

# UJI *CO-FIRING* BATUBARA DENGAN BRIKET MSW MENGGUNAKAN INSINERATOR *FLUIDIZED BED*

Bryan Steve Immanuel, I Nyoman Suprapta Winaya, I Gede Putu Agus  
Suryawan, I Putu Angga Yuda Pratama

Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Metode *co-firing* telah muncul sebagai strategi yang menjanjikan dalam mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dalam industri pembangkit listrik. *Co-firing* melibatkan pembakaran bersama bahan bakar biomassa dengan bahan bakar fosil konvensional dalam tungku pembakaran yang ada. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performansi *co-firing* pada insinerator *fluidized bed* menggunakan sumber bahan bakar briket MSW yang bersumber dari TPST Kertalangu Denpasar dengan campuran bahan bakar batubara. Panas yang digunakan sebesar 800°C yang disuplai oleh *heater* terkontrol melalui kontrol panel listrik. Uji coba pembakaran briket MSW dan batu bara dilakukan dalam insinerator *fluidized bed* dengan volume ruang bakar 902,75 cm<sup>3</sup>, dengan ruang fluidisasi sebesar 451,375 cm<sup>3</sup>, ruang bahan bakar 150,46 cm<sup>3</sup> dan ruang bed material 300,92cm<sup>3</sup>. Melalui proses konversi ke fraksi massa, maka didapati kebutuhan massa bahan bakar yaitu 140 gram untuk mengisi volume bahan bakar di dalam reaktor, sehingga persentase briket 8% memiliki perbandingan massa briket MSW sebesar 11.2 gram dan batu bara sebesar 128.8 gram, dan selanjutnya mengikuti persentase briket MSW yang sudah ditentukan dalam penelitian kali ini. Penelitian ini menggunakan kecepatan udara 9m/s untuk menjaga kualitas pembakaran. Hasil penelitian eksperimental ini menunjukkan penurunan efisiensi pembakaran terjadi seiring bertambahnya jumlah briket MSW. Performansi terbaik terjadi di variasi briket 8% dengan menghasilkan nilai NPHR sebesar 881,7 kcal/kWh.

Kata kunci : *Co-firing*, Briket MSW, *Fluidized Bed*, Insinerator, NPHR

## Abstract

*The co-firing method has emerged as a promising strategy in reducing dependence on fossil fuels in the power generation industry. Co-firing involves co-burning biomass fuel with conventional fossil fuel in an existing combustion furnace Utilizing energy from municipal solid waste (MSW) is a feasible method through various processes, one of which is combustion. This research aims to investigate the combustion performance of co-firing in a fluidized bed incinerator using MSW briquette fuel sourced from the TPST Kertalangu in Denpasar, combined with coal fuel. The study utilizes a temperature of 800°C supplied by a heater that controlled through a control panel. The experiment on burning MSW briquettes and coal was conducted in a fluidized bed incinerator with a combustion chamber volume of 902.75 cm<sup>3</sup>, a fluidization chamber of 451.375 cm<sup>3</sup>, a fuel chamber of 150.46 cm<sup>3</sup>, and a bed material chamber of 300.92 cm<sup>3</sup>. Through the mass fraction conversion process, it was determined that the fuel mass requirement was 140 grams to fill the fuel volume inside the reactor. Thus, the 6% briquette percentage resulted in a mass ratio of 11.2 grams MSW briquettes and 128.8 grams coal, following the predetermined percentage of MSW briquettes in this study. The research utilized an air velocity of 9m/s to maintain combustion quality. The results of this experimental study indicate a decrease in combustion efficiency with an increase in the amount of MSW briquettes. The best performance occurred at the 8% briquette variation, producing an NPHR value of 881.7 kcal/kWh.*

Keywords: *Co-firing*, MSW briquette, *fluidized bed*, incinerator, NPHR

## 1. Pendahuluan

Negara Indonesia dapat menghasilkan *municipal solid waste* (MSW) sebanyak lebih dari 38,5 ton dengan potensi meningkat 2-3% di setiap tahunnya [1]. Banyaknya sampah yang dapat dihasilkan serta kurangnya penanganan yang baik dapat menumbuhkan pencemaran lingkungan.

