

Studi Karakteristik Emisi Gas Dari *Boiler* Industri Berbahan Bakar Co-Firing Batu Bara Dan Briket BCF

Annita Nurhayati¹, Didin Agustian Permadi² dan Dyah Marganingrum³

^{1,2}Program Studi Teknik Lingkungan – Institut Teknologi Nasional, Jl. PH. H. Mustofa No. 23, Bandung, Indonesia, 40124

³Pusat Penelitian Geoteknologi – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jl. Sangkuriang, Bandung, Indonesia, 40135

E-mail: didin@itenas.ac.id

ABSTRACT

Textile industry consumes huge amount of coal to operate their boiler. At the same time, the company generated huge amount of bottom ash from the boiler operation and it is considered as hazardous waste. PT. X has been attempting to reuse bottom ash mixed with solid waste compost to generate biofuel named as biomass coal fuel (BCF) briquettes as co-fuel for boiler combustion. This study conducted two boiler combustion experiments: i) co-firing boiler operation with 90% coal and 10% of BCF, and ii) 100% of coal. The SO₂ and NO₂ emissions were measured from the two experiments. The emission test was carried out using the MRU Optima 7 which is equipped by an electrochemical sensor, combined with an extraction probe to be inserted into the stack. From the emission test results, the SO₂ concentration of 100% of coal burning was 150 mg/Nm³. SO₂ concentration of coal fuel with a substitution of 10% BCF was 498.8 mg/Nm³. The NO₂ concentration from 100% coal combustion was 174.2 mg/Nm³ while from mixed fuel combustion was 370.3 mg/Nm³. Using BCF as an aggregate for coal combustion did not bring in lower emissions of SO₂ and NO₂. Emission factor for SO₂ from 100% coal combustion is 6.295 g/kg while for coal fuel with a substitution of 10% BCF is 31.09 g/kg. NO₂ emission factor from 100%, coal burning is 7.31 g/kg while the emission factor of NO₂ in coal fuel with a substitution of 10% BCF is 23.31 g/kg.

Keywords: *briquettes, coal, stack, SO₂, NO₂*

ABSTRAK

PT. X adalah industri tekstil yang menggunakan bahan bakar batu bara dalam jumlah besar untuk mengoperasikan *boiler* industri. Pengoperasian *boiler* menghasilkan abu dasar dalam jumlah besar dari dan dianggap sebagai limbah B3. Dilakukan percobaan untuk menggunakan kembali *bottom ash* yang dicampur dengan agregat kompos dari limbah padat, sehingga menghasilkan *biofuel* yang disebut sebagai briket *biomassa coal fuel* (BCF) sebagai bahan bakar pendamping untuk pembakaran *boiler*. Studi ini dilakukan dalam dua percobaan: i) pengoperasian *boiler* dengan *co-firing* menggunakan 90% batu bara yang dicampur 10% BCF, dan ii) pengoperasian *boiler* dengan menggunakan 100% batu bara. Uji emisi dilakukan untuk 2 parameter yaitu SO₂ dan NO₂ yang dilakukan dengan menggunakan MRU Optima 7, alat tersebut dilengkapi dengan sensor elektrokimia yang digabungkan dengan probe ekstraksi untuk dimasukkan ke dalam *hole sampling* cerobong. Dari hasil uji emisi, diketahui bahwa konsentrasi SO₂ dari penggunaan 100% batu bara adalah 150 mg/Nm³, sedangkan konsentrasi SO₂ dari penggunaan bahan bakar batu bara dengan substitusi 10% BCF adalah 498,8 mg/Nm³. Konsentrasi NO₂ dari pembakaran 100% batu bara adalah 174,2 mg/Nm³, sedangkan dari pembakaran bahan bakar campuran adalah 370,3 mg/Nm³. Penggunaan BCF sebagai agregat untuk pembakaran batu bara tidak menurunkan emisi SO₂ dan NO₂. Dari konsentrasi yang diperoleh dapat dilakukan perhitungan faktor emisi. Faktor emisi SO₂ dari 100% pembakaran batu bara adalah 6,295 g/kg, sedangkan faktor emisi SO₂ untuk bahan bakar batu bara dengan substitusi BCF 10% adalah 31,09 g/kg. Kemudian untuk faktor emisi NO₂ dari 100% pembakaran batu bara adalah 7,31 g/kg, sedangkan faktor emisi NO₂ pada bahan bakar atau bara dengan substitusi 10% BCF adalah 23,31 g/kg.

