,92%, 4,76%, 13,47%, 1.172 kkal/kg dan 0,98%. Selain itu penggunaan *sludge* terhadap potensi *slagging* dan *fouling* terindikasi sedang dan rendah dengan indeks secara berturut-turut 0,310 dan 0,412. Berdasarkan studi, briket terbaik terdapat pada briket dengan komposisi 70%BA:30%SL dengan nilai kalor sebesar 1.473 kkal/kg namun briket tersebut masih belum memenuhi kualitas yang diharapkan berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 06 Tahun 2021 dan SNI 4931 Tahun 2010.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kekurangan energi merupakan salah satu masalah yang sedang dihadapi oleh negara maju dan negara berkembang termasuk Indonesia. Kebutuhan energi tersebut akan meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk. Tingkat penggunaan bahan bakar fosil yang tinggi menyebabkan kekhawatiran akan terjadinya kelangkaan bahan bakar di masa depan, sehingga diperlukan pengembangan energi alternatif. Energi alternatif yang dapat dikembangkan antara lain energi matahari, energi angin, energi panas bumi, energi panas laut, dan energi biomassa (Sulistiyanto, 2006).

Banyak penelitian terkait pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi alternatif yang berasal dari berbagai macam limbah (Sulistiyanto, 2006). Salah satu keunggulan energi dari biomassa adalah dapat dimanfaatkan secara kontinyu karena sifatnya dapat diperbaharui. Salah satu limbah yang memiliki potensi untuk dijadikan energi alternatif yaitu *sludge*. *Sludge* merupakan produk samping yang dihasilkan dari suatu Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). IPAL yang terus beroperasi akan mengakumulasi timbulan *sludge* di suatu industri sehingga menimbulkan masalah di lingkungan pabrik yaitu berkurangnya ruang penyimpanan *sludge* yang dapat mengganggu estetika pabrik dan dapat menyebabkan bau tidak sedap.

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 dan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, *Sludge* IPAL dikategorikan sebagai limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) karena mengandung zat, energi, dan/atau komponen lain akibat sifat, konsentrasi dan/atau jumlahnya yang secara langsung maupun tidak langsung dapat mencemari dan/atau merusak lingkungan hidup, kesehatan, serta kelangsungan hidup manusia, dan makhluk hidup lain.

Meskipun sebagai Limbah B3, bukan berarti *sludge* tidak memiliki potensi untuk dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif. Konsep *Refuse Derived Fuel* (RDF) telah banyak diaplikasikan. Konsep RDF adalah membuat bahan bakar yang berasal dari berbagai limbah padat kota (*Municipal Solid Waste*), limbah industri atau limbah komersial yang dilakukan dengan memanfaatkan bagian yang mudah terbakar untuk dijadikan bahan bakar pada suatu pembakaran (EPA United States, 2019). Atas dasar ini maka kandungan biomassa yang ada dalam *sludge* IPAL perlu diteliti untuk dapat dimanfaatkan sebagai RDF dalam bentuk briket. Briket merupakan sebuah blok bahan yang dapat dibakar dan digunakan sebagai bahan bakar untuk memulai dan mempertahankan nyala api. *Sludge* yang dikaji yaitu *sludge* industri tekstil.

Pemanfaatan *sludge* sebagai bahan baku bahan bakar briket telah banyak dilakukan di Indonesia, antara lain briket yang terbuat dari *sludge* lumpur kawasan industri serta domestik dengan campuran serbuk gergaji kayu yang memiliki nilai kalor 4.366,8 kkal/kg, dan briket *sludge* lumpur kawasan industri (PT. SIER) dengan campuran komposit kulit kopi serta sampah plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*) dengan nilai kalor 5.416,28 kkal/kg (Bimantara & Hidayah, 2019; Sudarsono & Warmadewanthi, 2010). Selain di Indonesia, pemanfaatan *sludge* juga dilakukan di Brazil

menggunakan *sludge* industri tekstil dengan penambahan residu dari industri tekstil yang menghasilkan briket dengan nilai kalor sebesar 4.335,05 kkal/kg (Avelar et al., 2016).

Pemanfaatan *sludge* IPAL sebagai bahan baku bahan bakar sudah pernah dilakukan, namun untuk *sludge* IPAL dari industri tekstil belum banyak digunakan. *Sludge* IPAL dari industri tekstil dengan sistem pengolahan biologis mengandung kadar bahan yang mudah terbakar (*volatile matter*) tinggi sehingga memiliki potensi yang cukup besar untuk digunakan sebagai bahan baku bahan bakar. Kesesuaian *sludge* sebagai bahan bakar akan dibandingkan terhadap Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 06 Tahun 2021 Tentang Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (PerMenLHK 06/2021). Pemanfaatan *sludge* IPAL industri tekstil menjadi bahan baku bahan bakar diharapkan dapat mengurangi permasalahan lingkungan yang disebabkan oleh timbulan *sludge* IPAL. (Republik Indonesia, 2021a)

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan studi ini untuk mengetahui potensi *sludge* industri tekstil sebagai bahan baku bahan bakar padat (briket) yang sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 06 Tahun 2021 tentang Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun. Kandungan logam berat pada *sludge* dan potensi *slagging* serta *fouling* dari briket *sludge* juga dikaji dalam studi ini.

