

## Utilization of BCFS (Biomass Coal Fuel-Sludge) as Substitution of Energy Sources in Industrial Boilers

## Pemanfaatan BCFS (Biomass Coal Fuel-Sludge) Sebagai Substitusi Sumber Energi di Boiler Industri

Danang Nor Arifin <sup>1\*</sup>, Hidawati <sup>2</sup>  
{[danang.na@gmail.com](mailto:danang.na@gmail.com), [dana010@brin.go.id](mailto:dana010@brin.go.id) <sup>1</sup>,  
[hida.ki06@gmail.com](mailto:hida.ki06@gmail.com) <sup>2</sup>}

<sup>1</sup> Pusat Riset Sumber Daya Geologi, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

<sup>2</sup> Pusat Riset Lingkungan dan Teknologi Bersih, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

**Abstract.** *The utilization of coal as an energy source is still the main choice of the textile industry in Indonesia. The process of this utilization left 20% of FABA (fly ash-bottom ash) where 80% of them were bottom ashes which are considered hazardous and toxic waste. This study aims to obtain the technology and production process for treating bottom ash and biomass from urban waste as an alternative energy source and reducing environmental problems (zero waste: waste to energy and waste to material). Biomass Coal Fuel-Sludge (BCFS) Briquettes as a product derived from bottom ash, biomass, and biosludge had a composition of 50%: 30%: 20%. The briquettes utilization can reduce coal use by 16% and increase boiler temperature to 35°C - 75°C. The emission in the trial burning test which were the particulates, sulfur dioxide, and nitrogen dioxide met the quality standards required in the Technical Approval in the Sector of Hazardous Waste Management from the Ministry of Environment and Forestry. With this research, the BCFS briquette products can be a solution to the utilization of B3 waste and waste problems.*

**Keywords** – BCFS; Bottom Ash; Biomass; Biosludge; Briquette

**Abstrak.** *Penggunaan sumber energi dari batubara masih menjadi pilihan utama industri tekstil di Indonesia. Proses pemanfaatan batubara sebagai bahan bakar menyisakan 20% FABA (fly ash-bottom ash) dimana 80% dari FABA tersebut berupa bottom ash. Bottom ash yang dihasilkan dari boiler industri masih dikategorikan sebagai limbah B3. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan teknologi dan produksi proses pengolahan limbah bottom ash serta biomassa dari sampah perkotaan sebagai sumber energi alternatif, sekaligus mengurangi persoalan lingkungan (zero waste: waste to energy dan waste to material). Briket Biomass Coal Fuel-Sludge (BCFS) sebagai produk berasal dari bottom ash, biomassa dan biosludge memiliki komposisi 50% : 30% : 20%. Pemanfaatan briket ini dapat mengurangi penggunaan batubara sebesar 16% dan meningkatkan temperatur boiler 35°C - 75°C. Emisi pada uji coba pembakaran berupa partikulat, sulfur dioksida, dan nitrogen dioksida telah memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan dalam Persetujuan Teknis Bidang Pengelolaan Limbah B3 dari KLHK. Dengan adanya penelitian ini, produk briket BCFS diharapkan dapat menjadi salah satu solusi dalam pemanfaatan limbah B3 dan permasalahan lingkungan.*

**Kata Kunci** – BCFS; Bottom ash; Biomassa; Biosludge; Briket

## I. PENDAHULUAN

Nilai cadangan batubara Indonesia pada tahun 2022 sebesar 34.718 Juta Ton terdiri atas jumlah cadangan terkira sebesar 17.978 Juta Ton dan cadangan terbukti sebesar 16.740 Juta Ton. Sedangkan rata-rata produksi batubara adalah 600 juta ton/tahun sehingga umur cadangan batubara diperkirakan masih 65 tahun [1]. Sebagai sumber energi, batubara diproyeksikan masih berkontribusi signifikan dalam bauran energi nasional untuk mendukung ketahanan energi Indonesia. Melalui Peraturan Pemerintah Nomor 79 tahun 2014 pemerintah telah mendorong penemuan dan pemanfaatan sumber energi alternatif baru dan terbarukan untuk memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat ini. Pada Peraturan Pemerintah tersebut peran batubara minimal 30% pada tahun 2025 dan 25% pada tahun 2050 terhadap total kebutuhan energi nasional [2].

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) memproyeksikan kebutuhan batubara untuk industri tekstil mencapai 8,25 juta ton/tahun. Proses pemanfaatan batubara sebagai bahan bakar menyisakan 20% FABA (*fly ash-bottom ash*) dimana 80% dari FABA tersebut terdiri dari *bottom ash* [3]–[5]. Selama ini *fly ash* dimanfaatkan

sebagai campuran semen, asphalt dan paving blok/batako, sedangkan botom ash belum dimanfaatkan.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah nomor 101 tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Berbahaya dan Beracun, FABA dikategorikan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) kategori 2 [6]. Namun demikian, pada tahun 2021 pemerintah mengeluarkan peraturan baru melalui PP Nomor 22 Tahun 2021 yang menyebutkan jenis limbah batubara (FABA) hasil pembakaran dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dan kegiatan lainnya yang menggunakan teknologi selain *stocker boiler* dan/atau tungku industri dihapus dari kategori limbah B3, sedangkan FABA yang berasal dari industri tekstil masih digolongkan limbah B3 [7].