Kata kunci: briket, batu bara, cerobong, SO₂, NO₂

1. Pendahuluan

Dalam menunjang proses produksinya, industri tekstil biasanya menggunakan boiler berbahan bakar batu bara sebagai sumber energinya. Pembakaran batu bara dalam boiler menimbulkan sisa pembakaran, salah satunya adalah *bottom ash*. Dalam menunjang proses produksinya, industri tekstil biasanya menggunakan boiler berbahan bakar batu bara sebagai sumber energinya. Konsumsi bahan bakar batu bara di industri tekstil dilakukan dalam jumlah banyak, hingga 27 ton / hari. Pembakaran batu bara dalam boiler menimbulkan sisa pembakaran salah satunya adalah *bottom ash*. Sebagai upaya penanggulangan limbah *bottom ash* yang dihasilkan, industri tekstil mencoba memanfaatkan *bottom ash* menjadi briket BCF (Biomass Coal Fuel) sebagai bahan bakar alternatif, dengan komposisi briket BCF yaitu 60% *bottom ash* dan 40% limbah campuran.

Briket BCF yang telah diproduksi oleh industri tekstil akan digunakan sebagai bahan bakar bersamaan dengan batu bara, atau dengan kata lain disebut *co-firing*. Merujuk pada jurnal Suganal dan Hudaya (2019), *co-firing* merupakan proses pembakaran dua jenis bahan bakar yang dilakukan pada alat pembakaran yang sama. Kemudian sebagai data pembandingan juga dilakukan pembakaran dengan hanya menggunakan batu bara.

Penggunaan batu bara atau briket sebagai bahan bakar boiler dapat menghasilkan emisi dalam bentuk partikulat atau senyawa gas. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup no. 7 Tahun 2007 yang mengatur tentang kualitas emisi dari sumber emisi tidak bergerak menggunakan bahan bakar batu bara, menyebutkan bahwa senyawa gas yang diukur hanya NO₂ dan SO₂, kedua polutan tersebut umumnya bersifat toksik (Sugiarto dkk., 2019).

Dampak yang ditimbulkan oleh SO₂ dan NO₂ dapat menyebabkan kematian bagi manusia dan hewan, serta menyebabkan kerusakan pada tanaman dan hujan asam yang dapat merusak harta benda, seperti gedung dan fasilitas umum lainnya (Budiyo, 2010).

Adanya dampak negatif yang ditimbulkan oleh SO₂ dan NO₂ dari pembakaran batu bara dan briket BCF, maka diperlukan data dan informasi mengenai emisi gas yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar di dalam boiler, baik pada saat menggunakan batu bara maupun briket BCF. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengukur konsentrasi emisi SO₂ dan NO₂ dari penggunaan bahan bakar batu bara yang disubstitusi dengan 10% BCF dan membandingkannya dengan konsentrasi emisi batu bara saja.

2. Metodologi

Briket merupakan salah satu sumber energi yang biasanya terbuat dari biomassa yang dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif. Briket dapat dibuat dengan komposisi atau bahan baku yang mudah ditemukan, seperti batok kelapa, sekam padi, arang sekam, serbuk kayu (serbuk gergaji), tongkol jagung, daun, dan lain-lain (Pratama dkk., 2018).

Komposisi briket BCF terdiri dari 40% sampah campuran dan 60% *bottom ash*. *Bottom ash* yang digunakan adalah *bottom ash* yang berasal dari hasil pembakaran batu bara di boiler. Sedangkan sampah yang dimanfaatkan berasal dari sampah perkotaan dan sampah dari Waduk Saguling.

Pada saat pengukuran emisi gas SO₂ dan NO₂, Balai Besar Pulp dan Kertas menggunakan alat MRU Optima 7 yang mengacu pada metode IK-Paskal-LU.MU-03 untuk SO₂ dan IK-Paskal-LU.MU-01 untuk NO₂, metode tersebut didasarkan pada instruksi kerja milik Balai Besar Pulp dan Kertas.