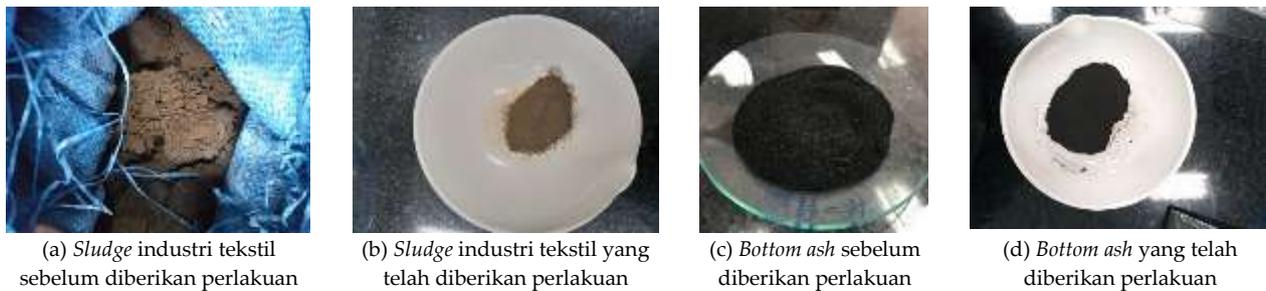
2. BAHAN DAN METODE

2.1 Bahan dan Alat

2.1.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini merupakan *sludge* IPAL salah satu industri tekstil yang berada di Kabupaten Bandung. *Sludge* yang digunakan berasal dari *belt press*. *Sludge* yang digunakan untuk analisis proksimat dan makro elemen sebelumnya dilakukan perlakuan berupa pengeringan menggunakan oven pada suhu 105 °C selama 24 jam yang selanjutnya dilakukan proses *grinding* dan diayak sehingga *sludge* memiliki kehalusan sebesar 60 mesh (Saputra & Gany, 2015), *sludge* yang digunakan dalam studi ini dapat dilihat pada Gambar 1.

Bahan lain yang digunakan selain *sludge* yaitu *bottom ash* yang berasal dari sisa pembakaran *boiler* di industri tekstil tersebut. Penambahan *bottom ash* digunakan untuk menambahkan kandungan karbon untuk meningkatkan kualitas briket. Bahan penolong yang ditambahkan untuk merekatkan briket berbahan baku *sludge* dan *bottom ash* yaitu dengan menambahkan perekat berupa kanji. Kanji yang ditambahkan yaitu sebesar 2–2,5% dari berat total bahan baku briket yang digunakan. Pengukuran analisis proksimat dan makro elemen pada *bottom ash* yang sebelumnya telah diberi perlakuan berupa proses *grinding* dan pengayakan sehingga *bottom ash* memiliki kehalusan sebesar 100 mesh (Saputra & Gany, 2015), *bottom ash* yang digunakan dalam studi ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bahan baku yang digunakan

2.1.2 Alat

Studi ini menggunakan parameter proksimat, total sulfur, dan makro elemen pada bahan baku yang digunakan untuk pembuatan briket. Untuk melakukan pengukuran dan analisa parameter-parameter tersebut, menggunakan alat-alat sebagai berikut:

1. *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) AA-7000 SHIMADZU dengan nomor seri A10936205113 di Laboratorium Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI Bandung,
2. Spektrofotometer UVmini-1240 SHIMADZU dengan nomor seri A10936205113 di Laboratorium Pusat Penelitian Geoteknologi Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN).
3. *Bomb calorimeter* untuk pengukuran nilai kalor di Laboratorium TekMIRA.
4. *Furnace* untuk pengukuran analisis proksimat, makro elemen dan logam berat.
5. Oven untuk pengukuran analisis proksimat.

Pembuatan briket menggunakan dua mesin yang dirakit secara manual (bukan keluaran pabrik/manufaktur) dengan kapasitas 10–15 kg per 15–20 menit, yaitu:

1. Mesin pengaduk (untuk mencampur bahan baku sampai homogen).
2. Mesin pencetak briket. Kedua mesin ini dirakit secara manual (bukan keluaran pabrik/manufaktur).

2.2 Metode

Langkah awal dalam studi ini adalah melakukan karakterisasi sampel yang digunakan yaitu *sludge* dan *bottom ash*. Karakterisasi awal sampel meliputi analisis proksimat, ultimat, dan nilai kalor. Analisis proksimat merupakan pengujian yang mencakup pengukuran kadar air, kadar abu, *volatile matter*, dan *fixed carbon* menggunakan metode ASTM (ASTM D3173, ASTM D3174, ASTM D3175, dan ASTM D3172). Analisis ultimat dilakukan untuk mengukur persentase dari C (*carbon*), S (*sulfur*), H (*hydrogen*), N (*nitrogen*), dan O (*oxygen*). Namun dalam penelitian ini hanya dilakukan analisis ultimat sampel terhadap *sludge* dan *bottom ash* untuk total sulfur saja karena total sulfur merupakan salah satu syarat ketentuan pemanfaatan limbah B3 sebagai substitusi bahan bakar pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 06 Tahun 2021. Metode yang digunakan untuk mengukur kandungan total sulfur yaitu metode ASTM

D5865. Pengukuran lainnya yang dilakukan yaitu pengukuran nilai kalor menggunakan metode ASTM D4239. Nilai kalor merupakan panas yang dihasilkan dari pembakaran yang dijelaskan dalam bentuk kalor yang terdapat pada suatu bahan (Speight, 2005). Analisis proksimat, ultimat, dan nilai kalor dilakukan di laboratorium TekMIRA.