Penggunaan limbah B3 sebagai substitusi sumber energi/bahan bakar berdasarkan PP Nomor 22 tahun 2021 merupakan pemanfaatan limbah B3, yaitu kegiatan penggunaan kembali (*reuse*), daur ulang (*recycle*), dan/atau perolehan kembali (*recovery*) yang bertujuan untuk mengubah limbah B3 menjadi produk yang dapat digunakan sebagai substitusi bahan baku, bahan penolong, dan/atau bahan bakar yang aman bagi kesehatan manusia dan lingkungan hidup. Pemanfaatan limbah B3 tersebut meliputi: (a) pemanfaatan limbah B3 sebagai substitusi bahan baku, (b) pemanfaatan limbah B3 sebagai substitusi sumber energi, (c) pemanfaatan limbah B3 sebagai bahan baku, (d) pemanfaatan limbah B3 sesuai dengan perkembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK) [7].

Bottom ash masih kaya akan *fixed carbon* (10%-40%), namun sudah tidak dapat dibakar karena kekurangan *volatile matter* (< 7 %). Untuk memanfaatkan bottom ash sebagai sumber energi alternatif diperlukan penambahan materi yang kaya *volatile matter*, seperti biomassa. Di sisi lain, lumpur padat dari WWTP (*Wastewater Treatment Plant*) yang di dalamnya terdapat proses biologi juga dapat dikategorikan sebagai biomassa sehingga bisa digunakan sebagai sumber energi alternatif.

Sebagai sumber energi terbarukan, biomassa telah mendapat perhatian dan dianggap sebagai sumber energi alternatif untuk bahan bakar fosil [8]. Pada proses pembakaran biomassa, CO<sub>2</sub> yang dilepaskan selama pembakaran akan sama dengan CO<sub>2</sub> yang dikonsumsi dalam proses fotosintesis selama pertumbuhan, sehingga tidak meningkatkan akumulasi CO<sub>2</sub> di atmosfer. Dibandingkan dengan penggunaan langsung biomassa sebagai bahan bakar *boiler*, *co-firing* biomassa dan batu bara lebih menarik untuk dilakukan [9].

Metode *co-firing* dapat dilakukan dengan cara mengkombinasikan bakar biomassa dengan bahan bakar lain sehingga memperluas sumber bahan bakar terbarukan yang tersedia untuk menggantikan bahan bakar fosil. Penggunaan campuran biomassa dapat mengurangi CO<sub>2</sub> dari emisi pembangkit listrik dengan biaya lebih rendah. Selain itu, pembangkit listrik yang ada dapat membakar biomassa dan batubara dengan hanya sedikit modifikasi [9]. Penciptaan bahan bakar alternatif melalui program konversi energi yang memungkinkan untuk diupayakan adalah dengan memanfaatkan potensi lokal yang selama ini kurang diperhatikan [5].

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan teknologi dan produksi proses pengolahan limbah *bottom ash*, lumpur padat (*biosludge*) dan biomassa dari sampah perkotaan sebagai sumber energi alternatif, sekaligus mengurangi persoalan lingkungan (*zero waste: waste to energy dan waste to material*). Produk yang dihasilkan dalam penelitian ini berupa briket Biomass Coal Fuel-Sludge (BCFS). BCFS merupakan bahan bakar alternatif sebagai substitusi batubara yang digunakan pada *boiler* industri, terbuat dari produk samping pembakaran batubara berupa *bottom ash/unburnt carbon* yang ditambah dengan *biosludge* dan biomassa yang berasal dari sampah perkotaan yang telah melalui serangkaian proses kemudian dicetak menjadi bentuk briket.

#### A. Bottom Ash

Bottom ash merupakan bagian dari sisa pembakaran batubara yang tidak mudah terbakar di pembangkit listrik, boiler, tungku atau insinerator. Komposisi dari bottom ash terdiri dari abu hasil pembakaran yang berada di dasar boiler, terak dari proses reduksi oksidasi mineral logam dan non logam yang terkandung dalam batubara dan sisa batubara yang tidak terbakar (*unburnt carbon*), sehingga bottom ash tersebut masih mempunyai nilai kalor yang dapat dimanfaatkan. Dalam penelitian ini digunakan *unburnt carbon* yang merupakan bagian dari bottom ash yang memiliki nilai *fix carbon* yang cukup tinggi. *Unburnt carbon* dihasilkan dari sisa pembakaran batubara yang tidak sempurna dikarenakan kekurangan *volatile matter*. Dengan memiliki *fix carbon* yang cukup tinggi maka *unburnt carbon* ini akan dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan BCFS sebagai alternatif substitusi batubara pada boiler.

#### B. Biosludge (Lumpur)

*Sludge* merupakan lumpur yang dihasilkan dari sistem pengolahan air limbah. *Sludge* IPAL dibedakan atas lumpur kimia-fisika dan lumpur biologi. Lumpur kimia-fisika berasal dari pemisahan hasil perlakuan proses kimia dan fisika, sedangkan lumpur biologi berasal dari perlakuan biologi atau disebut *biosludge* [10]. Pada penelitian ini digunakan *biosludge* sebagai bahan baku pembuatan briket BCFS.