Pengukuran dilakukan pada boiler dan cerobong yang sama, dengan dua pengaturan bahan bakar: i) pembakaran 100% batu bara, dan ii) batu bara 90% + briket BCF 10%. Hasil dari kedua percobaan tersebut dibandingkan satu sama lain serta membandingkan dengan baku emisi yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup no. 7 Tahun 2007.

Pada buku manual dikatakan bahwa MRU Optima 7 dilengkapi dengan sensor elektrokimia untuk O₂, CO, NO, NO₂, NO_x, SO₂, suhu, dan kecepatan gas buang. MRU Optima 7 dikombinasikan dengan probe ekstraksi untuk dimasukkan ke dalam cerobong, pompa gas internal penganalisis MRU Optima 7 akan mengekstraksi sebagian gas buang dari cerobong dan menganalisisnya menggunakan sensor elektrokimia. Termoelemen dalam tabung probe juga mengukur suhu gas. Hasil pengukuran emisi gas pada cerobong akan dicatat langsung di alat dalam satuan ppm (Hintz, 2020).

Menemukan aliran inti akan membantu dalam menemukan titik pengukuran yang optimal dalam cerobong. Aliran inti dapat diidentifikasi dengan suhu gas buang maksimum. Pada saat reaksi tinggi, analyzer menampilkan tren suhu gas buang. Adapun cara untuk memposisikan probe dalam aliran inti adalah sebagai berikut:

1. Masukkan pipa probe perlahan-lahan ke dalam cerobong.
2. Posisikan probe ketika telah mencapai suhu gas buang maksimum.
3. Suhu maksimum tercapai saat tanda pada layar MRU Optima 7 menghilang dan sinyal dengan bunyi “Bip” berhenti.
4. Setelah aliran inti yang benar tercapai, pasang probe dengan sekrup kerucut probe lalu nilai pengukuran akan muncul pada layar.

3. Hasil dan Pembahasan

Bahan bakar yang digunakan adalah batu bara dan briket BCF. Jumlah bahan bakar yang digunakan dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Jumlah konsumsi bahan bakar

<i>Boiler</i>	Jumlah Bahan Bakar Batu bara Sebelum Substitusi BCF (ton/hari)	Jumlah Bahan Bakar Setelah Substitusi 10% BCF	
		Batu bara	<i>Biomass Coal Fuel</i> (BCF)
Percobaan 1: Fire tube boiler	7	-	-
Percobaan 2: Fire tube boiler	-	6.3	0.7

Sumber: Hasil observasi, 2020

Karakteristik masing-masing bahan bakar dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik bahan bakar

Sampel	Kadar air (%)	Kadar abu (%)	Nilai kalor (cal/g)	Volatile matter (%)	Fixed carbon (%)	Total sulfur (%)	Nitrogen (%)
Batu bara	23.15	2.65	5,223.00	37.00	37.13	0.24	0.19
Batu bara + 10% BCF	21.57	7.69	4,950.78	35.54	21,26	0.28	0.87

Sumber: LIPI, 2020

A. Konsentrasi SO₂ dan NO₂

1. Sulfur Dioksida (SO₂)

Data emisi konsentrasi SO₂ untuk pembakaran batu bara dan batu bara + 10% BCF dapat dilihat pada tabel 3.

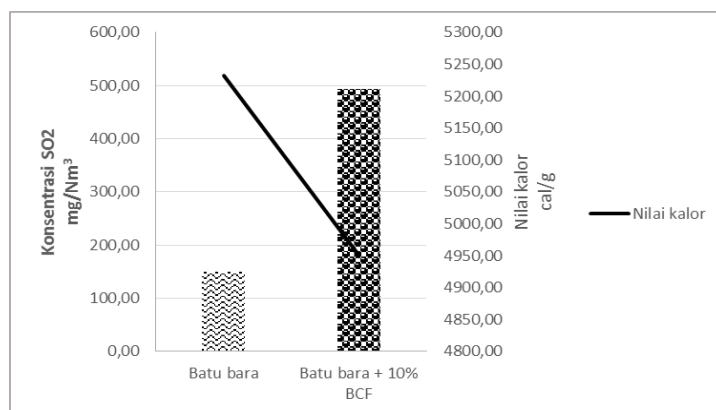
Table 3. Konsentrasi SO₂

Tanggal sampling	Batu bara (mg/Nm ³)	Batu bara + 10% BCF (mg/Nm ³)	Baku mutu
26-02-2020	150.00 ¹⁾	-	750.00 ²⁾
09-03-2020	-	493.90 ¹⁾	701.43 ³⁾

