

# PENGARUH *EXCESS AIR* TERHADAP *CO-FIRING* BATU BARA DENGAN BRIKET MSW MENGGUNAKAN INSINERATOR *FLUIDIZED BED*

Edgar Reinard Lie, I Nyoman Suprpta Winaya, I Gede Putu Agus Suryawan  
*Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali*

## Abstrak

Salah satu cara untuk mengurangi timbunan sampah padat kota atau *Municipal Solid Waste* (MSW) adalah dengan mengolahnya menjadi bahan bakar, salah satu contoh olahannya adalah briket MSW. *Co-firing* merupakan metode pembakaran campuran dua bahan bakar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan udara (*excess air*) terhadap performansi pembakaran *co-firing* berupa *flue gas* dan efisiensi pembakaran. Pembakaran terjadi pada insinerator *fluidized bed* yang terdiri dari *fuel feeder*, plat distributor dan reaktor dengan ketinggian 1 m, dan diameter 0.64 m, dimana bahan bakar akan dimasukkan dari *fuel feeder* yang terletak diatas reaktor kemudian *excess air* akan dialirkan dari bagian bawah reaktor menggunakan kompresor dan panas disuplai menggunakan *heater* yang terkontrol melalui panel kontrol listrik sebesar 800°C. Bahan bakar terdiri dari briket MSW yang berasal dari Tempat Pengolahan Sampah Terpadu Kertalunggu, Denpasar dan batu bara dengan komposisi campuran batu bara sebanyak 95% dan briket MSW 5% dengan massa total 140 gram. Variasi penambahan udara yang digunakan yaitu, variasi 1 (stoikiometris), variasi 2 (*excess air* 10%), variasi 3 (*excess air* 20%), dan variasi 4 (*excess air* 30%). Hasil penelitian eksperimental ini menunjukkan reaksi pembakaran yang lebih baik ditandai dengan penurunan tingkat kandungan CO dan meningkatnya kandungan CO<sub>2</sub> pada *flue gas* seiring dengan peningkatan *excess air*. Efisiensi pembakaran terbaik diperoleh pada variasi 3 dengan *excess air* 20% diperoleh nilai 89% dan terjadi penurunan pada variasi 4 dengan *excess air* 10% diperoleh nilai 82%, hal ini menunjukkan penambahan *excess air* berlebihan bisa menurunkan efisiensi pembakaran.

Kata kunci : *Co-firing*, Briket MSW, *Fluidized Bed*, Insinerator, Efisiensi, Emisi Gas Buang

## Abstract

*One way to reduce pile of Municipal Solid Waste (MSW) is convert it to fuel, one of the example is MSW briquette. Co-firing is a method of burning two mixture two different fuel. This research is aim to determine effect of excess air on performance of co-firing combustion on the flue gas and combustion efficiency. Combustion occur in a fluidized bed incinerator consisting of fuel feeder, distributor plate, and a reactor with 1 m height and 0.64 m diameter, the fuel will be fed into the reactor through the fuel feeder located above the reactor then excess air will flowed from the bottom of reactor and heat supplied using a controlled heater via an electric control panel at 800°C . The fuel consist of MSW briquette originating from TPST Kertalunggu, Denpasar and coal with composition 95% of coal and 5% of MSW briquette with a total mass of 140 gram. Variations of excess air that used are variaton 1 (stoichiometric), variation 2 (excess air 10%), variation 3 (excess air 20%), and variation 4 (excess air 30%). The result of this experimental show a better combustion reaction characterized by decrease of CO content and increased CO<sub>2</sub> content in flue gas as excess air increased. The best combustion efficiency occurred at third variation with excess air 20% which is 89% and decrease occurred in fourth variation with excess air 30% which is 82%, it is show that adding too much excess air can reduce the combustin efficiency.*

Keywords: *Co-firing*, MSW briquette, *fluidized bed*, incinerator, Efficiency, Flue Gas

## 1. Pendahuluan

Negara Indonesia tercatat menghasilkan *municipal solid waste* (MSW) sebanyak lebih dari 38,5 ton dengan potensi meningkat 2-3% di setiap tahunnya [1]. Apabila sampah yang dihasilkan tidak ditangani dengan tepat, sampah tersebut bisa menyebabkan banyak hal negatif bagi lingkungan. Karena itu, lebih baik lagi sampah-sampah tersebut diolah lagi agar bisa dimanfaatkan untuk kebutuhan yang lebih berguna.