## II. METODE

### A. Tempat dan Waktu Penelitian

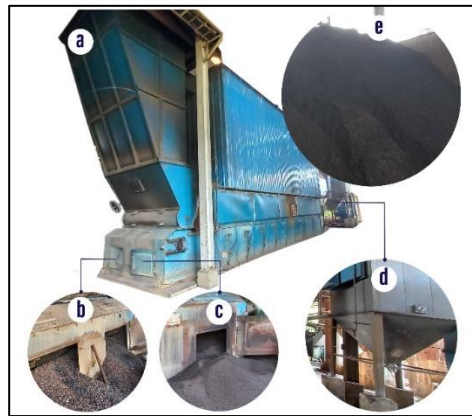
Penelitian ini dilakukan pada bulan Desember 2021 hingga Mei 2022. Kegiatan penelitian dilakukan di industri

tekstil di Kabupaten Bandung, sedangkan analisis dilakukan di laboratorium Karakteristik Lanjut Cisitru BRIN dan laboratorium (Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara) PUSLITBANG TEKMIIRA Kementerian ESDM.

## B. Bahan Baku

Bahan baku briket *Biomass Coal Fuel-Sludge* (BCFS) yang digunakan dalam penelitian ini adalah *bottom ash/unburnt carbon* yang berasal dari boiler industri tekstil di Kabupaten Bandung, *biosludge* (lumpur padat) yang berasal dari Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) industri tekstil di Kabupaten Bandung, biomassa yang berasal dari TPS 3R di Pusat Daur Ulang (PDU) Kabupaten Bandung serta menggunakan bahan perekat berupa tepung kanji (amilum) yang dibeli di pasar tradisional Kabupaten Bandung dan air.

*Unburnt carbon* (UC) yang digunakan untuk membuat briket BCFS berasal dari tiga sumber, yaitu: *Cyclon Boiler Steam*, *dumper boiler oli* dan *dumper boiler steam* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Sumber *unburnt carbon* yang digunakan dalam penelitian (a) boiler, (b) dumper boiler oil, (c) dumper boiler steam, (d) cyclone boiler stream, (e) *unburnt carbon*

Adapun *biosludge* yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari pengolahan air limbah secara biologi di industri tekstil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



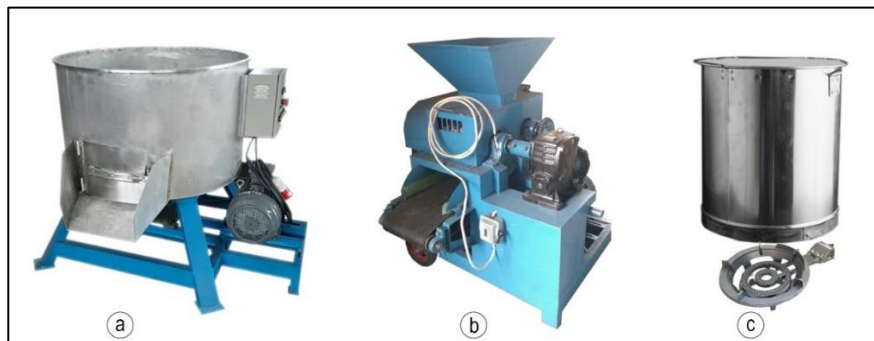
**Gambar 2.** Sumber *biosludge* yang digunakan dalam penelitian

Biomassa yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari hasil pengolahan sampah domestik dari sampah TPS 3R di Pusat Daur Ulang (PDU) Kabupaten Bandung. Biomassa yang dihasilkan oleh di PDU Kabupaten Bandung berasal dari sampah rumah tangga yang terdiri atas sampah organik, seperti sisa makanan, daun, dan ranting, anorganik non plastik seperti kertas dan kain dan plastik. Biomassa yang digunakan ini telah melalui serangkaian proses hingga siap digunakan untuk bahan baku pembuatan briket BCFS. Gambar 3. menunjukkan biomassa yang digunakan dalam penelitian ini.



**Gambar 3.** Biomassa yang digunakan dalam penelitian

Selain bahan baku, diperlukan juga peralatan utama yang digunakan untuk pembuatan briket BCFS antara lain: mesin mixer, mesin cetak briket, alat pembuat bahan perekat berupa kompor dan wadah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.

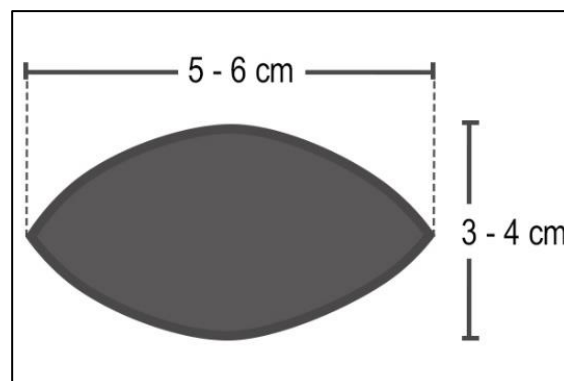


**Gambar 4.** Peralatan yang digunakan untuk pembuatan briket BCFS (a) mesin mixer, (b) Mesin cetak, (c) alat pembuat bahan perekat.