Salah satu cara agar MSW dapat digunakan secara maksimal adalah dengan mengubah MSW menjadi bahan bakar briket yang merupakan produk hasil pengolahan sampah organik maupun non organik dengan proses pencacahan, pengeringan, pemadatan MSW hingga kandungan air dari limbah berkurang dan dapat meningkatkan nilai kalor yang cukup tinggi.

*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.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi persentase briket MSW terhadap performansi *co-firing* menggunakan insinerator *fluidized bed*. Untuk mendapatkan hasil

yang diinginkan dari luasnya permasalahan yang ada, maka perlu dilakukan pembatasan masalah antara lain:

1. Variasi bahan bakar yang digunakan briket MSW 8% + Batubara 92%, briket MSW 10% + Batubara 90%, dan briket MSW 12% + Batubara 88%
2. *Bed material* yang digunakan adalah pasir silika dengan *mesh* 0.5 – 0.8 mm.
3. Uji penelitian ini meliputi, *Net Plant Heat Rate* (NPHR).

## 2. Dasar Teori

Sampah merupakan salah satu permasalahan yang paling sering didiskusikan agar dapat digunakan ataupun dimanfaatkan kembali sebagai sumber energi baru terbarukan. Kebijakan energi baru terbarukan di Indonesia diatur dalam Peraturan Pemerintah No.79 Tahun 2014 . Pada tahun 2025 energi baru terbarukan ditargetkan mencapai 23%, serta minimal mencapai 31% pada tahun. Negara Indonesia dapat menghasilkan *municipal solid waste* (MSW) sebanyak lebih dari 38,5 ton dengan potensi meningkat 2-3% di setiap tahunnya [1], [2]. MSW secara umum sulit untuk dimanfaatkan karena masih memiliki kandungan air yang tinggi, nilai kalor yang rendah, ukuran yang beragam dan memiliki kandungan debu yang tinggi. Salah satu cara agar MSW dapat digunakan secara maksimal adalah dengan mengubah MSW menjadi bahan bakar briket yang merupakan produk hasil pengolahan sampah organik maupun non organik dengan proses pencacahan, pengeringan, pemadatan MSW hingga kandungan air dari limbah berkurang dan dapat meningkatkan nilai kalor yang cukup tinggi.

Teknologi *co-firing* briket MSW dengan batubara memperkenalkan biofuel sebagai sumber energi tambahan dalam penggunaan boiler efisiensi tinggi. Dewasa ini, telah ada teknologi yang mendukung *co-firing* batubara menggunakan MSW menjadi energi alternatif yaitu teknologi Fluidized Bed Combustion (FBC) [3]. Berdasarkan pada jenis reaktor-nya, metode fluidized bed combustion (FBC) terdiri atas tiga jenis yaitu Bubbling Fluidized Bed Combustion (BFBC), Rotating Fluidized Bed Combustion (RFBC), dan Circulating Fluidized Bed Combustion (CFBC)[4]. 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 [5]

Dalam insinerator BFBC, partikel padat yang berada di bagian bawah ruang bakar terfluidasi oleh aliran udara primer melalui suatu sistem distributor. ketika digunakan dalam aplikasi insinerasi BFBC, sangat penting untuk mempertimbangkan dengan cermat distribusi ukuran feedstock agar menghindari ketidaksempurnaan dalam proses fluidisasi. Insinerasi BFBC umumnya digunakan untuk membakar berbagai jenis bahan seperti batubara, bahan organik padat, limbah plastik padat, dan lumpur dari pengolahan air limbah [6]