Sumber: ¹⁾ Balai Besar Pulp dan Kertas, 2020

²⁾ PerMenLH no. 7 lampiran IV, 2007

³⁾ PerMenLH no. 7 lampiran VII, 2007



Gambar 1. Grafik konsentrasi SO₂ dan nilai kalor

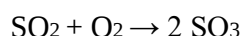
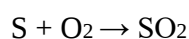
Mengacu pada jurnal Sukandi dkk. (2018) bahwa bahan bakar yang memiliki nilai kalor tinggi menghasilkan emisi gas yang lebih rendah, dibandingkan bahan bakar dengan nilai kalor rendah. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 1, pernyataan tersebut sesuai karena konsentrasi SO₂ yang dihasilkan dari pembakaran batu bara dengan nilai kalor 5.223 kal / g menghasilkan konsentrasi SO₂ sebesar 150,00 mg / Nm³, sedangkan batu bara + 10% BCF dengan nilai kalor 4950,78 kal / g menghasilkan konsentrasi SO₂ sebesar 493,90 mg / Nm³.

Kemudian dilakukan analisis berdasarkan karakteristik masing-masing bahan bakar. Dapat dilihat pada tabel 2 bahwa kandungan sulfur pada batu bara dan batu bara + 10% BCF mempengaruhi tinggi rendahnya konsentrasi SO₂. Kadar sulfur pada batu bara adalah 0,24% sedangkan kandungan sulfur pada briket batu bara + 10% BCF adalah 0,28%. Selain itu, transformasi sulfur dalam batu bara dipengaruhi oleh temperatur pembakaran Temperatur pembakaran dapat dilihat pada tabel 4 (Hou dkk., 2018).

Table 4. Konsentrasi SO₂ dan suhu pembakaran

Bahan bakar	SO ₂ (mg/Nm ³)	Suhu pembakaran (°C)
Batu bara	150,00	900 - 1100
Batu bara + 10% BCF	493,90	1200 - 1300

Menurut Hou (2008) ketika temperatur pembakaran mencapai 300°C, SO₂ mulai terbentuk, seiring dengan naiknya temperatur pembakaran SO₂ secara bertahap akan naik dan mencapai puncaknya pada temperatur sekitar 1100°C. Sedangkan saat pembakaran batu bara + 10% BCF, suhunya cenderung terus meningkat hingga 1300°C. Reaksi oksidasi sulfur terjadi selama pembakaran untuk menghasilkan SO₂. Secara umum reaksi pembentukan gas sulfur dioksida (SO₂) adalah sebagai berikut (Nugrainy dkk., 2015; Yunita dan Kiswandono, 2017).



Jumlah gas SO₃ biasanya tidak lebih dari 10% jumlah pembentukan SO₂.

2. Nitrogen Dioksida (NO₂)

Konsentrasi NO₂ dapat dilihat pada tabel 5.

Table 5. Konsentrasi NO₂

Tanggal sampling	Batu bara (mg/Nm ³)	Batu bara + 10% BCF (mg/Nm ³)	Baku mutu
26-02-2020	174.20 ¹⁾	-	825.00 ²⁾
09-03-2020	-	370.30 ¹⁾	816.91 ³⁾