### C. Metode Penelitian

Sebelum dilakukan pembuatan atau pencetakan briket BCFS, terlebih dahulu dilakukan formulasi penyusun briket BCFS tersebut agar kualitas briket memenuhi standar baik secara fisika maupun kimia. Komposisi yang digunakan dalam pembuatan briket BCFS ini adalah 50% *unburnt carbon* (10% UC Cyclone + 40% UC Dumper), 30% biomassa, dan 20% *biosludge* IPAL. Setelah dilakukan formulasi terhadap komposisi briket BCFS kemudian dilakukan pencetakan briket dengan menggunakan cetakan sehingga menghasilkan briket dengan spesifikasi fisik sebagai berikut:

Bentuk	: bantal/jengkol
Dimensi	: panjang 5 - 6 cm; lebar 5 - 6 cm, tinggi tengah 3 - 4 cm
Berat	: 35 - 45 gr

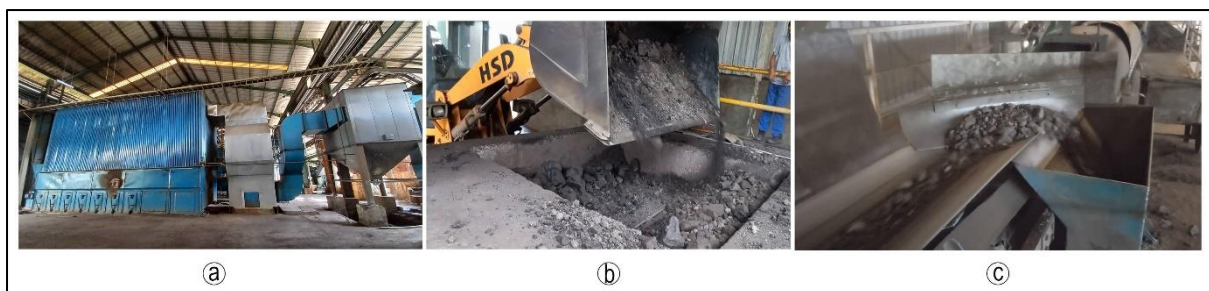


**Gambar 5.** Dimensi briket BCFS

Berikut adalah langkah kerja pembuatan briket BCFS:

- Bahan baku dan bahan tambahan masing-masing diukur dan ditimbang sesuai dengan formulasi komposisi yang telah ditentukan
- Bottom ash* (UC Cyclone 10% berat + UC Dumper 40% berat), 30% berat biomassa, dan 20% berat *biosludge* IPAL dicampurkan dalam mesin mixer selama 10 sampai dengan 15 menit
- Tepung kanji (amilum) sebanyak 2-5% berat dan air yang dipanaskan dalam sebuah wadah sambal diaduk hingga menjadi adonan menyerupai lem (perekat)
- Bahan perekat ditambahkan ke dalam campuran bahan baku dalam mesin mixer sampai bahan-bahan tercampur merata
- Bahan-bahan yang telah tercampur kemudian dilakukan pencetakan menggunakan mesin cetak briket
- Hasil cetakan briket BCFS kemudian dikeringkan hingga kadar air dalam briket maksimal 15%
- Setelah kering briket BCFS siap digunakan sebagai substitusi sumber energi

Briket BCFS yang telah berhasil dibuat kemudian dilakukan uji bakar secara *co-firing* pada *boiler* tipe *chain grate*. *Boiler* yang digunakan milik salah satu industri tekstil di Kabupaten Bandung. Dalam uji bakar ini briket BCFS yang digunakan sebesar 10-15% sebagai substitusi bahan bakar utama yaitu batubara. *Co-firing* didefinisikan sebagai pembakaran simultan dari dua atau lebih bahan bakar di pembangkit energi yang sama untuk menghasilkan satu atau lebih pembawa energi [11]. Pengamatan yang dilakukan pada proses uji bakar briket BCFS melalui beberapa parameter, diantaranya: perubahan suhu *boiler*; efisiensi penggunaan batubara selama proses pengujian bakar dan uji emisi hasil pembakaran *boiler* dengan substitusi briket BCFS. Gambar 6 menunjukkan *boiler* yang digunakan untuk pengujian bakar briket BCFS.



**Gambar 6.** Uji bakar briket BCFS (a) boiler yang digunakan, (b) hopper, (c) belt conveyer

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Analisis Proksimat

Kualitas bahan baku dan briket BCFS yang dihasilkan dapat diketahui dengan melakukan uji laboratorium berupa analisis proksimat dan nilai kalor. Analisis proksimat merupakan salah satu parameter utama untuk menentukan suatu material layak atau berpotensi untuk digunakan sebagai bahan bakar padat. Analisis proksimat digunakan untuk mengetahui karakteristik bahan bakar antara lain: kadar air (kelembaban), kadar zat terbang, kadar karbon tetap dan kadar abu dalam bahan bakar padat. Analisis proksimat dan nilai kalor merupakan contoh parameter utama yang diperlukan dalam mengkarakterisasi briket atau pelet yang secara rasional efektif digunakan sebagai bahan bakar [12]–[15]. Hasil analisis laboratorium terhadap bahan baku briket BCFS yang terdiri dari *bottom ash* (*unburnt carbon*), *biosludge* dan biomassa ditunjukkan pada Tabel 1 - 3:

Hasil analisis proksimat dari *bottom ash* (*unburnt carbon*) ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil analisis proksimat *bottom ash* (*unburnt carbon*)

Analisis	Satuan	Rata-Rata
Kadar Air	%	5
Kadar zat terbang	%	8
Kadar Abu	%	57
Karbon Tertambat	%	29
Nilai Kalor	Cal/g	2800

Pada **Tabel 1** menunjukkan bahwa *bottom ash (unburnt carbon)* mempunyai kadar air 5%, kadar zat terbang 8%, kadar abu 57%, karbon tertambat 29%, nilai kalor 2800 cal/g. Dengan nilai kalor sebesar 2800 cal/g maka *bottom ash (unburnt carbon)* ini masih bisa digunakan kembali sebagai baku pembuatan briket. Kadar zat terbang yang terkandung dalam *bottom ash (unburnt carbon)* ini tergolong kecil yaitu 8%, oleh karena itu untuk dapat menjadi bahan bakar kembali maka harus ditambahkan material yang mempunyai kadar zat terbang tinggi, yaitu biomassa. Hasil analisis proksimat terhadap bahan baku *biosludge* ditunjukkan pada **Tabel 2**.