Studi ini juga melakukan analisis potensi *slagging* dan *fouling* yang dapat menyebabkan pergerakan pada *boiler* menggunakan metode Babcock and Wilcox yang dilakukan di Laboratorium Pusat Penelitian Geoteknologi-BRIN (Al-Latif et al ., 2019). Potensi *slagging* dan *fouling* dilakukan dengan pengukuran makro elemen untuk mengetahui komposisi unsur makro yang terdapat pada suatu sampel dalam bentuk senyawa oksida yaitu Fe_2O_3 , MnO, MgO, CaO, K_2O , Al_2O_3 , Na_2O , SiO_2 , P_2O_5 , dan TiO_2 menggunakan peleburan Na_2CO_3 dan peleburan HF. Kandungan makro elemen diukur pada sampel *sludge* dan *bottom ash*. Metode Babcock and Wilcox mengelompokkan abu menjadi dua jenis abu yaitu abu bituminous dan abu lignit, penentuan tersebut dilakukan dengan persamaan berikut:

- Abu tipe bituminous $\rightarrow \text{CaO} + \text{MgO} < \text{Fe}_2\text{O}_3$
- Abu tipe lignit $\rightarrow \text{CaO} + \text{MgO} > \text{Fe}_2\text{O}_3$

Setelah penentuan jenis abu dilakukan perhitungan *base acid ratio*, indeks *slagging* dan indeks *fouling*. Perhitungan serta penentuan indeks dari *base acid ratio*, *slagging* dan *fouling* dapat dilihat pada Tabel 1.

Sampel *sludge* dilakukan pengukuran tambahan berupa pengukuran kandungan logam berat, pengukuran kandungan logam berat dilakukan karena *sludge* tergolong sebagai limbah B3 sehingga diperlukan pengukuran kandungan logam berat. Logam berat yang diukur antara lain Tembaga (Cu), Timbal (Pb), Zinc (Zn), Nikel (Ni), Kromium (Cr), Kobalt (Co), Kadmium (Cd), dan Mangan (Mn) karena jenis logam berat tersebut paling umum terdapat pada *sludge* tekstil (Avelar et al ., 2016). Kandungan logam berat diukur menggunakan metode AAS yang dilakukan di Laboratorium Kimia Pusat Penelitian Geoteknologi-BRIN.

Sampel yang telah dilakukan karakterisasi awal kemudian dilakukan eksperimen pembuatan briket yang terbuat dari *sludge* (SL) yang ditambahkan bahan baku *bottom ash* (BA) menggunakan alat pengaduk dan pencetak briket kemudian briket yang telah dibuat diberi kode berupa BBS (Briket *Bottom Ash & Sludge*). Variasi briket beserta komposisi *bottom ash* dan *sludge* pada briket BBS yang dibuat dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Persamaan dan Indeks *Base Acid Ratio*, *Slagging* dan *Fouling* Berdasarkan Metode Babcock and Wilcox

Nama	Persamaan	Approximate range
<i>Base to Acid Ratio</i>	$B/A = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + Na_2O + K_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$	R < 0,5 rendah R > 0,5 sedang–sangat tinggi
Abu Tipe Bituminus		
Indeks <i>Slagging</i>	$R_s = (B/A) \times \%S$	$R_s < 0,6$ rendah $R_s = 0,6-2,0$ sedang $R_s = 2,0-2,6$ tinggi $R_s > 2,6$ sangat tinggi
Indeks <i>Fouling</i>	$R_f = R \times \%Na_2O$	$R_f < 0,2$ rendah $R_f = 0,2-0,5$ sedang $R_f = 0,5-1,0$ tinggi $R_f > 1,0$ sangat tinggi
Abu Tipe Lignit		
Indeks <i>Slagging</i>	$R_s = [(Max HT) + 4(Min IT)]/5$	$R_s > 1.340$ rendah $R_s = 1.230-1.340$ sedang $R_s = 1.150-1.230$ tinggi $R_s < 1.150$ sangat tinggi
Indeks <i>Fouling</i>	$CaO + MgO + Fe_2O_3 > 20\%$	$R_f < 3$ rendah–sedang $3 < R_f < 6$ tinggi $R_f > 6$ sangat tinggi
	$CaO + MgO + Fe_2O_3 < 20\%$	$R_f < 1,2$ rendah–sedang $1,2 < R_f < 3$ tinggi $R_f > 3$ sangat tinggi

Tabel 2. Variasi briket *sludge* dan *bottom ash*

Sampel	Bottom Ash (BA)	Sludge (SL)
BBS1	90%	10%
BBS2	80%	20%
BBS3	70%	30%

Tabel 3. Karakteristik *sludge* industri tekstil

Sampel	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)	Kadar Volatil (%)	Fixed Carbon (%)	Nilai Kalor (kkal/kg)	Total Sulfur (%)
<i>Sludge</i>	2,57	79,2	4,76	13,47	1.172	0,98

Briket yang telah dibuat kemudian dilakukan karakterisasi kembali berupa analisis proksimat (kadar air, kadar abu, *volatile matter*, dan *fixed carbon*), total sulfur, dan nilai kalor menggunakan metode ASTM yang dilakukan oleh Laboratorium TekMIRA. Hasil pengukuran karakterisasi tersebut kemudian dibandingkan kualitasnya terhadap Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 06 Tahun 2021 dan SNI 4931 Tahun 2010.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Awal Sludge Industri Tekstil

Sludge industri tekstil berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup termasuk ke dalam limbah B3 dengan kode B321-8 dengan kategori bahaya dua dan berasal dari limbah spesifik umum. Kualitas *sludge* apabila ditinjau berdasarkan analisis proksimat (kadar air, kadar abu, *fixed carbon*, dan *volatile matter*), nilai kalor serta kandungan total sulfur dapat dilihat pada Tabel 3.

