

PARTICULATE EMISSIONS CHARACTERISTICS OF CO-FIRING IN INDUSTRIAL BOILER

KARAKTERISTIK EMISI PARTIKULAT DARI BAHAN BAKAR CO-FIRING DI BOILER INDUSTRI

Ines Saraswati Rudianto¹, Didin Agustian Permadi^{1*} dan Dyah Marganingrum²

¹Institut Teknologi Nasional, Environmental Engineering, Jl. PH.H. Mustofa No. 23, Bandung, Indonesia, 40124

²Research Center for Geotechnology - Indonesian Institute of Science (LIPI), Jl. Sangkuriang, Bandung, Indonesia, 40135

*E-mail: didin@itenas.ac.id

ABSTRACT

PT. X is a textile industry that consumed a massive amount of coal for their boiler operation. This required substantial costs to obtain coal from Sumatra and Kalimantan Island. An alternative solid biofuel (briquette) was developed to combine bottom ash and biomass made from municipal solid waste, which is called as Biomass Coal Fuel (BCF) briquette. The purpose of this study is to measure the total concentration of particulate matter and emission factor (PM) emitted from two burning experiments: only coal (100%) and mixed coal fuel with 10% of BCF (co-firing). Mixed of coal and BCF burning carried out in the Fire-tube boiler where the PM emission is released through the stack. The Laboratory of Center for Pulp and Paper carried out measurement of particulate emission with methodology referring to SNI 7117.17-2009. Particulate matter concentration emitted from only coal burning was 12.1 mg/Nm³ but when mixed BCF and coal were used, the higher concentration was emitted of 70.9 mg/Nm³. The addition of BCF briquettes affects the particulate matter emission, even though the emitted emission does not exceed the quality standard in the regulation. The increase of particulate concentration is due to the characteristics of the BCF briquette, which has a low heating value and high ash content. The boiler has already been equipped with cyclone and wet scrubber therefore PM emissions presented here are treated emissions. The controlled PM emission factor of BCF was 4.46 g/kg which is higher than only coal of 0.51 g/kg. BCF briquette can be still used as co-fuel for the boiler but further effort is still required to reduce the ash content of the BCF and to increase the calorific value of the BCF.

Keywords: Briquette, Bottom Ash, Coal, Industrial Boiler, Particulate Emission

ABSTRAK

PT. X, sebuah industri tekstil, mengonsumsi batu bara sebagai sumber energi untuk pengoperasian boiler dalam jumlah yang cukup besar, hal tersebut membutuhkan biaya yang cukup besar untuk mendapatkan batu bara dari Pulau Sumatera dan Kalimantan. Alternatif bahan bakar yang dapat digunakan untuk menggantikan konsumsi batu bara adalah Briket Biofuel yang terbuat dari gabungan bottom ash dan biomassa yang berasal dari limbah perkotaan, disebut sebagai Biomass Coal Fuel (BCF). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengukur konsentrasi Total Partikulat yang diemisikan dari pembakaran batu bara dan pembakaran batu bara dengan substitusi BCF sebanyak 10%. Pembakaran bahan bakar tersebut dilakukan di dalam boiler dimana emisi partikulat dilepaskan melalui cerobong. Pengukuran emisi partikulat dilakukan oleh Badan Besar Pulp dan Kertas dengan metodologi mengacu pada SNI 7117.17-2009. Konsentrasi materi partikulat yang diemisikan hanya dari pembakaran batubara adalah 12,1 mg/Nm³ tetapi ketika BCF disubstitusi konsentrasi emisi meningkat yaitu 70,9 mg/Nm³. Penambahan briket BCF

mempengaruhi emisi bahan partikulat, meskipun emisi yang dikeluarkan tidak melebihi baku mutu dalam regulasi. Peningkatan konsentrasi partikulat ini disebabkan karakteristik briket BCF yang memiliki nilai kalor rendah dan kadar abu tinggi. Boiler telah dilengkapi dengan cyclone dan wet scrubber sehingga emisi PM yang disajikan disini merupakan emisi yang diolah. Faktor emisi dari partikulat dari BCF adalah 4,46 g/Kg yang lebih tinggi dari batu bara yang hanya 0,51 g/Kg. BCF masih dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk boiler tetapi masih diperlukannya upaya yang lebih lanjut untuk mengurangi kadar abu BCF dan meningkatkan nilai kalor BCF.