Sumber: ¹⁾ Balai Besar Pulp dan Kertas, 2020

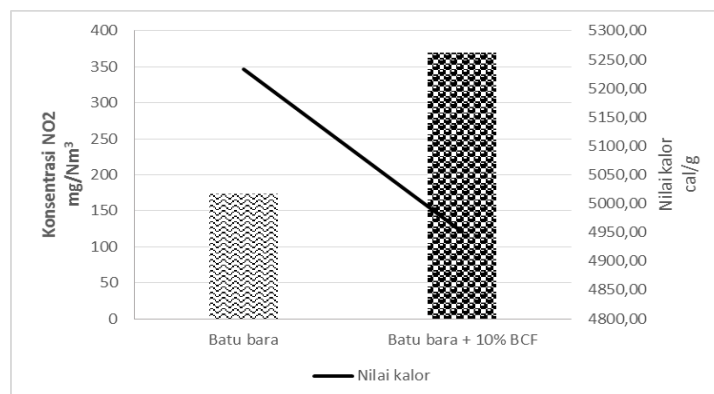
²⁾ PerMenLH no. 7 lampiran IV, 2007

³⁾ PerMenLH no. 7 lampiran VII, 2007

Menurut Sugiarto (2019) dan Fardiaz (1992), emisi NO₂ dipengaruhi oleh kandungan nitrogen dan volatile matter yang terkandung di dalam bahan bakar yang akan membentuk NO₂ selama proses pembakaran. Berdasarkan data kandungan nitrogen dan volatil matter menguap pada tabel 2. Kedua karakteristik tersebut tidak berpengaruh signifikan terhadap emisi. Karena nilai kandungannya berbanding terbalik dengan nilai konsentrasi NO₂.

Konsentrasi NO₂ pada batu bara lebih kecil dibandingkan konsentrasi NO₂ pada batu bara + 10% BCF. Konsentrasi NO₂ batu bara 174,20 mg / Nm³ sedangkan konsentrasi NO₂ batu bara + 10% BCF adalah 370,30 mg / Nm³.

Seperti yang diketahui, nitrogen hanya akan terbakar pada suhu tinggi. Mengacu pada EPA (1999) NO_x akan cepat terbentuk dari molekul nitrogen yang terdapat di udara yang bercampur dengan bahan bakar. Nitrogen yang terkandung di udara akan teroksidasi bersama dengan bahan bakar dan menjadi NO_x selama proses pembakaran.



Gambar 2. Grafik konsentrasi NO₂ dan nilai kalor

Nilai kalor yang tinggi menghasilkan emisi gas yang lebih rendah, dibandingkan dengan bahan bakar yang memiliki nilai kalor rendah. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2, pernyataan ini sesuai dengan konsentrasi NO₂ yang dihasilkan dari pembakaran batu bara dengan nilai kalor 5223,00 cal / g menghasilkan konsentrasi NO₂ sebesar 174,2 mg / Nm³,

sedangkan pembakaran batu bara + 10% BCF dengan nilai kalor 4950,78 cal / g menghasilkan konsentrasi NO₂ sebesar 370,30 mg / Nm³.

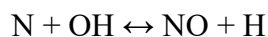
Nilai kalor tersebut dipengaruhi oleh kadar air, fixed carbon, dan kadar abu. Kadar air yang tinggi dapat menurunkan suhu pembakaran dan membuatnya sulit untuk menyala (Himawanto, 2003). Kandungan abu pada bahan bakar berperan dalam menurunkan nilai kalor yang berakibat pada penurunan kualitas bahan bakar, abu yang terdapat pada bahan bakar padat merupakan mineral yang tidak mudah terbakar (Yuwono dan Setiawan, 2009). *Fixed carbon* yang rendah pada bahan bakar akan menurunkan nilai kalornya begitu pula sebaliknya (Sudiro, 2014). Pernyataan ini berdasarkan hubungan antara nilai kalor dan karbon tetap dalam batu bara dan BCF yang digunakan. The calorific value is influenced by moisture content, fixed carbon, and ash content.

Pelepasan NO meningkat secara drastis dengan meningkatnya suhu pembakaran (Hou dkk., 2018). Temperatur pembakaran dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Konsentrasi NO₂ concentration dan suhu pembakaran

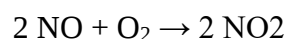
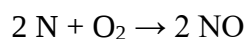
Bahan bakar	SO ₂ (mg/Nm ³)	Temperature (°C)
Batu bara	174.20	900 - 1100
Batu bara + 10% BCF	370.30	1200 - 1300

Pembentukan NO dari N₂ terjadi terutama dengan terbentuknya NO termal, seperti pada reaksi berikut



Pada reaksi pertama, pembentukan NO termal terjadi pada suhu sekitar 1500°C. Pembentukan N₂O terjadi saat temperatur pembakaran mencapai 800 - 900°C. Selama proses pembakaran, seluruh nitrogen yang terkandung dalam batu bara akan dilepaskan sebagai gas.