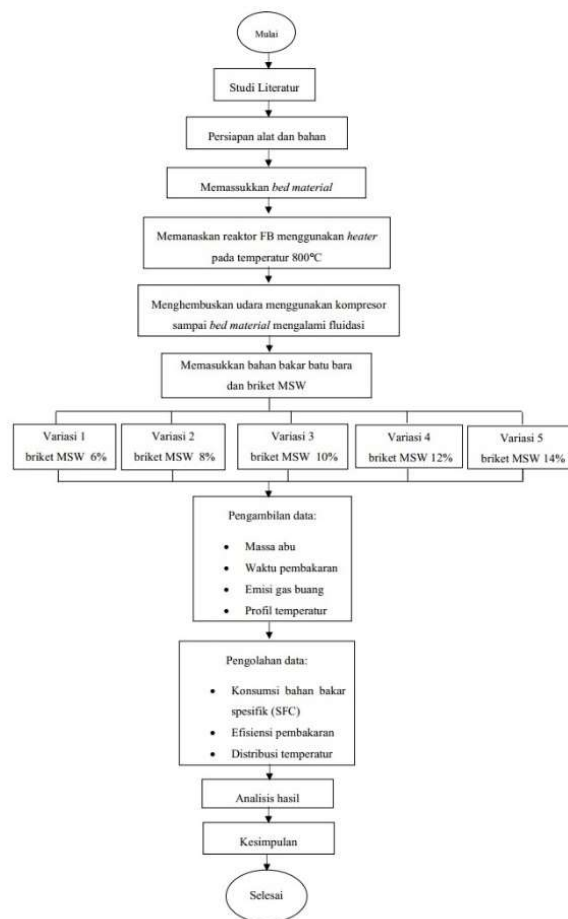
## 3. Metode Penelitian

### 3.1 Alat dan Bahan

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

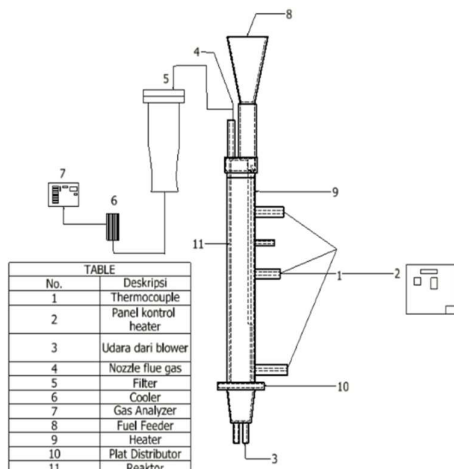
1. Reaktor
2. *Heater*
3. *Thermocouple*
4. *Data logger*
5. *Gas analyzer*
6. Kompresor
7. Kontrol Panel
8. Batubara
9. Briket MSW

### 3.2 Diagram alir penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### 3.3 Skematik Alat



Gambar 2 Skematik Alat

### 3.4 Net Plant Heat Rate (NPHR)

NPHR didefinisikan sebagai perbandingan input energi panas dengan daya yang dihasilkan, atau secara matematika dapat didefinisikan dengan:

$$NPHR = \frac{Q_{in}}{P} \quad (1)$$

NPHR = Net Plant Heat Rate (kcal/kWh)

Q<sub>in</sub> = Energi yang masuk (kcal)

P = Daya yang dihasilkan (kWh)