**Tabel 2.** Hasil analisis proksimat *biosludge*

Analisis	Satuan	Rata-Rata
Kadar air	%	10
Kadar zat terbang	%	48
Kadar Abu	%	29
Karbon Tertambat	%	11
Nilai Kalor	cal/g	3200

Pada **Tabel 2** menunjukkan *biosludge* mempunyai kadar air 10%, kadar zat terbang 48%, kadar abu 29%, karbon tertambat 11% dan nilai kalor 3200 cal/g. Jika dibandingkan dengan *bottom ash*, *biosludge* ini memiliki kadar zat terbang yang jauh lebih tinggi. Kadar zat terbang ini sangat penting suatu material dapat terbakar atau tidak. Semakin tinggi kadar zat terbang suatu material, maka semakin mudah material tersebut terbakar [16], [17]. Dengan nilai kalor sebesar 3200 cal/g dan kadar zat terbang 48% maka *biosludge* memiliki potensi sebagai bahan baku pembuatan briket. Hasil analisis proksimat biomassa ditunjukkan pada **Tabel 3**.

**Tabel 3.** Hasil analisis proksimat biomassa

Analisis	Satuan	Rata-Rata
Kadar Air	%	11
Kadar zat terbang	%	35
Kadar Abu	%	49
Karbon Tertambat	%	4
Nilai Kalor	cal/g	3200

Pada **Tabel 3** menunjukkan bahwa biomassa mempunyai kadar air 11%, kadar zat terbang 35%, kadar abu 49%, karbon tertambat 4% dan nilai kalor 3200 cal/g. Biomassa memiliki nilai kalor yang cukup tinggi yaitu sebesar 3200 cal/g, sehingga berpotensi juga sebagai bahan baku pembuatan briket Namun demikian, biomassa memiliki karakteristik yang berbeda dengan *bottom ash*. Hal itu dapat dilihat dari kadar zat terbang dan karbon tertambat. Biomassa memiliki kadar zat terbang yang tinggi dibandingkan dengan *bottom ash*, dan begitu pula sebaliknya kadar karbon tertambat pada biomassa sangat rendah dibandingkan dengan *bottom ash*. Dengan karakteristiknya itu, biomassa akan terbakar pada suhu yang rendah dengan proses kontrol yang sulit serta bahan bakar menjadi cepat habis [17]. Dengan adanya proses pencampuran pada briket diharapkan semua komponen bahan baku bisa saling berkontribusi dalam meningkatkan kualitas pembakaran di boiler.

Dari hasil formulasi yang telah dilakukan, briket BCFS dengan komposisi *bottom ash* : biomassa : *biosludge* sebesar 50% : 30% : 20% dapat dicetak dengan presisi dan bentuk yang baik. Hal itu ditunjukkan pada **Gambar 7**.



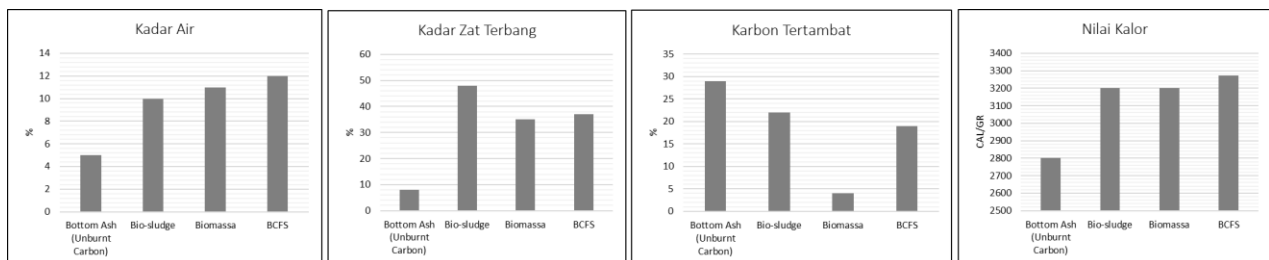
**Gambar 7.** Briket BCFS hasil penelitian

Setelah briket BCFS dapat dicetak dengan baik, maka dilakukan analisis laboratorium untuk mengetahui kualitas dari briket BCFS tersebut. Hasil analisis laboratorium terhadap briket BCFS yang dilakukan di laboratorium Tekmira, ESDM ditunjukkan pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Hasil analisis proksimat briket BCFS