Kata kunci: Briket, Bottom Ash, Batu Bara, Boiler, Emisi partikulat

1. PENDAHULUAN

Indonesia kaya akan sumber energi terbarukan seperti panas bumi, tenaga air, dan biomassa. Biomassa seperti sekam padi, sekam kopi, tempurung kelapa, dan biomassa lainnya banyak digunakan sebagai bahan campuran briket. Briket adalah sebuah blok yang digunakan sebagai bahan bakar untuk menyalakan atau membuat api (Bagus Setyawan, 2019).

Industri tekstil membutuhkan energi yang besar untuk keperluan pengoperasian *boiler*. PT. X, sebuah industri tekstil di Kota Bandung, mengonsumsi bahan bakar berupa batu bara dalam jumlah yang cukup besar untuk pengoperasian *boiler* mencapai 27 ton/hari untuk 2 buah *boiler*. Batu bara tersebut diperoleh dari Pulau Sumatera dan Kalimantan sehingga dibutuhkan biaya yang cukup besar juga untuk memasoknya. Maka dari itu diperlukan pengurangan ketergantungan pada penggunaan batu bara sebagai bahan bakar selain karena membutuhkan biaya, pembakaran batu bara menghasilkan produk samping hasil pembakaran berupa *bottom ash* yang cukup besar.

Maka dari itu, PT. X mengolah *bottom ash* hasil pembakaran menjadi bahan bakar kembali yang dicampurkan dengan biomassa sampah yang disebut dengan briket BCF atau *Biomass Coal Fuel*. Proses pembakaran briket BCF ini dilakukan bersama dengan batu bara yang mana proses tersebut dinamakan *Co-Firing* (Suganal & Hudaya, 2019).

Selama pembakaran briket biomassa ini, emisi materi partikulat (PM) dapat menyebabkan efek kesehatan yang parah seperti kanker paru-paru hingga penyakit jantung (Simões Amaral, Andrade de Carvalho, Martins Costa, & Pinheiro, 2016). Berdasarkan Lim dkk (2012), laporan tentang *Global Disease* bahwa sekitar 3,5 juta kematian di seluruh dunia tahun 2010 dikaitkan dengan paparan asap dari pembakaran bahan bakar padat.

Dampak negatif terkait emisi dari pembakaran tersebut dapat menghambat penggunaan briket sebagai alternatif energi terbarukan atau bahan bakar yang berkelanjutan. Maka dari itu, diperlukan informasi yang lebih rinci mengenai emisi partikulat yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar batu bara dan briket di PT. X serta memberikan rekomendasi untuk mengurangi emisi partikulat.

2. METODOLOGI

Briket *Biomass Coal Fuel* (BCF) terbuat dari 60% *bottom ash* dan 40% biomassa. *Bottom ash* berasal dari sisa hasil pembakaran batu bara di PT. X dan biomassa dari sampah perkotaan yang berasal dari kota Bandung dan waduk Saguling yang telah diproses dengan metode

peuyeumisasi (Marganingrum, 2019). Kedua material tersebut kemudian dicampurkan secara homogen dengan suatu bahan pengikat yaitu perekat kanji 2% beratnya.

Pelaksanaan pengukuran emisi total partikulat ini dilakukan oleh Badan Besar Pulp dan Kertas atau BBPK langsung di cerobong PT. X selama 1 jam dengan mengacu kepada Standar Nasional Indonesia (SNI) 7117.13-2009 sampai dengan 7117.17-2009.