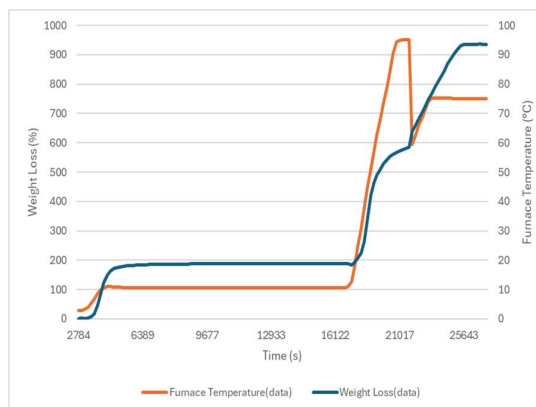
## 4 Hasil dan Pembahasan

### 4.1 Karakterisasi Bahan Bakar

Karakterisasi bahan bakar dilakukan untuk mengetahui kandungan bahan yang digunakan sebelum dan sesudah penelitian. Karakterisasi bahan bakar yang akan digunakan 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 8% + Batubara 92%	18.43	40.32	34.93	6.32
Briket MSW 10% + Batubara 90%	18.92	39.48	35.40	6.21
Briket MSW 12% + Batubara 88%	18.55	39.97	35.09	6.39



Gambar 3 Grafik TGA Briket MSW 12% + Batubara 88%

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

### 4.2 Karakterisasi Nilai Kalor Bahan Bakar

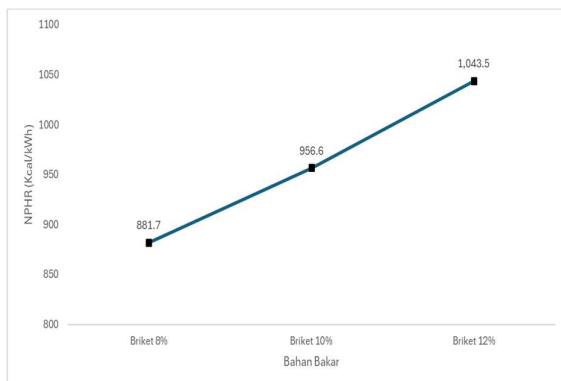
Analisis nilai kalor digunakan untuk mengetahui jumlah energi panas yang terlepas untuk tiap satuan massa bahan bakar. Berikut adalah tabel hasil pengujian nilai kalor bahan bakar batu bara dengan briket MSW. Pengujian nilai kalor dilakukan menggunakan alat Parr 1341 Oxygen Bomb Calorimeter dengan standar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

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>	Rata-rata (Cal/gr)	(Mj/Kg)
Batubara 100%	1	26.39	29.32	4837.785	20.255
Briket MSW 100%	1	27.017	29.571	4356.174	18.238
Briket MSW 8% + Batubara 94%	1	26.636	29.172	4686.911	19.623
Briket MSW 10% + Batubara 94%	1	26.934	29.172	4665.162	19.532
Briket MSW 12% + Batubara 94%	1	28.442	29.55	4638.933	19.422

### 4.3 Net Plant Heat Rate (NPHR)

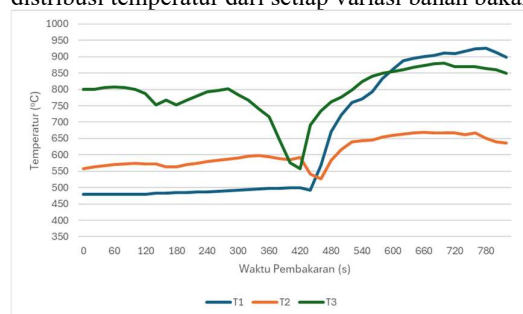
Uji NPHR dilakukan untuk mengetahui besarnya input energi panas dari bahan bakar yang digunakan untuk menghasilkan daya. Adapun hasil dari nilai NPHR variasi briket MSW 8% + batubara 92%, briket MSW 10% + batubara 90%, dan briket MSW 12% + batubara 88% berdasarkan gambar 3. secara berturut-turut adalah 881.7 kcal/kWh, 956 kcal/kWh, dan 1043.5 kcal/kWh..



Gambar 4. NPHR Bahan Bakar

#### 4.4 Profil Temperatur

Profil temperatur digunakan untuk mengetahui persebaran panas yang terjadi di dalam reaktor. Hasil pada gambar 5 menunjukkan bahwa turunnya temperatur dikarenakan ruang bahan bakar dibuka melalui *fuel feeder* untuk memasukkan bahan bakar. Ketika bahan bakar sudah masuk secara keseluruhan, maka *fuel feeder* ditutup kembali dan dilakukan fluidisasi dengan kecepatan udara 9 m/s. Berikut distribusi temperatur dari setiap variasi bahan bakar.