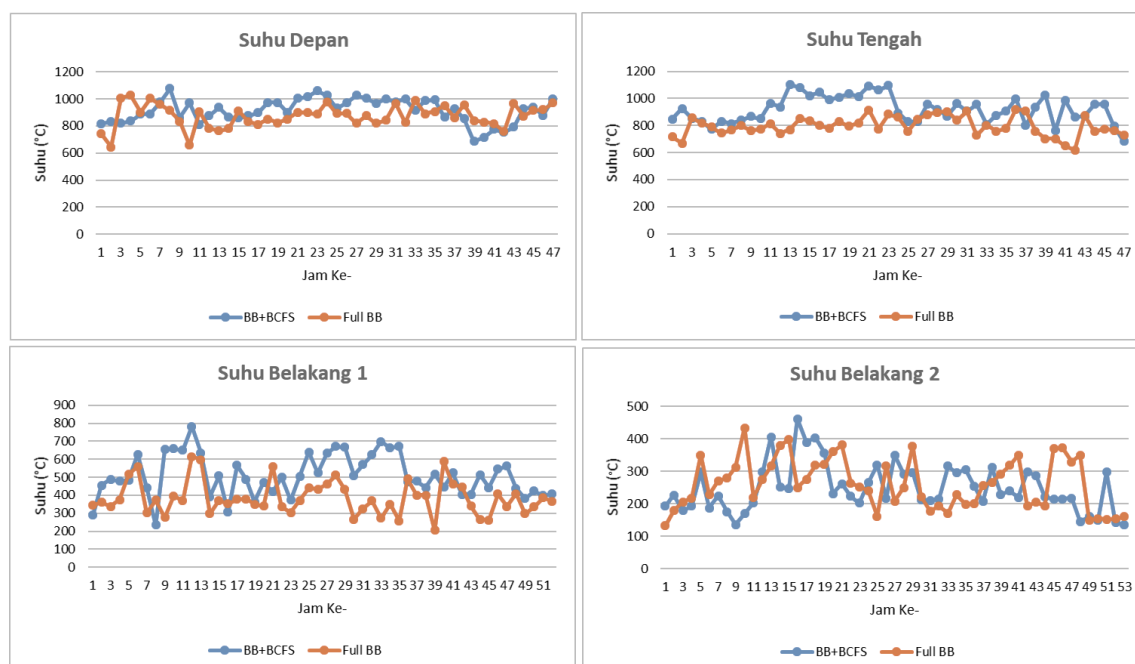
Analisis	Satuan	Rata-Rata
Kadar Air	%	12
Kadar zat terbang	%	37
Kadar Abu	%	31
Karbon Tertambat	%	19
Nilai Kalor	cal/g	3272

Hasil analisis proksimat menunjukkan bahwa briket BCFS mempunyai kadar air 12%, kadar zat terbang 37%, kadar abu 31%, karbon tertambat 19% dan nilai kalor 3272 cal/g. Dengan nilai kalor sebesar 3272 cal/g dan kadar zat terbang 37% maka briket BCFS dapat digunakan sebagai bahan bakar/sumber energi.



**Gambar 8.** Perbandingan hasil analisis proksimat dan nilai kalor antara bahan baku briket BCFS dan produk briket BCFS

Pada Gambar 8. menjelaskan bahwa nilai kadar air pada briket BCFS lebih tinggi dari nilai kadar air bahan bakunya, hal ini disebabkan adanya penambahan bahan perekat yang mengandung air, sehingga mempengaruhi kadar air pada produk briket BCFS. Kadar air sebesar 13% masih memenuhi baku mutu bahan bakar yang dipersyaratkan KLHK dalam Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 02 Tahun 2008 pasal 21 yaitu  $\leq 15\%$ . Kadar zat terbang produk briket BCFS lebih tinggi dari kadar zat terbang *bottom ash (unburnt carbon)*. Hal ini menunjukkan bahwa pencampuran/*blending* antara bahan baku mempengaruhi kadar zat terbang produk briket BCFS. Dengan nilai zat terbang tersebut maka briket BCFS ini memungkinkan untuk terbakar. Kadar zat terbang sebesar 37% telah memenuhi standar boiler yang umumnya antara 25-40% [18]. Berdasarkan **Gambar 8**, proses pencampuran/*blending* antara bahan baku juga mempengaruhi nilai karbon tertambat produk briket BCFS. Nilai kalor produk briket BCFS menunjukkan nilai yang paling tinggi dibandingkan dengan bahan bakunya, hal ini memberikan kepastian bahwa produk briket BCFS ini dapat digunakan sebagai substitusi sumber energi.



**Gambar 9.** Profil Suhu Furnace pada boiler

Uji Bakar Briket BCFS merupakan uji coba substitusi briket BCFS untuk menggantikan sebagian dari batubara sebagai bahan bakar dalam *boiler*. Pada uji bakar ini briket BCFS yang disubstitusikan sebesar 10% dari total penggunaan batubara di *boiler*. Dari data uji bakar dapat dilihat pengaruh penambahan briket BCF dengan beberapa parameter yang dijadikan acuan, diantaranya temperatur tungku *boiler* dan jumlah penggunaan batubara. Untuk melihat faktor-faktor tersebut, dilakukan perbandingan antara kondisi pada saat penggunaan 100% batubara dan setelah substitusi/ penggantian briket BCFS sebanyak 10%.

Pada pengukuran titik suhu furnace yang diukur meliputi: suhu depan, suhu tengah, suhu belakang 1 dan suhu belakang 2. Profil suhu furnace dari 4 titik pengukuran dapat dilihat pada Gambar 9.