Berdasarkan standar yang diacu bahwa pengambilan contoh uji partikulat harus dilakukan secara isokinetic yang suatu kondisi kecepatan aliran dalam saluran pengambil contoh sama dengan kecepatan aliran gas pada titik pengambilan contoh uji dalam cerobong sehingga titik lintas, kecepatan linear, komposisi gas buang, dan kandungan air gas buang dalam cerobong harus ditentukan terlebih dahulu. Standar yang digunakan sama dengan standard dari *United States Environmental Protection Agency* atau US EPA untuk pengambilan contoh uji partikulat yang mana partikulat dikumpulkan dalam filter.

Secara teoritis, titik lintas yang seharusnya pada cerobong adalah 12 buah titik lintas namun jumlah titik lintas yang digunakan hanya setengah dari yang seharusnya dikarenakan lubang pengambilan contoh uji hanya 1 buah, kami mempertimbangkan kondisi isokinetic pengambilan contoh uji partikulat yang dilakukan secara hati hati.



Gambar 1. Peralatan Pengukuran Emisi partikulat

Kondisi isokinetic di industri terlebih dahulu dilakukan dengan *wet gas flowmeter* dan pompa. Sebelum gas buang dipompa menuju *wet gas flowmeter*, gas buang diarahkan menuju filter yang memiliki beberapa tahap. Filter pertama adalah filter debu biasa, lalu tahap kedua adalah dengan melarutkan 5% cairan hidrogen peroksida ke dalam air yang berfungsi untuk menjaga agar pompa tidak rusak dari debu. Jika terdapat gas korosif maka akan dilarutkan dalam larutan tersebut. Selanjutnya gas dialirkan ke *wet gas flow meter* untuk mencapai kecepatan linier sebagai

salah satu syarat kondisi isokinetik. Pada saat pengukuran dilakukan untuk memastikan bahwa flow meter mencapai aliran 50 Liter/menit (Lpm).

Langkah-langkah pengambilan contoh uji partikulat yang sesuai dengan SNI 7117.17-2009, yaitu:

1. Posisikan rangkaian contoh uji partikulat pada lubang pengambilan contoh uji
2. Nyalakan pemanas filter dan probe pada temperatur $120^{\circ}\text{C} \pm 4^{\circ}\text{C}$
3. Tempatkan ujung *nozzle* di titik lintas pertama, dengan posisi masukan berhadapan dengan aliran gas. Kemudian nyalakan pompa dengan kecepatan hisap sesuai dengan kecepatan isokinetiknya
4. Pertahankan laju presentasi isokinetik pada $100\% \pm 10\%$ dengan mengatur tekanan pada katup laju pompa hisap (dH) sesuai rasio K terhadap beda tekanan tabung pilot (dp), dan pertahankan juga temperatur filter pada $120^{\circ}\text{C} \pm 4^{\circ}\text{C}$ selama pengambilan contoh uji.
5. Cata semua data yang diukur
6. Setelah pengambilan contoh uji di titik lintas pertama selesai, pindahkan *nozzle* ke titik lintas ke dua hingga titik lintas terakhir dan lakukan 4 dan 5.

Kemudian filter yang digunakan untuk menangkap partikulat dalam cerobong dikeringkan di dalam oven pada temperatur 105°C selama 2 jam sampai dengan 3 jam, kemudian didinginkan dalam desikator. Setelah itu, filter ditimbang beratnya dengan menggunakan timbangan analitik.

Tipe *boiler* yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan jenis *fire-tube boiler* yang dapat menggunakan bahan bakar batu bara maupun briket dengan temperatur pembakarannya mencapai $900 - 1000^{\circ}\text{C}$. *Boiler* ini menyalurkan gas buangnya melalui cerobong. Bahan bakar disuplai secara manual dan dilengkapi dengan alat pengendali emisi partikulat seperti *cyclone* dan *wet scrubber*. Terdapat dua eksperimen yang dilakukan antara lain:

1. Menggunakan 100% batu bara
2. Menggunakan substitusi briket sebanyak 10% dari berat total penggunaan bahan bakar BCF briket disubstitusi sebanyak 1-% dari total pemakaian bahan bakar di PT.X, jumlah penggunaan bahan bakar dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Emisi Partikulat di Cerobong PT. X