Teknologi yang menjanjikan untuk mengurangi MSW atau bisa juga disebut sampah padat kota yaitu, dengan membakar MSW tersebut untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi pembangkit listrik seperti batu bara [2]. Untuk mewujudkan itu maka MSW diolah menjadi briket yang memiliki karakteristik mirip dengan batu bara. Briket MSW yang digunakan pada penelitian ini dibuat di TPST Kertalangu dengan campuran 50% bahan organik dan 50% bahan anorganik melewati

beberapa tahapan yang terdiri dari tahapan pemisahan dan produksi.

*Co-firing* briket biomassa (briket MSW) dengan batubara memperkenalkan *biofuel* sebagai sumber energi tambahan dalam penggunaan boiler efisiensi tinggi. Berdasarkan jenis reaktornya, metode *fluidized bed* terdiri atas tiga jenis, salah satunya adalah *Bubbling Fluidized Bed Combustion* (BFBC). Metode BFBC memiliki kelebihan di antaranya mampu berfungsi pada beberapa tekanan, kontrol termal yang relatif lebih mudah, kandungan metana yang tinggi dalam *syngas*, serta mampu berfungsi dengan ukuran partikel yang bervariasi.

Stoikiometri memungkinkan menghitung kebutuhan udara untuk mendapatkan pembakaran sempurna [3]. Sebelumnya telah dilakukan pengujian pembakaran batu bara menggunakan FBC [4] dengan variasi pertama sesuai dengan keadaan stoikiometri, variasi kedua sebesar 24% hanya udara primer, variasi ketiga sebesar 46% udara primer dan sekunder. Dari hasil penelitian tersebut, dijelaskan bahwa semakin banyak *excess air* maka akan menurunkan pembentukan CO, CH<sub>4</sub> dan H<sub>2</sub>, tetapi penambahan udara juga menurunkan temperatur di dalam *riser* secara keseluruhan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performansi pembakaran *co-firing* batu bara dan briket MSW dengan insinerator *fluidized bed* tipe *bubbling*.

- Variasi yang digunakan adalah pembakaran stoikiometri, kelebihan udara 10%, kelebihan udara 20% dan kelebihan udara 30%
- *Bed* material yang digunakan adalah pasir silika dengan *mesh* 0.5 – 0.8 mm.
- Uji penelitian ini meliputi efisiensi pembakaran dan emisi gas buang yang dihasilkan.

## 2. Dasar Teori

Pada tahun 2022 tercatat pada Dinas Kehutanan dan Lingkungan Hidup terdapat 296.012,41 ton sampah yang dikelola dan terdapat 20.300,24 ton sampah yang tidak dikelola di kota Denpasar. Sampah-sampah tersebut dihasilkan dari berbagai macam kegiatan. Beberapa jenis sampah yang dihasilkan umumnya berupa sisa-sisa makanan, plastik, kaleng, kayu, kertas, sayuran dan buah-buahan busuk. Apabila tidak ada tindakan lanjut terhadap sampah-sampah tersebut, maka akan menimbulkan pengaruh-pengaruh buruk terhadap lingkungan maupun kesehatan manusia. Angka tersebut dapat ditkekan lagi menjadi lebih rendah dengan mengolah sampah-sampah tersebut agar bisa dimanfaatkan sehingga menjadi bernilai. Salah satu contoh pemanfaatan sampah adalah diolah menjadi bahan bakar.

Briket adalah salah satu cara yang digunakan untuk mengkonversi sampah-sampah menjadi bentuk *biofuel* dengan cara dimampatkan sehingga bentuknya lebih teratur, salah satu contohnya adalah briket MSW [5]. Berikut proses pengolahan sampah sampai menjadi briket MSW, pembuatan briket MSW yang dilakukan di TPST Kertalunggu dilakukan dengan cara memilah sampah mulai dari ukuran 20 – 60 cm. Kemudian sampah yang memiliki ukuran diatas 20 cm didistribusikan dengan *Conveyor* menuju *Manual Sorting Table*. Sampah-sampah yang tidak memiliki nilai jual dilanjutkan pada proses pencacahan yaitu dengan mesin *Primary Shredder*. Sampah hasil cacahan dilanjutkan pada mesin *Turbo Separator* yang berfungsi untuk memisahkan partikel organik dan mix partikel. Kemudian sampah diletakan pada Area WIP (*Work in Progress*).