Menurut Hou (2018), NO₂ akan mulai diproduksi pada suhu pembakaran 300°C dan akan meningkat secara bertahap seiring dengan peningkatan suhu pembakaran dengan suhu puncak 1100°C. Sedangkan pada saat pembakaran batu bara + 10% BCF, suhunya cenderung terus meningkat hingga 1300°C. Reaksi pembentukan NO merupakan hasil samping dari proses pembakaran (Ilahi dan Nugroho). Reaksi pembentukan NO₂ dimulai dengan pembentukan NO.



A. Faktor Emisi

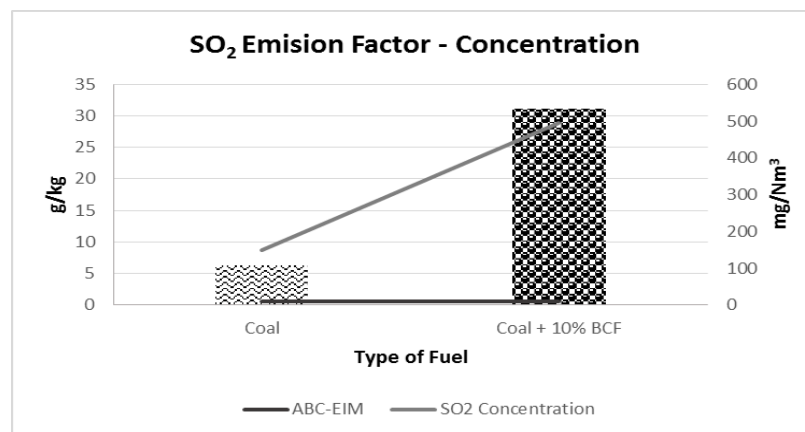
1. Sulfur Dioksida (SO₂)

Dari perhitungan yang dilakukan diketahui faktor emisi SO₂ seperti pada tabel 7.

Tabel 7. Faktor emisi SO₂

Batu bara (g/kg)	Batu bara + 10% BCF (g/kg)	ABC-EIM (g/kg)
6.30	31,09	0,69

Sumber: Hasil perhitungan, 2020



Sumber: Hasil perhitungan, 2020

Gambar 3. Grafik faktor emisi SO₂

Jika dibandingkan dengan faktor emisi dari literatur ABC-EIM yang memiliki nilai faktor emisi sebesar 0,69 g/kg untuk jenis batu bara lignit dengan kandungan sulfur 0,24% maka faktor emisi dari batu bara dan batu bara + 10% BCF memiliki nilai faktor emisi yang lebih tinggi dari nilai faktor emisi dalam literatur ABC-EIM.

Tabel 8 menunjukkan perbandingan faktor emisi batu bara hasil perhitungan, batu bara berdasarkan literatur, dan batu bara + 10% BCF.

Table 8. Faktor emisi SO₂

Batu bara	Faktor emisi (g/kg)	Sumber
Batu bara	6.30	Hasil perhitungan
Batu bara + 10% BCF	31.09	Hasil perhitungan
Briket batu bara (literatur)	19,90	(Ge dkk., 2001)
Batu bara ABC-EIM	0.69	(Shrestha dkk., 2013)

Dapat dilihat pada tabel 7 bahwa setiap bahan bakar yang digunakan dari beberapa literatur memiliki nilai faktor emisi yang berbeda. Faktor emisi briket batu bara yang

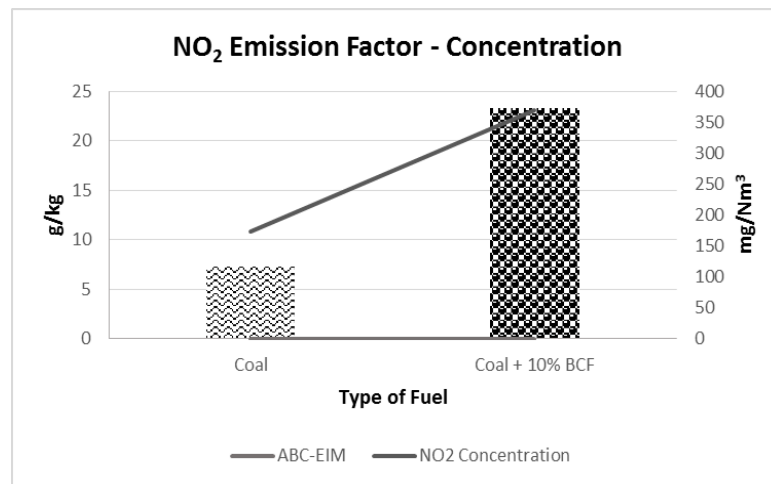
mengacu pada jurnal Ge (2001) memiliki nilai 19,9 g/kg, lebih kecil dari nilai faktor emisi dalam perhitungan faktor emisi SO₂ PT. X untuk bahan bakar batu bara adalah + 10% BCF, namun lebih besar jika dibandingkan dengan nilai faktor emisi batu bara dan batu bara ABC-EIM. Briket yang digunakan dalam jurnal Ge (2001) adalah briket yang telah diformulasi (Ge dkk., 2001).