Kadar air yang tinggi akan mempengaruhi kualitas bahan bakar padat. Tabel 3 menunjukkan bahwa kadar air

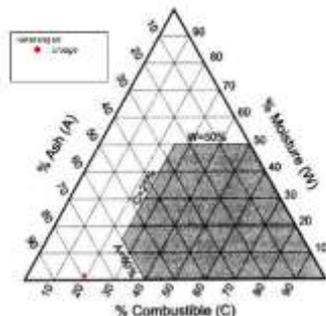
yang terkandung pada *sludge* yaitu sebesar 2,57%. Nilai kadar air ini sudah sesuai dengan persyaratan (< 15%). Proses pengeringan dilakukan pada *sludge* yang akan digunakan dalam studi ini. Tanpa pengeringan, *sludge* IPAL yang digunakan memiliki kadar air yang sangat tinggi yaitu sekitar 80–90%. Ditinjau dari kadar abu yang terdapat pada *sludge* tergolong tinggi yaitu sebesar 79,2%, kandungan kadar abu yang tinggi dapat berpotensi terbentuknya pengerakan pada *boiler* yang umum disebut sebagai *slagging* dan *fouling*. Kadar abu yang tinggi juga dapat menurunkan kualitas briket (Faizal et al ., 2015; Miharja, 2018; Speight, 2005). Nilai kalor pada *sludge* hanya sebesar 1.172 kkal/kg. Nilai kalor ini lebih rendah dibandingkan *sludge* industri tekstil yang berada di Ethiopia dan Brazil yang berturut-turut memiliki nilai kalor 1.820 kkal/kg dan 5.210 kkal/kg (Avelar et al ., 2016; Gebremedhin, 2018). Karakteristik *sludge* IPAL industri tekstil yang berkategori sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (LB3), kemudian dibandingkan dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 06 Tahun 2021 untuk mengetahui kelayakannya sebagai bahan baku bahan bakar. Hasil perbandingan tersebut ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan karakteristik *sludge* IPAL industri tekstil dengan PerMenLHK 06/2021

No	Keterangan	PerMenLHK 06/2021	Hasil Pengukuran	Keterangan
1.	Kandungan kalori*	≥ 2.500 kkal/kg	1.172 kkal/kg	Tidak memenuhi
2.	Kandungan Total Organik Halogen/TOX (jumlah organik chlor dan fluor)	Paling tinggi 2%	Tidak dilakukan pengukuran	-
3.	Kandungan Sulfur	Paling tinggi 1%	0,98%	Memenuhi
4.	Kadar Air	≤ 15%	2,57%	Memenuhi

Keterangan: *Air Dried Basis

Perbandingan dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 06 Tahun 2021 tidak dilakukan pengukuran senyawa halogen. Kandungan kalori pada *sludge* masih belum memenuhi ketentuan. Sebaliknya kadar air dan kandungan sulfur telah memenuhi ketentuan yang berlaku. Selain kadar air, nilai kalor dipengaruhi oleh faktor lain yaitu kadar abu dan *volatile matter* yang dapat ditentukan menggunakan diagram Tanner (Taşpınar & Uslu, 2018). Berdasarkan diagram Tanner, jika suatu bahan masuk ke dalam zona abu maka bahan bakar tersebut dapat dibakar tanpa bahan bakar tambahan (Taşpınar & Uslu, 2018). Berdasarkan Gambar 2, *sludge* tidak masuk ke dalam zona abu yang berarti *sludge* tidak dapat dibakar tanpa bahan bakar tambahan. Meskipun *sludge* memiliki kadar air yang rendah namun kandungan karbon yang terkandung dalam *sludge* tidak cukup untuk melakukan proses pembakaran tanpa bahan bakar tambahan.

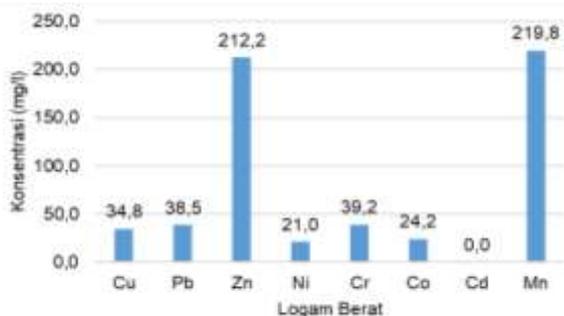


Gambar 2. Kualitas *sludge* menggunakan diagram Tanner

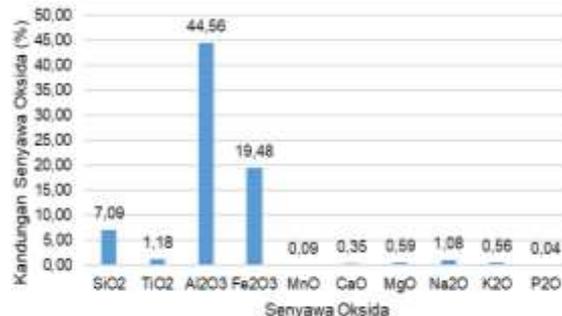
Gambar 3 menunjukkan kandungan logam berat dan makro element dalam *sludge* yang digunakan pada studi ini. Kandungan logam berat tertinggi adalah mangan (Mn) dan seng (Zn). Logam berat lainnya yang terdeteksi adalah

tembaga (Cu), krom (Cr), kobalt (Co), dan nikel (Ni). Keberadaan logam berat tersebut dapat dipengaruhi oleh penambahan kandungan bahan pewarna saat proses pewarnaan. Pewarna yang digunakan di industri tekstil tersebut merupakan pewarna dispersi yang mengandung logam kompleks Cr, Cu, Co, dan Ni (Zille, 2005). Kandungan logam berat dalam *sludge* industri tekstil lebih banyak dibandingkan dengan kandungan logam berat pada *sludge* industri tekstil yang berada di Brazil dan Bangladesh. *Sludge* industri tekstil di Bangladesh mengandung Cu, Zn, Fe dan Pb, sedangkan logam berat dalam *sludge* industri tekstil di Brazil terdapat Cu, Zn, Fe dan Mn. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh jenis penggunaan zat pewarna (Avelar et al., 2016; Gebremedhin, 2018). Kandungan logam berat tersebut kemudian dibandingkan dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 06 Tahun 2021 sebagai persyaratan teknis khusus untuk pemanfaatan limbah B3 sebagai substitusi sumber energi. Perbandingan kandungan logam berat *sludge* dengan PerMenLHK 06/2021 dapat dilihat pada Tabel 5.