Gambar 5 Profil Temperatur Briket MSW 12 % + Batubara 88 %

Pada gambar di atas menunjukkan distribusi temperature pada pembakaran briket MSW 12% + Batubara 88%. *Thermocouple* 3 (T3) merupakan *thermocouple* yang tersambung dengan panel kontrol untuk menjaga temperatur hingga mencapai temperatur operasi. Ketika T3 sudah mencapai 800°C, maka bahan bakar dimasukkan melalui *fuel feeder* sehingga terjadi penurunan temperatur yang cukup signifikan dikarenakan udara yang masuk melalui *fuel feeder*. Setelah bahan bakar masuk secara keseluruhan, *fuel feeder* ditutup kembali dan kompresor menyuplai udara sebesar 9 m/s yang mengakibatkan pembakaran terjadi sehingga temperatur di setiap *thermocouple* naik.

#### 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai performansi *co-firing* batubara dengan briket MSW


menggunakan incinerator *fluidized bed*, maka dapat disimpulkan


1. Performansi terbaik terjadi pada variasi bahan bakar briket MSW 8% + batubara 92% dengan nilai NPHR 881.7 kcal/kWh.
2. Nilai kalor bahan bakar batu bara 100%, briket MSW 100%, dan nilai kalor variasi bahan bakar terbaik yaitu briket MSW 8% + batubara 92%, secara berturut-turut 4837.785 cal/gr, 4356.174 cal/gr, dan 4686.911 cal/g

#### 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] N. I. Pratiwi. S. H. P. J. L. W. F. D. A. A. Sauqi. J. T. Damanik. D. B. T. P. N. K. Surhayati, "Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional Energi Indonesia 2 0 2 2," 2022.
- [3] I. Nyoman, S. Winaya, I. B. Agung, and D. Susila, "Co-Firing Sistem Fluidized Bed Berbahan Bakar Batubara dan Ampas Tebu," 2010.
- [4] S. De Gisi, A. Chiarelli, L. Tagliente, and M. Notarnicola, "Energy, environmental and operation aspects of a SRF-fired fluidized bed waste-to-energy plant," *Waste Management*, vol. 73, pp. 271–286, Mar. 2018, doi: 10.1016/j.wasman.2017.04.044.
- [5] A. Molino *et al.*, "Power production by biomass gasification technologies," in *Current Trends and Future Developments on (Bio-) Membranes: Renewable Energy Integrated with Membrane Operations*, Elsevier, 2018, pp. 293–318. doi: 10.1016/B978-0-12-813545-7.00012-X.
- [6] 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.pecs.2012.03.001.

	<p>Prof. I Nyoman Suprapta Winaya, S.T., MA.Sc., Ph.D. menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana pada tahun 1994, S2 di Dalhousie University pada tahun 2000, dan S3 di Niigata University pada tahun 2008. Prof. I Nyoman Suprapta Winaya, S.T., MA.Sc., Ph.D memiliki konsentrasi ilmu dalam bidang konversi energi.</p>
---	--

	<p>Dr. I Gede Putu Agus Suryawan, S.T., M.T. menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana pada tahun 1994, S2 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2001, dan S3 di Universitas Udayana pada tahun 2020. I Gede Putu Agus Suryawan memiliki konsentrasi ilmu dalam bidang komposit.</p>
---	--

	<p><b>Bryan Steve Immanuel</b>                  menyelesaikan program sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana pada tahun 2024.</p>
<p>Judul tugas akhir Pengaruh Persentase Briket MSW Pada <i>Co-Firing</i> Batubara Terhadap Performansi Insinertaor <i>Fluidized Bed</i></p>	