Produksi sampah yang berada di Area WIP diinput ke dalam pada *Box Feeder* yang ada di *Rotary Dryer*. Kemudian dimasukkan ke dalam mesin *Rotary Dryer* yang bertujuan untuk melakukan pengeringan pada material sampah. Setelah itu, sampah hasil pengeringan didistribusikan dengan *Conveyor* menuju *Briquetting Machine*. Sampah diolah dan dibentuk menjadi Briket dengan suhu operasi 120 – 180°C dan didapatkan sehingga menjadi Briket.

*Bubbling fluidized bed* memiliki beberapa tahapan kerja, pada tahap awal *bed material* solid berada di posisi bawah insinerator, lalu pada tahap berikutnya *bed material* diperlakukan seperti fluida oleh udara yang masuk dari inlet udara primer. Untuk aplikasinya, distribusi bahan bakar harus diperhatikan dengan hati-hati untuk menghindari *carry-over* yang berlebihan dari partikel halus sebelum terbakar sepenuhnya atau tersegresi partikel besar yang tidak akan terfluidasi dengan baik. *Bubbling fluidized bed* baik digunakan untuk batu bara, biomassa dan limbah padat plastik [3].

Kelebihan udara atau *excess air* merupakan jumlah udara yang masuk ke dalam proses pembakaran melebihi jumlah teoritis yang diperlukan untuk pembakaran sempurna (stoikiometri) bahan bakar tertentu [6]. Penelitian yang sudah dilakukan [7] menunjukkan ketika pembakaran *biofuel*, emisi CO dan C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> bisa dengan efektif dikurangi dengan meningkat jumlah *excess air* dengan penambahan yang masih dalam jangkauannya. Diketahui *excess air* dapat mengurangi emisi gas buang karena dapat mengurangi waktu tinggal selama partikel diperlakukan sebagai fluida di dalam ruang bakar. Karena kecepatan fluida yang tinggi, *volatile matter* dilepaskan pada *bed material* dan batu bara terangkat dari hamparan tanpa oksidasi.

## 3. Metode Penelitian

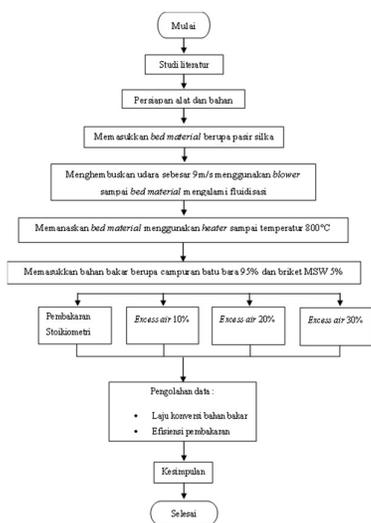
### 3.1 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Reaktor

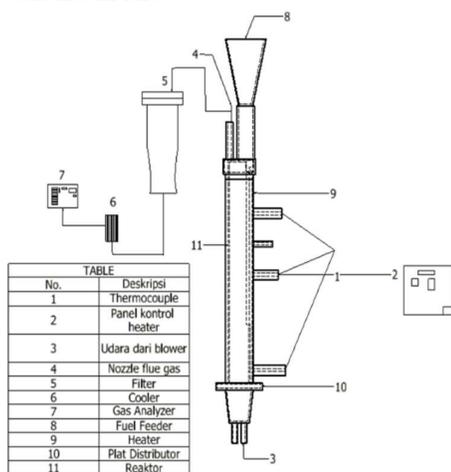
2. Heater
3. Thermocouple
4. Data logger
5. Gas analyzer
6. Kompresor
7. Kontrol Panel Listrik
8. Batubara
9. Briket MSW

### 3.2 Diagram alir penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### 3.3 Skematik Alat



Gambar 2 Skematik Alat

### 3.4 Efisiensi Pembakaran

Efisiensi pembakaran dapat dihitung dengan mengukur jumlah kalor yang masuk dan jumlah kalor yang dilepaskan dalam proses pembakaran. Untuk menghitung efisiensi pembakaran dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$\eta = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} \quad (1)$$

$$Q_{in} = m_{bb} \times LHV_{bb} \quad (2)$$

$$Q_{out} = V_{gas} \times LHV_{gas} \quad (3)$$

$\eta$  = Efisiensi (%)

$Q_{in}$  = Energi yang masuk (kkal)

$Q_{out}$  = Kalor yang dilepaskan (kkal)

$m_{bb}$  = massa bahan bakar (kg)

$V_{gas}$  = Volume gas buang ( $m^3$ )

$LHV$  = Nilai kalor rendah (kkal/kg)