Gambar 3 juga menunjukkan senyawa yang mendominasi pada abu *sludge*, yaitu Al₂O₃ dan Fe₂O₃ dengan nilai secara berturut-turut 44,66% dan 19,48%. Kandungan Al₂O₃ dan Fe₂O₃ yang tinggi dapat disebabkan oleh proses koagulasi dan presipitasi yang ada pada IPAL (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003). Pihak industri menggunakan bahan koagulan yang mengandung senyawa FeCl₃, Fe(SO₄)₃, FeSO₄.7H₂O dan Na₂Al₂O₄. Komposisi kimia yang ada pada *sludge* industri tekstil di Bangladesh juga menunjukkan kandungan tertinggi yang terdapat pada *sludge* industri tekstil yaitu Al₂O₃ (Gebremedhin, 2018). Optimalisasi pemakaian koagulan [Al₂(SO₄)₃] dalam proses pengolahan air limbah perlu dilakukan untuk menekan kandungan aluminium pada *sludge* yang dihasilkan dari IPAL.



(a) Kandungan logam berat pada *sludge* industri tekstil



(b) Makro elemen pada *sludge* IPAL industri tekstil

Gambar 3. Kandungan logam berat dan makro elemen pada *sludge* IPAL industri tekstil

Tabel 5. Perbandingan kandungan logam berat *sludge* IPAL industri tekstil dengan PerMenLHK 06/2021

No	Parameter Total Konsentrasi	PerMenLHK 06/2021	Hasil Pengukuran	Keterangan
1.	Arsen, As	≤ 5 mg/l	-	Tidak dilakukan pengukuran
2.	Kadmium, Cd	≤ 2 mg/l	0 mg/l	Memenuhi
3.	Kromium, Cr	≤ 10 mg/l	39,2 mg/l	Tidak memenuhi
4.	Timbal, Pb	≤ 100 mg/l	38,2 mg/l	Memenuhi
5.	Merkuri	≤ 1,2 mg/l	-	Tidak dilakukan pengukuran

3.2 Karakteristik *Bottom Ash*

Bottom ash yang digunakan merupakan *bottom ash* yang berasal dari pembakaran batubara di industri tekstil. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 menggolongkan *Bottom ash* sebagai limbah B3 yang berasal dari sumber spesifik khusus dengan kode B410 dan berkategori bahaya 2 (dua). Hasil analisis proksimat, nilai kalor dan total sulfur *bottom ash* yang digunakan dalam studi ini ditampilkan pada Tabel 6.

Bottom ash yang diukur memiliki kadar abu yang tinggi dan berpotensi menyebabkan terjadinya *slagging* dan *fouling* dalam *boiler*. Perbandingan karakteristik *bottom ash* dengan kriteria kualifikasi limbah B3 sebagai bahan baku bahan bakar pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 06 Tahun 2021 ditampilkan pada Tabel 7. Dalam studi ini, kriteria kandungan senyawa halogen diabaikan karena tidak dilakukan pengukuran.

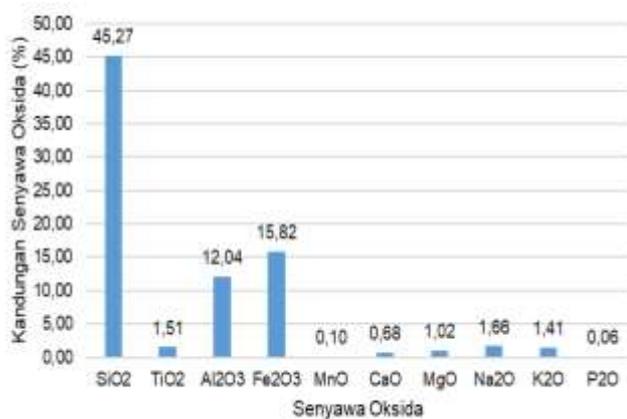
Tabel 6. Karakteristik *bottom ash*

Sampel	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)	Kadar Volatil (%)	Fixed Carbon (%)	Nilai Kalor (kkal/kg)	Total Sulfur (%)
<i>Bottom ash</i>	2,58	78,49	5	13,93	1.244	0,85

Tabel 7. Perbandingan Karakteristik *Bottom Ash* dengan PerMenLHK 06/2021

No	Keterangan	PerMenLHK 06/2021	Hasil Pengukuran	Keterangan
1.	Kandungan kalori*	≥ 2.500 kkal/kg	1.244 kkal/kg	Tidak memenuhi
2.	Kandungan Total Organik Halogen/TOX (jumlah organik chlor dan fluor)	Paling tinggi 2%	Tidak dilakukan pengukuran	-
3.	Kandungan Sulfur	Paling tinggi 1%	0,85%	Memenuhi
4.	Kadar Air	≤ 15%	2,58%	Memenuhi

Keterangan: *Air Dried Basis



Gambar 4. Makro elemen pada *bottom ash*

Dari Tabel 7 dapat dilihat bahwa kandungan kalori pada *bottom ash* masih belum memenuhi Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 06 Tahun 2021 namun untuk kadar air dan total sulfur telah memenuhi ketentuan tersebut. Berdasarkan Gambar 4 kandungan senyawa yang mendominasi yaitu SiO₂, Fe₂O₃ dan Al₂O₃ (45,72%; 15,82%; dan 12,04%). Hal ini dikarenakan komposisi utama dari *bottom ash* yaitu berupa senyawa oksida yang mengandung silika (SiO₂), aluminium (Al₂O₃), besi (Fe₂O₃), kalsium (CaO), natrium (Na₂O) dan magnesium (MgO) sehingga kandungan dari silika, besi dan aluminium paling banyak ditemukan pada *bottom ash* (Slamet & Gunawam, 2016), hal ini juga serupa dengan komposisi dari *bottom ash*

yang diukur dari unit *fixed bed downdraft gasifier* di Puslitbang tekMIRA Bandung (Al-Latif et al ., 2019) yaitu komposisi tertinggi terdapat pada SiO₂ sebesar 55,09%.