2. Nitrogen Dioksida (NO₂)

Dari perhitungan yang dilakukan diketahui bahwa faktor emisi NO₂ seperti pada tabel 9.

Table 9. Faktor emisi NO₂

Batu bara (g/kg)	Batu bara + 10% BCF (g/kg)	ABC-EIM (g/kg)
7.31	23.31	0,01



Sumber: Hasil perhitungan, 2020

Gambar 4. Grafik faktor emisi NO₂

Jika faktor emisi untuk batu bara + 10% BCF dan hanya batu bara saja dibandingkan dengan nilai faktor emisi dari literatur ABC-EIM, maka kedua faktor emisi tersebut melebihi estimasi faktor emisi ABC-EIM untuk jenis batu bara lignit yang hanya 0,01 g/kg . Perbedaan antara kedua faktor emisi tersebut relatif jauh lebih besar jika dibandingkan dengan faktor emisi ABC-EIM.

Tabel 10 menunjukkan perbandingan faktor emisi batu bara sesuai perhitungan, batu bara berdasarkan literatur, dan batu bara + 10% BCF.

Tabel 10. Faktor emisi NO₂

Bahan bakar	Faktor emisi (g/kg)	Sumber
Batu bara	7,31	Hasil perhitungan
Batu bara + 10% BCF	23,31	Hasil perhitungan

Bahan bakar	Faktor emisi (g/kg)	Sumber
Batu bara (literatur)	0,597	(Deru dan Torcellini, 2007)
Batu bara (ABC-EIM)	0,01	(Shrestha dkk., 2013)

Diketahui faktor emisi NO_x untuk batu bara lignit adalah 5,97 g/kg. Berdasarkan jurnal Finlayson-Pitts dan Pitts Jr (1986) kandungan NO₂ dalam NO_x adalah 10%. Jadi emisi NO₂ berdasarkan literatur jurnal Deru dan Torcellini (2007) adalah 0,597 g/kg. Dapat dilihat pada tabel 10 di atas bahwa faktor emisi dari penggunaan bahan bakar batu bara + 10% BCF memiliki nilai faktor emisi terbesar.

4. Kesimpulan

Konsentrasi SO₂ pada penggunaan bahan bakar batu bara adalah 150 mg / Nm³ dan penggunaan bahan bakar campuran (batu bara + 10% BCF) adalah 493,90 mg / Nm³. Konsentrasi NO₂ pada penggunaan bahan bakar batu bara adalah 174,20 mg / Nm³ sedangkan untuk penggunaan bahan bakar campuran (batu bara + 10% BCF) adalah 370,30 mg / Nm³. Faktor emisi SO₂ untuk penggunaan bahan bakar batu bara adalah 6,30 g/kg, sedangkan untuk penggunaan bahan bakar campuran (batu bara + 10% BCF) sebesar 31,09 g/kg. Faktor emisi NO₂ untuk penggunaan bahan bakar batu bara adalah 7,31 g/kg sedangkan untuk bahan bakar campuran (batu bara + 10% BCF) adalah 23,31 g/kg. Dari hasil uji emisi dan analisis yang telah dilakukan, diketahui bahwa konsentrasi SO₂ dan NO₂ pada batu bara dan briket masih di bawah baku mutu yang dipersyaratkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 7 Tahun 2007.

5. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Pusat Penelitian Geoteknologi (LIPI) yang telah memberikan dukungan secara finansial maupun teknis, Industri (PT. X) yang telah memberikan fasilitas untuk melakukan percobaan ini, lalu terima kasih juga kepada pihak lain yang terlibat dalam penelitian ini atas berbagai dukungan selama pelaksanaan studi.