## 4 Hasil dan Pembahasan

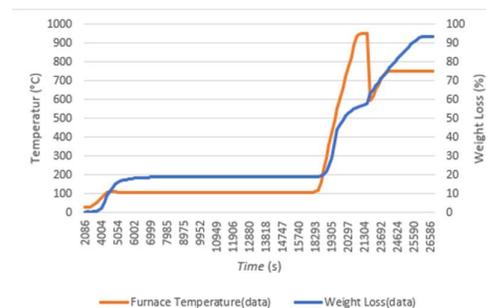
### 4.1 Karakterisasi Bahan Bakar

Karakterisasi bahan bakar dilakukan untuk menganalisis kandungan bahan yang digunakan sebelum dan sesudah penelitian. Karakterisasi bahan bakar dilakukan menggunakan pengujian uji proximate menggunakan alat Thermogravimetri Analyst 701 yang dilakukan menggunakan metode ASTM D-7582 MVA BIOMA.

Tabel 1. Hasil Uji Proximate Bahan Bakar

Bahan Bakar	Kadar Air (%)	Bahan Menguap (%)	Karbon Tetap (%)	Abu (%)
Briket MSW 5% + Batubara 95%	18.82	38.89	39.10	6.73

Gambar 3 menunjukkan grafik peningkatan *weight loss* seiring dengan kenaikan temperatur pada bahan bakar.



Gambar 3 Grafik TGA Briket MSW 5% + Batubara 95%

### 4.2 Karakterisasi Nilai Kalor Bahan Bakar

Analisis nilai kalor digunakan untuk mengetahui jumlah energi panas yang terlepas untuk tiap satuan massa bahan bakar. Berikut adalah tabel hasil pengujian nilai kalor bahan bakar berupa batu bara 95% dengan briket MSW 5%. Pengujian nilai kalor dilakukan menggunakan alat Parr 1341 Oxygen Bomb Calorimeter dengan standar ASTM *Standard Test Method D5865*. Berikut adalah hasil pengujian

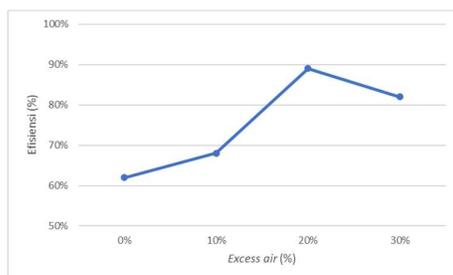
nilai kalor dari bahan bakar yang digunakan pada penelitian ini.

**Tabel 2. Analisis Nilai Kalor Bahan Bakar**

Bahan Bakar	Berat Sampel (gram)	Nilai Kalor Sampel Bahan Bakar			
		Temperatur		Nilai Kalor	
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	(Cal/gr)	(Mj/Kg)
Briket MSW 5% + Batubara 95%	1.00164	27.545	29.848	4275.54	17.90

### 4.3 Efisiensi

Efisiensi pembakaran merupakan perbandingan antara jumlah kalor dari bahan bakar dan kalor yang lepas selama proses pembakaran. Persentase efisiensi pembakaran nantinya menunjukkan seberapa besar nilai kalor yang berguna saat proses pembakaran. Dapat dilihat pada gambar 4 nilai efisiensi terbaik terdapat pada variasi *excess air* 20%.

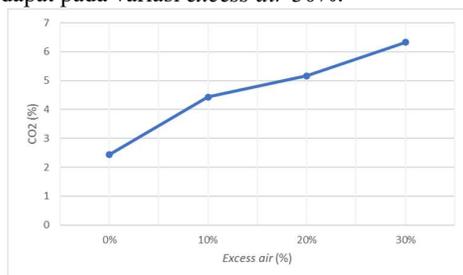


**Gambar 4 Grafik Efisiensi Pembakaran**

Diketahui terjadi penurunan efisiensi pada *excess air* 30% dikarenakan semakin banyak udara yang masuk ke reaktor mengakibatkan menurunnya temperatur pembakaran dikarenakan semakin banyak kalor yang dipelaskan ke gas buang karena kecepatan fluidisasi yang ikut meningkat.

### 4.4 Emisi CO<sub>2</sub>

Tingkat emisi CO<sub>2</sub> menunjukkan kualitas dari pembakaran dari *co-firing* batu bara dan briket MSW. Kandungan CO<sub>2</sub> pada gas buang tiap variasi bisa dilihat pada gambar 5 Kandungan CO<sub>2</sub> tertinggi terdapat pada variasi *excess air* 30%.