3.3 Potensi *Slagging* dan *Fouling*

Indeks *slagging* dan *fouling* pada *bottom ash* digunakan untuk menentukan kemungkinan terjadinya pengerakan pada *boiler*. Potensi pengerakan tersebut dapat dilihat menggunakan komposisi senyawa oksida yang terkandung pada abunya. Tabel 2 dan Tabel 4 menunjukkan kandungan abu pada *sludge* dan *bottom ash* tergolong tinggi sehingga diperlukan perhitungan potensi *slagging* dan *fouling*.

Menurut metode Babcock and Wilcox, bahan baku *sludge* dan *bottom ash* tergolong ke dalam abu jenis bituminous hal ini dikarenakan kandungan CaO + MgO < Fe₂O₃. Rekapitulasi dari indeks *slagging* dan *fouling* dari bahan baku *sludge* dan *bottom ash* dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 menyatakan potensi terjadinya *slagging* pada *boiler* tergolong rendah namun potensi terjadinya *fouling* tergolong tinggi. Hal ini dapat terjadi karena kandungan senyawa basa pada komposisi abu tinggi yang disebabkan karena kandungan Na₂O yang tinggi (Prameswari, 2017). Selain itu Gambar 3 dan Gambar 4 menunjukkan senyawa basa yang paling berpengaruh terhadap potensi pembentukan *fouling* yaitu senyawa Fe₂O₃. Kandungan Na₂O dan Fe₂O₃ secara berturut-turut 19,48% dan 15,82%.

3.4 Briket Berbahan Baku Sludge dan Bottom Ash

Setelah melakukan analisis karakteristik awal terhadap bahan baku *sludge* dan *bottom ash*, bahan baku tersebut dilakukan percobaan untuk dibuat sebagai briket. Briket yang dibuat dengan tiga variasi yang dapat dilihat pada Tabel 2 dan karakteristik awal dari briket dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 8. Indeks *slagging* dan *fouling* pada *sludge* dan *bottom ash*

Sampel	Alkali (B/A)	Tendency	Indeks <i>fouling</i>	Tendency	Indeks <i>Slagging</i>	Tendency
<i>Sludge</i>	0,420	Rendah	0,310	Sedang	0,412	Rendah
<i>Bottom Ash</i>	0,353	Sedang	0,585	Tinggi	0,299	Rendah

Tabel 9. Karakteristik briket berbahan baku *bottom ash* dan *sludge*

Sampel	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)	Kadar Volatil (%)	Fixed Carbon (%)	Nilai Kalor (kkal/kg)	Total Sulfur (%)
BBS1	3,18	75,86	8,87	12,09	1.296	1,02
BBS2	3,80	73,50	14,07	8,63	1.366	1,18
BBS3	4,78	70,42	18,11	6,69	1.473	1,26

Tabel 10. Perbandingan kualitas briket *bottom ash* dan *sludge* IPAL dengan PerMenLHK 06/2021

No	Keterangan	PerMenLHK 06/2021	Keterangan		
			BBS1	BBS2	BBS3
1.	Kandungan kalori*	≥ 2.500 kkal/kg	1.296	1.366	1.473
2.	Kandungan Total Organik Halogen/TOX (jumlah organik chlor dan fluor)	Paling tinggi 2%	Tidak dilakukan pengukuran		
3.	Kandungan Sulfur	Paling tinggi 1%	1,02	1,18	1,26
4.	Kadar Air	≤ 15%	3,18	3,80	4,78

Keterangan: Tidak Memenuhi Ketentuan ; *Air-Dried Basis

Tabel 11. Perbandingan kualitas briket *bottom ash* dan *sludge* dengan SNI 4931/2010

No	Keterangan	Satuan	SNI 4931/2010		Hasil		
			A	B	BBS1	BBS2	BBS3
1.	Nilai kalor*	kkal/kg	5.000–6.000	4.000–5.000	1.296	1.366	1.473
2.	Kadar belerang total	%	≤1	≤1	1,02	1,18	1,26
3.	Kadar abu	%	≤20	≤20	75,86	73,5	70,42
4.	Kadar air lembab	%	≤17	≤17	3,18	3,80	4,78
5.	Kadar zat terbang	%	Sesuai dengan batubara asal (5%)	Sesuai dengan batubara asal (5%)	8,87	14,07	18,11

Keterangan: Tidak Memenuhi Ketentuan ; *Air-Dried Basis

Berdasarkan Tabel 10 dan Tabel 11, briket berbahan baku *sludge* dan *bottom ash* masih belum memenuhi ketentuan yang berlaku baik berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 06 Tahun 2021 atau SNI 4931/2010. Kandungan kalori masih tergolong rendah karena kadar abu yang tinggi. Kadar abu yang tinggi dapat membentuk kerak saat dilakukan pembakaran (potensi *slagging* dan *fouling*) serta menurunkan nilai kalor briket yang berakibat pada turunnya kualitas briket (Faizal et al., 2015; Miharja, 2018). Kadar abu briket memang tergantung pada kadar abu yang terdapat dari bahan baku yang digunakan dimana kadar abu *sludge* dan *bottom ash* secara berturut-turut 79,2% dan 78,49%. Apabila ditinjau dari nilai kalor yang dihasilkan dari 3 (tiga) variasi briket tersebut, nilai kalor yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan briket berbahan baku *sludge* yang dibuat di Brazil yang memiliki nilai kalor sebesar 5.210,325 kkal/kg hal ini dapat disebabkan dari penambahan bahan baku lain yang digunakan pada pembuatan briket tersebut (Avelar et al., 2016). Selain itu apabila dilihat berdasarkan Gambar 5 (a), penambahan *sludge* secara berturut-turut dapat meningkatkan nilai kalor dan menurunkan kadar abu yang terkandung dalam briket. Hal