Boiler	Penggunaan Bahan Bakar (ton/day)		
	BCF	Coal	Total
Eksperimen I: Boiler I (Fire Tubes)	0,7	6,3	7
Eksperimen II: Boiler I (Fire Tubes)	-	7	7

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Emisi Partikut dan Karakteristik Bahan Bakar

Pengukuran emisi partikulat dilakukan dengan tujuan untuk mengukur konsentrasi emisi partikulat yang dihasilkan dari pembakaran briket BCF yang disubstitusi sebanyak 10% dengan batu bara. Nilai konsentrasi hasil uji partikulat di cerobong naik dengan adanya substitusi bahan bakar briket BCF meskipun kedua konsentrasi tidak melebihi baku mutu yang berlaku, hal tersebut dapat dikarenakan adanya alat pengendali emisi berupa *cyclone* yang memiliki efisiensi sebesar 75% dan *wet scrubber* sebesar 20%. Nilai emisi partikulat yang dihasilkan dari penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Emisi Partikulat di Cerobong PT. X

Batu Bara (26 Februari 2020)		Batu Bara + Briket BCF (9 Maret 2020)	
Hasil Konsentrasi (mg/Nm ³)	Baku Mutu Emisi Partikulat untuk Batu Bara pada PerMenLH No. 7 Tahun 2007 Lampiran IV (mg/Nm ³)	Hasil Konsentrasi (mg/Nm ³)	Baku Mutu Emisi Partikulat untuk Bahan Bakar Gabungan pada PerMenLH No. 7 Tahun 2007 Lampiran VIII (mg/Nm ³)
12,1 ¹⁾	230 ²⁾	70,9 ¹⁾	278 ²⁾

Sumber: ¹⁾Badan Besat Pulp dan Kertas, 2020

²⁾Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 7 Tahun 2007

Pembentukan emisi partikulat selama pembakaran tergantung dari banyak faktor yaitu temperatur pembakaran, komposisi bahan bakar, dan waktu tinggal selama reaksi pembakaran, melibatkan juga proses kondensasi. Ukuran emisi partikulat biomassa dapat berkisar kurang dari 0,01µm hingga 100 µm (Nosek, Holubčík, & Papučík, 2014). Karakteristik dari batu bara dan briket BCF dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Karakteristik Batu Bara dan Briket BCF

Bahan Baku	Kadar air (%)	Kadar Abu (%)	Nilai Kalor (cal/g)	Volatile Matter (%)	Fixed Carbon (%)
Batu Bara	23,15	2,65	5223	36,99	37,13
Batu Bara dan 10% BCF	21,57	7,69	4951	35,12	35,54

Sumber: LIPI, 2020

Hasil emisi partikulat kemudian dibandingkan dengan karakteristik dari bahan bakar yang digunakan. Emisi partikulat dipengaruhi oleh nilai kalor. Semakin tinggi nilai kalornya maka semakin rendah nilai emisi yang dihasilkan karena bahan bakar lebih mudah terbakar dan efisiensi pembakaran akan semakin tinggi (Rahmadani, Hamzah, & Hamzah, 2017).

Briket BCF 10% dengan batu bara memiliki nilai kalor 4951 cal/g menghasilkan pembakaran yang tidak sempurna. Salah satu bentuk emisi partikulat adalah *fly ash* sebagai residu abu yang tidak terbakar selama proses pembakaran bahan bakar yang ikut terbawa dengan gas buang. Kadar abu milik batu bara dan briket BCF 10% lebih tinggi dibandingkan dengan batu bara saja yaitu 7,69% yang menunjukkan bahwa briket BCF berkontribusi pada meningkatnya kadar abu pada bahan bakar.