Adapun rata-rata suhu furnace pada saat uji bakar substitusi batubara dengan 10% BCFS adalah sebagai berikut:

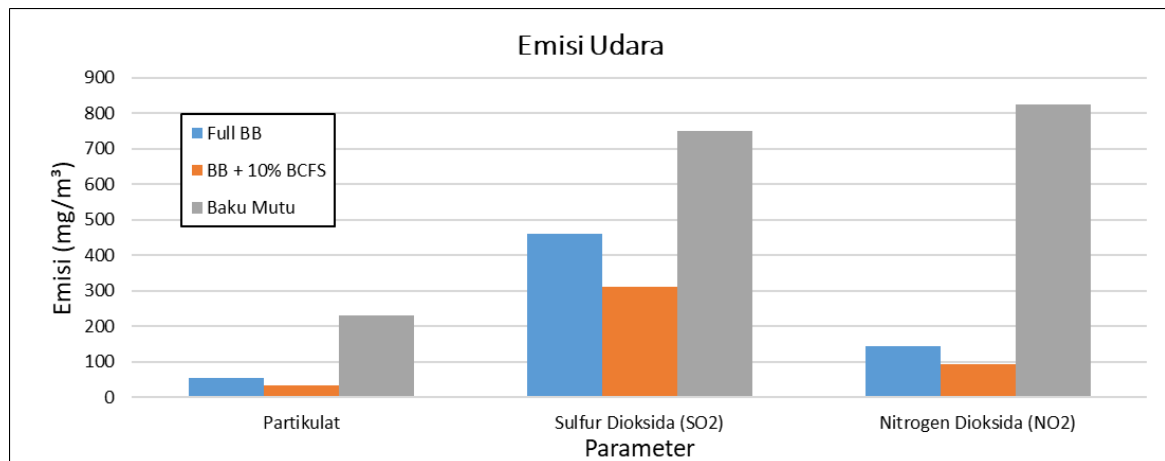
**Tabel 5.** Hasil analisis suhu

Suhu Depan (°C)		Suhu Tengah (°C)		Suhu Belakang 1 (°C)		Suhu Belakang 2 (°C)	
BB+BCFS	Full BB	BB+BCFS	Full BB	BB+BCFS	Full BB	BB+BCFS	Full BB
914.70	873.30	870.83	796.30	419.28	384.33	207.96	260.55
Kenaikan suhu (°C)		Kenaikan suhu (°C)		Kenaikan suhu (°C)		Penurunan suhu (°C)	
41.40		74.54		34.95		-52.59	

Ket. : BB+BCFS: Batubara dan 10% Briket BCFS  
 Full BB: Seluruhnya menggunakan batubara

Dari fenomena yang terjadi, bisa terlihat bahwa pembakaran terjadi di bagian depan *boiler*, hal itu ditandai dengan naiknya suhu *boiler* dibagian depan dan tengah. Ketika pembakaran terjadi dibagian depan, dibagian belakang batubara yang tersisa hanya berisi abu, sehingga suhu *boiler* menjadi lebih rendah/turun. Fenomena ini merupakan fenomena yang baik, karena proses pembakaran untuk menaikkan suhu oli terjadi dibagian depan hingga tengah *boiler*. Selain itu, dengan terjadinya pembakaran dibagian depan, batubara lebih terbakar dengan sempurna.

Penggunaan batubara mengalami penurunan sebesar 16% setelah dilakukan substitusi menggunakan BCFS sebanyak 10%. Konsumsi batubara pada saat pembakaran di *boiler* menggunakan 100 % batubara yaitu sebesar 26.250 kg/hari, sedangkan konsumsi batubara pada saat pembakaran di *boiler* menggunakan substitusi BCFS 10% sebesar 22.050 Kg/hari. Dari hal tersebut dapat dilihat bahwa penggunaan BCFS sebagai substitusi batubara sebagai bahan bakar di *boiler* industri dapat mengurangi penggunaan batubara.



**Gambar 10.** Emisi Udara Pembakaran Full Batubara, Substitusi 10% BCFS dan Baku Mutu

Pada gambar 10 menunjukkan bahwa emisi proses substitusi 10% BCFS pada beberapa parameter seperti partikulat, sulfur dioksida, dan nitrogen dioksida memberikan nilai emisi yang lebih baik dibandingkan emisi *full* batubara. Semua parameter pada uji emisi proses uji bakar *full* batubara dan substitusi batubara dengan 10% BCFS sudah memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan di dalam Persetujuan Teknis di Bidang Pengelolaan Limbah B3 KLHK. Oleh karena itu, proses substitusi batubara dengan 10% BCFS sebagai sumber energi pada *boiler* industri termasuk kategori aman untuk dilakukan dari aspek lingkungan hidup.



#### IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan bahwa briket BCFS dapat dibentuk dengan bahan baku *bottom ash*, biomassa dan *biosludge*. Briket BCFS dapat digunakan sebagai alternatif substitusi sumber energi pada *boiler* industri sekaligus mengurangi persoalan lingkungan (*zero waste: waste to energy dan waste to material*). Penggunaan 10% BCFS sebagai substitusi batubara sebagai bahan bakar di *boiler* industri dapat mengurangi penggunaan batubara sebesar 16% dan meningkatkan suhu *boiler* antara 35°C sampai dengan 75°C. Hasil uji emisi proses uji bakar *full* batubara dan substitusi batubara dengan 10% BCFS sebagai sumber energi pada *boiler* industri termasuk kategori aman untuk dilakukan dari aspek lingkungan hidup karena sudah memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan di dalam Persetujuan Teknis di Bidang Pengelolaan Limbah B3 KLHK.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan Terima Kasih atas dukungan kegiatan penelitian ini oleh Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) serta Pendanaan Riset Inovatif - Produktif (RISPRO) Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP). Penulis juga memberikan apresiasi kepada pihak yang turut serta dalam mendukung kelancaran kegiatan penelitian terutama kepada Laboratorium Karakteristik Lanjut Cisitua BRIN dan Laboratorium (Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara) PUSLITBANG TEKMIKA Kementerian ESDM serta mitra industri tekstil di Kabupaten Bandung, Jawa Barat.