Tabel 9 menunjukkan bahwa briket yang memiliki kualitas terbaik adalah BBS3 karena memiliki nilai kalor tertinggi, yaitu sebesar 1.366 kkal/kg. Perbandingan kualitas briket dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 06 Tahun 2021 dan SNI 4931/2010 dapat dilihat pada Tabel 10 dan Tabel 11.

ini sebenarnya tidak sesuai dengan penjelasan teori Miharja (2018) karena secara umum kandungan kadar abu yang tinggi pada briket akan menyebabkan nilai kalor menjadi rendah dan dapat menyebabkan pembentukan kerak (berupa *slagging* dan *fouling*) pada tungku pembakaran.

Gambar 5 (b) menunjukkan semakin bertambah *sludge* yang digunakan dalam briket kandungan kadar air semakin meningkat, sedangkan kandungan nilai kalor pada briket semakin meningkat. Umumnya kandungan kadar air yang semakin banyak pada briket akan menurunkan nilai kalor dikarenakan energi yang seharusnya digunakan untuk pembakaran dijadikan untuk menguapkan air yang terkandung pada briket (Miharja, 2018). Namun demikian, pada briket ini kadar air yang semakin tinggi meningkatkan nilai kalor. Hal ini dapat terjadi karena pengaruh dari faktor-faktor lain, seperti kadar air, kadar abu dan *volatile matter* (Taşpınar & Uslu, 2018). Gambar 6 menunjukkan bahwa meskipun kadar air meningkat nilai kalor dipengaruhi oleh faktor lain yang mempengaruhi keterbakaran suatu bahan yaitu kadar abu, *volatile matter* dan *fixed carbon*. Dengan demikian untuk membuat bahan bakar substitusi dari berbagai bahan perlu memperhatikan komposisi kandungan

kadar air, kadar abu, *volatile matter*, dan *fixed carbon* sehingga komposisi campuran bahan baku berada pada zona abu diagram *tanner*.

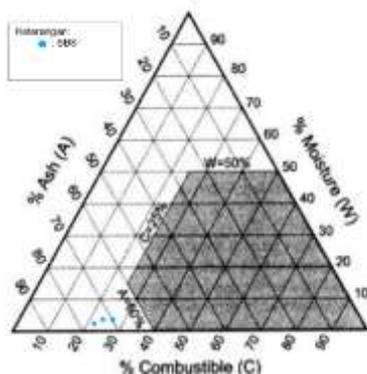


(a) Hubungan briquet BBS dengan kadar abu dan nilai kalor

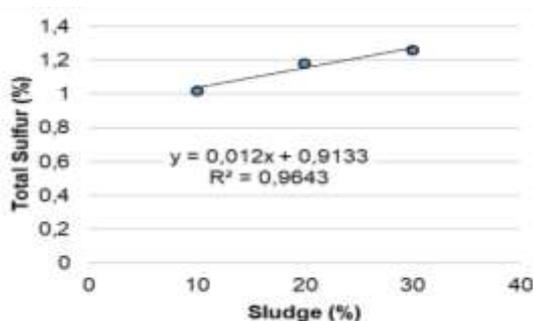


(b) Hubungan briquet BBS dengan kadar air dan nilai kalor

Gambar 5. (a) Hubungan briquet BBS dengan kadar abu dan nilai kalor, (b) Hubungan briquet BBS dengan kadar air dan nilai kalor



Gambar 6. Kualitas briquet dalam diagram Tanner



Gambar 7. Hubungan total Sulfur dengan variasi *sludge* pada briquet BBS

Kandungan total sulfur yang ada pada briquet juga masih belum memenuhi ketentuan dimana kandungan total sulfur masih lebih dari 1%. Kandungan total sulfur yang tinggi dapat

memicu pembentukan korosi serta *slagging* pada alat pembakaran, memicu pembentukan senyawa asam apabila sulfur yang dibakar terkonversi menjadi SO_2 dan berinteraksi dengan air serta oksigen untuk membentuk H_2SO_4 (Saputra & Gany, 2015). Kandungan total sulfur pada briket berasal dari sulfur yang ada pada *sludge* dan *bottom ash* yang tergolong tinggi yaitu 0,98% dan 0,85%. Gambar 7 menunjukkan hubungan antara peningkatan kandungan total sulfur pada penambahan jumlah *sludge* ke dalam briket yang dibuat.

4. KESIMPULAN

Sludge industri tekstil apabila ditinjau sebagai bahan baku bahan bakar dan dibandingkan kualitasnya dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 06 Tahun 2021 masih belum memenuhi ketentuan yang berlaku pada poin nilai kalor dengan nilai kalor 1.172 kkal/kg. Potensi terjadinya *slagging* dan *fouling* dari penggunaan *sludge* sebagai bahan baku bahan bakar tergolong rendah dan sedang dengan indeks *slagging* sebesar 0,412 dan indeks *fouling* 0,310. Potensi terjadinya *slagging* dan *fouling* dengan menggunakan *bottom ash* tergolong rendah dan tinggi dengan indeks *slagging* sebesar 0,299 dan indeks *fouling* 0,585.