Tingginya nilai kadar abu ini dikarenakan briket BCF sebagian besar tersusun dari *bottom ash*. Nilai kadar abu yang tinggi dan nilai kalor yang rendah akan membuat *bottom ash* tidak terbakar sepenuhnya dan ikut terbawa oleh gas buang menjadi salah satu kontribusi dalam emisi partikulat. Berdasarkan Itoh dkk (2020) bahwa semakin tinggi temperatur maka akan semakin tinggi abu yang terbentuk dan terbawa oleh gas buang menjadi salah satu emisi partikulat. Semakin tinggi nilai kadar abu pada saat pembakaran akan membentuk kerak abu yang sulit dihilangkan pada sistem pembakaran *boiler*, akan mempersulit penyalaan bahan bakar, kadar abu yang mencair akan menutupi celah celah rangka pembakaran yang akan dilalui oleh udara yang akan menurunkan kecepatan pembakaran (Djokosetyardjo, 1993).

Emisi partikulat juga dibandingkan dengan penelitian lain yang menggunakan *co-firing*. Penelitian oleh Al-Naiema et al. (2015) bahwa pembakaran bersama dengan 50% lambung oat secara signifikan mengurangi 90% emisi partikulat.

Penelitian lain oleh Chang et al (2019) bahwa emisi partikulat dengan penambahan biomassa dan batubara, tidak terdapat perbedaan emisi partikulat yang nyata. Untuk pembakaran batubara,

konsentrasi PM adalah 0,61 mg/Nm³ dan setelah ditambahkan biomassa, emisi partikulat 0,47 - 0,95 mg/Nm³. Sehingga dapat disimpulkan emisi partikulat dengan cofiring dapat berbeda dengan bahan biomassa yang digunakan.

3.2 Faktor Emisi Partikulat

Emisi partikulat yang telah diukur kemudian dihitung untuk faktor emisi yang berarti nilai rata-rata suatu parameter pencemar udara yang dikeluarkan dari sumber spesifik. Faktor emisi untuk tiap parameter dan tiap aktivitas bisa berbeda. Faktor emisi partikulat di PT. X, literatur *Atmospheric Brown Cloud Emission Inventory Manual* (ABC EIM), dan dari biomassa lainnya dapat dilihat pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Faktor Emisi Partikulat di PT. X dan Energi Biomassa Lainnya

No	Bahan Bakar	Faktor Emisi (g/Kg)
1	Batu Bara	0,51
2	Briket BCF	4,46
3	Literatur ABC EIM untuk Batu Bara ¹⁾	3,98
4	Residu Pertanian ²⁾	10
5	Ampas Tebu ²⁾	7,4

Source: ¹⁾Shrestha dkk, 2013

²⁾Bhattacharya, 2002

Faktor emisi partikulat pada Tabel 3 menunjukkan bahwa substitusi briket BCF 10% memiliki nilai tertinggi yaitu 4,46 g/Kg, hal ini dikarenakan nilai konsentrasi partikulat dan nilai debit yang dihasilkan dari pembakaran dengan substitusi BCF lebih besar. Faktor emisi juga dibandingkan faktor emisi dari ABC EIM dimana emisi partikulat untuk bahan bakar batubara jenis lignit adalah 3,98 g/Kg maka setiap penambahan briket yang dibakar akan menghasilkan jumlah konsentrasi partikulat yang lebih besar dibandingkan literatur ABC EIM dan batubara.

Faktor emisi juga dibandingkan dengan bahan bakar biomassa yang berbeda beda. Pada Tabel 3 menunjukan bahwa briket BCF dan batubara di PT. X masih lebih rendah dibandingkan dengan faktor emisi residu pertanian dengan ampas tebu, maka dapat disimpulkan bahwa emisi partikulat yang dihasilkan dari residu pertanian dan ampas tebu lebih besar dari partikulat hasil pembakaran briket BCF di PT. X.

4. KESIMPULAN

Emisi partikulat yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar batubara dan substitusi briket *Biomass Coal Fuel* (BCF) sebanyak 10% lebih tinggi dibandingkan dengan pembakaran batubara saja. Dapat disimpulkan bahwa penambahan briket BCF pada bahan bakar batubara berpengaruh terhadap emisi partikulat walaupun emisinya masih di bawah standar.