#### REFERENSI

- [1] M. dan B. Direktorat Jendral, "Laporan Kinerja 2022," Indonesia, 2022.
- [2] Presiden RI, "PP No. 79 Thn 2014.pdf." Indonesia, pp. 1–36, 2014.
- [3] P. Karo-karo and S. Sembiring, "Karakteristik Abu Hasil Pembakaran Batubara Bukit Asam Sebagai Bahan Keramik," *Ilmu Dasar*, vol. 9, no. 2, pp. 127–134, 2008.
- [4] S. Rismayani and A. S. Tayibnapis, "Pembuatan Bio-Briket Dari Limbah Sabut Kelapa Dan Bottom Ash," *Arena Tekst.*, vol. 26, no. 1, pp. 47–54, 2011, doi: 10.31266/at.v26i1.1441.
- [5] S. Slamet and B. Gunawan, "Karakterisasi Biobriket Campuran Bottom Ash dan Biomassa Melalui Proses Karbonisasi Sebagai Bahan Bakar Padat," *Semin. Nas. Sains dan Teknol.*, no. November, pp. 1–8, 2015.
- [6] Presiden RI, *PERATURAN PEMERINTAH REPUBLIK INDONESIA NOMOR 101 TAHUN 2014*. 2014.
- [7] Pemerintah Republik Indonesia, "Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Pedoman Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup," *Sekr. Negara Republik Indones.*, vol. 1, no. 078487A, p. 483, 2021, [Online]. Available: <http://www.jdih.setjen.kemendagri.go.id/>.
- [8] A. Dibenedetto, "CO<sub>2</sub>-enhanced fixation and energy," vol. 71, pp. 58–71, 2011, doi: 10.1002/ghg3.
- [9] E. Karampinis, P. Grammelis, M. Agraniotis, I. Violidakis, and E. Kakaras, "Co-firing of biomass with coal in thermal power plants: Technology schemes, impacts, and future perspectives," *Wiley Interdiscip. Rev. Energy Environ.*, vol. 3, no. 4, pp. 384–399, 2014, doi: 10.1002/wene.100.
- [10] I. B. P. Badrus Zaman, "PENGOMPOSAN DENGAN MENGGUNAKAN LUMPUR DARI INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI KERTAS DAN SAMPAH DOMESTIK ORGANIK Badrus Zaman, Ika Bagus Priyambada \*)," *Pengomposan Dengan Menggunakan Lumpur Dari Instal. Pengolah. Air Limbah Ind. Kertas Dan Sampah Domest. Organik*, vol. 28, no. 2, pp. 158–166, 2007.
- [11] J. Hansson, G. Berndes, F. Johnsson, and J. Kjærstad, "Co-firing biomass with coal for electricity generation—An assessment of the potential in EU27," *Energy Policy*, vol. 37, no. 4, pp. 1444–1455, 2009, doi: 10.1016/j.enpol.2008.12.007.
- [12] A. N. Efomah and A. Gbabo, "The Physical, Proximate and Ultimate Analysis of Rice Husk Briquettes Produced from a Vibratory Block Mould Briquetting Machine," *Int. J. Innov. Sci. Eng. Technol.*, vol. 2, no. 5, pp. 814–822, 2015.
- [13] N. A. Sanwal Hussain, Suhail A. Soomro, Shaheen Aziz, Ahsan Ali, "Ultimate and Proximate Coal Analysis

- Ultimate and Proximate Coal Analysis,” *Eng. Sci. Technol. Int. Res. J.*, vol. 2, no. 4, p. 7, 2018.
- [14] M. Križan, K. Krištof, M. Angelovič, J. Jobbágy, and O. Urbanovičová, “Energy potential of densified biomass from maize straw in form of pellets and briquettes,” *Agron. Res.*, vol. 16, no. 2, pp. 474–482, 2018, doi: 10.15159/AR.18.074.
- [15] A. Kwaghger, “the Development of Equations for Estimating High Heating Values From Proximate and Ultimate Analysis,” *Eur. J. Eng. Technol.*, vol. 5, no. 3, pp. 21–33, 2017.
- [16] B. Indrawijaya, A. Fathurrohman, and H. Nisa, “Pembuatan dan Karakteristik Briket Bahan Bakar dari Ampas tahu sebagai Energi Alternatif,” *J. Ilm. Tek. Kim. UNPAM*, vol. 2, no. 1, pp. 38–44, 2018.
- [17] S. Jamilatun, “Sifat-Sifat Penyalaan dan Pembakaran Briket Biomassa, Briket Batubara dan Arang Kayu,” *Sifat-Sifat Penyalaan dan Pembakaran Briket Biomassa, Briket Batubara dan Arang Kayu*, vol. 2, no. 2, pp. 37–40, 2012, doi: 10.22146/jrekpros.554.
- [18] T. N. Tambaria and B. F. Y. Serli, “Kajian Analisis Proksimat pada Briket Batubara dan Briket Biomassa,” *J. Geosains dan Teknol.*, vol. 2, no. 2, p. 77, 2019, doi: 10.14710/jgt.2.2.2019.77-86.