Penggunaan *sludge* dan *bottom ash* dapat meningkatkan nilai kalor briket. Hal ini dikarenakan *sludge* memiliki kandungan *volatile matter* tinggi yang berfungsi sebagai zat aktif untuk mempercepat proses pembakaran dan *bottom ash* memiliki kandungan *fixed carbon* tinggi yang mempengaruhi kualitas dari suatu bahan bakar. Berdasarkan hal tersebut maka penggunaan *sludge* dan *bottom ash* sebagai bahan baku pembuatan briket dapat meningkatkan nilai kalor.

Briket yang terbuat dari *sludge* dan *bottom ash* masih belum memenuhi kualitas yang berlaku yang diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 06 Tahun 2021 dan SNI 4931/2010. Hasil studi menunjukkan briket terbaik adalah BBS3 (70% *bottom ash* dan 30% *sludge*) dengan nilai kalor sebesar 1.474 kkal/kg. Dari data tersebut menunjukkan bahwa *sludge* industri tekstil memiliki potensi digunakan sebagai bahan baku bahan bakar briket karena penambahan jumlah *sludge* meningkatkan nilai kalor serta menurunkan kandungan kadar abu pada briket.

Rekomendasi untuk studi selanjutnya yaitu perlu penambahan bahan baku lain untuk meningkatkan nilai kalor *sludge* yaitu dengan meningkatkan kandungan *volatile matter* dan *fixed carbon*. Salah satu bahan yang memiliki kandungan *volatile matter* antara lain biomassa dan yang memiliki kandungan *fixed carbon* antara lain *bottom ash*. Namun demikian perlu dilakukan studi lebih lanjut untuk mendapatkan komposisi yang tepat dari campuran bahan baku yang digunakan dari pembuatan briket. Hal ini disebabkan karena setiap bahan baku dapat memiliki karakteristik atau kandungan proksimat yang berbeda. Sehingga diharapkan pencampuran dari berbagi bahan baku tersebut termasuk dalam zona abu diagram *tanner*.

PERSANTUNAN

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) atas bantuan penelitian, serta terima kasih kepada seluruh staf yang ikut berkontribusi dalam proses pengukuran di Laboratorium BRIN.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Latif, M. L., Solihin, & Sulistyohadi, F. (2019). Kajian potensi pembentukan slagging dan fouling berdasarkan nilai ash fusion temperature dan indeks slagging fouling pada proses gasifikasi batubara menggunakan unit fixed bed downdraft gasifier di Puslitbang tekMira Bandung. *Prosiding Teknik Pertambangan*, 5(2), 391–398.
- Avelar, N. V., Rezende, A. A. P., Carneiro, A. de C. O., & Silva, C. M. (2016). Evaluation of briquettes made from textile industry solid waste. *Renewable Energy*, 91, 417–424.
- Bimantara, S. E., & Hidayah, E. N. (2019). Pemanfaatan limbah lumpur ipal kawasan industri dan serbuk gergaji kayu menjadi briket. *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan*, 5(1), 21–27.
- EPA United States. (2019). What is Refused-Derived Fuel (RDF)? <https://waste.zendesk.com/he/en-us/articles/212349717-What-is-Refuse-Derived-Fuel-RDF>. Accessed 30 December 2020
- Faizal, M., Saputra, M., & Zainal, F. A. (2015). Pembuatan briket bioarang dari campuran batubara dan biomassa sekam padi dan eceng gondok. *Jurnal Teknik Kimia*, 21(4), 28–39.
- Gebremedhin, T. (2018). Textile sludge based bricks production from Hawassa Industrial Park Zero Liquid Discharge Facility. Ethiopia.
- Miharja, M. H. J. (2018). Analisis proksimat potensi briket bioarang sebagai energi alternatif di Desa Kusu, Maluku Utara. *Techno: Jurnal Penelitian*, 5(1), 15–21.
- Prameswari, W. A. (2017). Analisa pembentukan slagging dan fouling pembakaran batubara pada boiler B 0201B Pabrik 3 Unit UBB di PT. Petrokimia Gresik. Surabaya.
- Republik Indonesia. (2009). Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Republik Indonesia. (2021). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 6 Tahun 2021 Tentang Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun. Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan.
- Republik Indonesia. (2021). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Saputra, I. S., & Gany, R. I. (2015). Laboratorium kimia mineral pusat penelitian geoteknologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI). Bandung: Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI).
- Slamet, S., & Gunawam, B. (2016). Biobriket campuran bottom ash batu bara limbah PLTU dan biomassa melalui proses karbonisasi sebagai sumber energi terbarukan. *Prosiding SNATIF*, 43–50.
- Speight, J. G. (2005). *Handbook of coal analysis* (Vol. 166; J. D. Winefordner, Ed.). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Publication.
- Sudarsono, P. E. R., & Warmadewanthi, I. (2010). Eco-briquette dari komposit kulit kopi, lumpur IPAL PT Sier, dan sampah plastik LDPE. *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XI Program Studi MMT-ITS*, 1–9.
- Sulistiyanto, A. (2006). Karakteristik pembakaran biobriket campuran batubara dan sabut kelapa. *Media Mesin*, 7(2), 77–84.
- Taşpınar, F., & Uslu, M. A. (2018). Evaluation of combustibility and energy potential of municipal solid waste: The case of Esenler Municipality. *International Journal of Energy Applications and Technologies*, 5(1), 1–8.
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003). *Wastewater engineering treatment and reuse*. Boston, US: McGraw-Hill Higher Education.
- Zille, A. (2005). Laccase reactions for textile applications. PhD Thesis. Universidade do Minho, Portuga