Konsentrasi materi partikulat yang diemisikan hanya dari pembakaran batubara adalah 12,1 mg/Nm³ tetapi pada saat dilakukan penambahan Briket BCF sebanyak 10%, konsentrasi yang diemisikan lebih tinggi yaitu 70,9 mg/Nm³. Faktor-faktor yang mempengaruhi tingginya nilai emisi partikulat adalah nilai kalor yang rendah dan kadar abu yang tinggi sehingga mempengaruhi efisiensi pembakaran boiler.

Faktor emisi PM terkendali dari BCF adalah 4,46 g/kg yang lebih tinggi dari hanya batubara 0,51 g/kg. Sampai saat ini briket BCF masih dapat digunakan sebagai bahan bakar pendamping boiler karena emisinya masih lebih rendah dari standar tetapi masih ada kebutuhan untuk menurunkan emisinya. Upaya lebih lanjut harus dilakukan untuk menurunkan kadar abu BCF dan meningkatkan nilai kalor BCF.

5. ACKNOWLEDGEMENT

Kami mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian Geoteknologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) yang telah memberikan dukungan dan bantuan secara teknis dan finansial kepada penulis untuk melakukan penelitian ini.

6. AUTHORSHIP

Dalam penelitian ini, penulis pertama berkontribusi dalam pengumpulan dan pengolahan data serta memberikan draft naskah. Penulis lainnya berkontribusi pada penyempurnaan naskah.

REFERENCE

- Badan Standarisasi Nasional. (2009). *SNI 7117.17-2009 tentang Penentuan Konsentrasi Partikulat Dalam Gas Buang*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Bagus Setyawan, S. (2019). Analisis mutu briket arang dari limbah biomassa campuran kulit kopi dan tempurung kelapa dengan perekat tepung tapioka. *Edubiotik: Jurnal Pendidikan, Biologi dan Terapan*, 4(2).

- Bhattacharya, S., & Salam, P. A. (2002). Low greenhouse gas biomass options for cooking in the developing countries. *Biomass and Bioenergy*, 22(4), 305-317.
- Djokosetyardjo, M. (1993). Ketel uap. *Jakarta: Pradnya Paramita*.
- Itoh, T., Fujiwara, N., Iwabuchi, K., Narita, T., Mendbayar, D., Kamide, M., . . . Matsumi, Y. (2020). Effects of pyrolysis temperature and feedstock type on particulate matter emission characteristics during biochar combustion. *Fuel Processing Technology*, 204, 106408.
- Lim, S. S., Vos, T., Flaxman, A. D., Danaei, G., Shibuya, K., Adair-Rohani, H., . . . Andrews, K. G. (2012). A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990–2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *The lancet*, 380(9859), 2224-2260.
- Marganingrum, D., Lenny Marilyn Estiaty, Chandra Irawan, Hidawati. (2019). The Biomass Coal Fuel (BCF) Briquette as an Alternative Fuel. *MSCEIS*. doi:10.4108/eai.12-10-2019.2296375
- Nosek, R., Holubčík, M., & Papučík, Š. (2014). Emission controls using different temperatures of combustion air. *The scientific world journal*, 2014.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup. (2007). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 7 Tahun 2007 tentang Baku Mutu Emisi Tidak Bergerak Bagi Ketel Uap.
- Rahmadani, R., Hamzah, F., & Hamzah, F. H. (2017). *Pembuatan Briket Arang Daun Kelapa Sawit (Elaeis Guineensis Jacq.) Dengan Perekat Pati Sagu (Metroxylon Sago Rott.)*. Riau University.
- Shrestha, R. M., Kim Oanh, N., Shrestha, R., Rupakheti, M., Rajbhandari, S., Permadi, D., . . . Iyngararasan, M. (2013). Atmospheric Brown Clouds: Emission Inventory Manual.
- Simões Amaral, S., Andrade de Carvalho, J., Martins Costa, M. A., & Pinheiro, C. (2016). Particulate matter emission factors for biomass combustion. *Atmosphere*, 7(11), 141.
- Suganal, S., & Hudaya, G. K. (2019). Bahan Bakar Co-Firing dari Batubara dan Biomassa Tertorefaksi dalam Bentuk Briket (Skala Laboratorium). *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 15(1), 31-48.