References

- Budiyono, A. (2010). Pencemaran udara: dampak pencemaran udara pada lingkungan. *Berita Dirgantara*, 2(1).
- Deru, M. P., dan Torcellini, P. A. (2007). *Source energy and emission factors for energy use in buildings*: National Renewable Energy Laboratory Golden, CO.
- EPA. (1999). *Technical Bulletin: Nitrogen Oxides (NO_x), Why and How They Are Controlled* USEPA (Ed.)

- Finlayson-Pitts, B. J., dan Pitts Jr, J. N. (1986). Atmospheric chemistry. Fundamentals and experimental techniques.
- Ge, S., Bai, Z., Liu, W., Zhu, T., Wang, T., Qing, S., dan Zhang, J. (2001). Boiler briquette coal versus raw coal: Part I—Stack gas emissions. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 51(4), 524-533.
- Himawanto, D. (2003). Pengolahan limbah pertanian menjadi biobriket sebagai salah satu bahan bakar alternatif. *Laporan Penelitian. UNS. Surakarta*.
- Hintz, E. (2020). User Manual Optima 7. In M. A. fair (Ed.). Neckarsulm: MRU AIR fair.
- Hou, J., Ma, Y., Li, S., dan Shang, W. (2018). A comparative study on characteristics of sulfur and nitrogen transformation and gaseous emission for combustion of bituminous coal and char. *Carbon Resources Conversion*, 1(1), 86-93.
- Ilahi, A. F., dan Nugroho, S. EFEK PERLAKUAN PENERING AIR INTAKE TERHADAP REACTION CHAMBER PRESSURE NO/NO₂/NO_x ANALYZER MODEL 42iTL. *MEGASAINS*, 85.
- Nugrainy, G. S., Sudarno, S., dan Cahyadi, C. (2015). *Upaya Penurunan Emisi SO₂ Dari Bahan Bakar Batubara Kualitas Rendah (Tipe: Subbituminous) dengan Campuran Batu Kapur (Limestone) pada Proses Pembakaran*. Diponegoro University.
- Pratama, Y. A., Pramudia, A. C., dan Putra, S. S. (2018). *PENGARUH VARIASI KOMPOSISI BAHAN DASAR AN VARIASI TEKANAN TERHADAP NILAI KALOR DAN TEMPERATUR PADA BRIKET CAMPURAN SEKAM PADI DAN BATU BARA*. UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945.
- Shrestha, R. M., Kim Oanh, N., Shrestha, R., Rupakheti, M., Rajbhandari, S., Permadi, D., Kanabkaew, T., dan Iyngararasan, M. (2013). Atmospheric Brown Clouds: Emission Inventory Manual.
- Sudiro, S. S. (2014). Pengaruh komposisi dan ukuran serbuk briket yang terbuat dari batubara dan jerami padi terhadap karakteristik pembakaran. *Jurnal Sainstech Politeknik Indonusa Surakarta ISSN*, 2355-5009.
- Suganal, S., dan 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.
- Sugiarto, Herawati, P., dan Riyanti, A. (2019). Analisis Konsentrasi SO₂, NO₂ dan Partikulat pada Sumber Emisi Tidak Bergerak (Cerobong) Berbahan Bakar Batubara dan Cangkang (Studi Kasus di Kabupaten Muaro Jambi). *Jurnal Daur Lingkungan*, 2(1), 21-28.
- Sukandi, A., Solahuddin, M. I., dan Rasyid, M. K. (2018). Analisis Pengaruh Perbedaan Nilai HHV (High Heating Value) Batubara terhadap Gas Hasil Pembakaran pada Boiler.
- Yunita, R. D., dan Kiswandono, A. A. (2017). KAJIAN INDEKS STANDAR PENCEMAR UDARA (ISPU) SULFUR DIOKSIDA (SO₂) SEBAGAI POLUTAN UDARA PADA TIGA LOKASI DI KOTA BANDAR LAMPUNG. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 2(1).
- Yuwono, J., dan Setiawan, I. B. (2009). *Pengaruh penambahan bahan penyala pada briket arang dari limbah serbuk kayu jati*. [Yogyakarta]: Universitas Gadjah Mada.