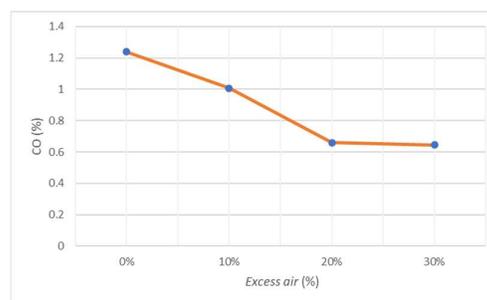
**Gambar 5 Grafik Kandungan CO<sub>2</sub> pada Gas Buang**

Pada gambar di atas menunjukkan kenaikan nilai CO<sub>2</sub>, hal tersebut terjadi karena semakin tinggi *excess air*

mengakibatkan kenaikan kecepatan udara. Semakin banyak udara yang masuk ke reaktor menyebabkan semakin banyak juga jumlah oksigen yang beraksi dengan bahan bakar ketika pembakaran terjadi yang menyebabkan nilai kandungan CO<sub>2</sub> pada gas buang terus meningkat seiring dengan penambahan *excess air* [6].

### 4.5 Emisi CO

Tingkat emisi CO juga menunjukkan kualitas performansi dari pembakaran *co-firing* batu bara dan briket MSW. Kandungan CO pada gas buang dari tiap variasi bisa dilihat pada gambar 6 Kandungan CO tertinggi terdapat pada variasi tanpa *excess air*.



**Gambar 6 Grafik Kandungan CO pada Gas Buang**

Penambahan *excess air* bisa dilihat pada grafik menurunkan kandungan CO dalam gas buang. Hal ini terjadi dikarenakan karena semakin tinggi *excess air* mengakibatkan tingkat fluidisasi yang lebih tinggi, sehingga gas volatil terbakar yang menyebabkan terjadinya oksidasi sebelum mengenai bed material [6].

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penambahan *excess air* berpengaruh terhadap performansi pembakaran *co-firing* batu bara dan briket MSW dari TPST Kertalunggu, Denpasar.

Penambahan *excess air* menyebabkan reaksi pembakaran yang lebih baik ditandai dengan semakin sedikitnya kandungan CO dan meningkatnya kandungan CO<sub>2</sub> pada *flue gas*. Hal ini disebabkan semakin banyak jumlah udara akan menambah oksidator dalam reaksi.

Dari hasil yang diperoleh performansi terbaik terdapat pada variasi *excess air* 20% dengan efisiensi pembakaran tertinggi, diikuti dengan variasi *excess air* 30% dan efisiensi terendah pada pembakaran stoikiometricnya.

### Daftar Pustaka

- [1] F. D. Qonitan, I. Wayan Koko Suryawan, and A. Rahman, "Overview of Municipal Solid Waste Generation and Energy Utilization Potential in Major Cities of Indonesia," in *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing Ltd, Apr. 2021. doi: 10.1088/1742-6596/1858/1/012064.

- [2] J. I. Gug, D. Cacciola, and M. J. Sobkowicz, "Processing and properties of a solid energy fuel from municipal solid waste (MSW) and recycled plastics," *Waste Management*, vol. 35, pp. 283–292, Jan. 2015, doi: 10.1016/j.wasman.2014.09.031.
- [3] J. Van Caneghem *et al.*, "Fluidized bed waste incinerators: Design, operational and environmental issues," *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 38, no. 4. Elsevier Ltd, pp. 551–582, 2012. doi: 10.1016/j.peccs.2012.03.001.
- [4] S. Ibrahim and T. A. Rohmat, "Pengaruh Udara Lebih dan Udara Sekunder Terhadap Karakteristik Pembakaran Pada Circulating Fluidized Bed Combustor," 2021.
- [5] Arhamsyah, "Pemanfaatan Biomassa Kayu Sebagai Sumber Energi Terbarukan," 2010.
- [6] P. R. Wander, F. M. Bianchi, N. R. Caetano, M. A. Klunk, and M. L. S. Indrusiak, "Cofiring low-rank coal and biomass in a bubbling fluidized bed with varying excess air ratio and fluidization velocity," *Energy*, vol. 203, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.energy.2020.117882.
- [7] M. Varol, A. T. Atımtay, H. Olgun, and H. Atakül, "Emission characteristics of co-combustion of a low calorie and high sulfur-lignite coal and woodchips in a circulating fluidized bed combustor: Part 1. Effect of excess air ratio," *Fuel*, vol. 117, no. PART A, pp. 792–800, 2014, doi: 10.1016/j.fuel.2013.09.051.

