

PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP HASIL UJI SEM AGLOMERASI *CO-FIRING* RDF MSW DAN BATUBARA PADA *FLUIDIZED BED COMBUSTOR*

Eli Sebastian, I Nyoman Suprpta Winaya, Ketut Astawa, I Putu Angga Yuda
Pratama, I Gusti Ngurah Putu Tenaya
Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Salah satu cara untuk mengubah sampah menjadi bahan bakar adalah dengan mengubah nya menjadi RDF. Metode *co-firing* adalah pembakaran dua jenis bahan bakar yang berbeda dalam perbandingan tertentu. *Co-firing* dapat digunakan dalam teknologi pembakaran insenerasi *fluidized bed* dengan menggunakan udara untuk membuat *bed material* memiliki sifat seperti fluida, sehingga proses pembakaran menjadi lebih baik. Dalam pengujian ini, *co-firing* digunakan untuk pembakaran 95% batubara dan 5% RDF MSW. Untuk mengamati fenomena aglomerasi, digunakan variasi suhu 750 °C, 850 °C, dan 950 °C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu sangat memengaruhi pembentukan aglomerasi dalam abu yang dihasilkan dari pembakaran pada *Fluidized Bed* RDF MSW dengan batubara. Pada percobaan dengan variasi 750°C aglomerasi yang terbentuk kecil dan memiliki struktur yang lebih padat. Pada percobaan dengan variasi 850°C dan 950°C, terbentuk aglomerat yang lebih besar dan struktur mikro aglomerat terlihat seperti abu yang mencair kemudian memadat sehingga membentuk gumpalan.

Kata kunci : *Co-firing*, *Fluidized Bed Combustor*, RDF MSW, Aglomerasi

Abstract

One way to convert waste into fuel is to convert it into RDF. The co-firing method is the combustion of two different types of fuel in a certain ratio. Co-firing can be used in fluidized bed combustion technology by using air to make the bed material have fluid-like properties, so that the combustion process becomes better. In this test, co-firing was used for combustion of 95% coal and 5% MSW RDF. To observe the agglomeration phenomenon, temperature variations of 750 °C, 850 °C, and 950 °C were used. The results show that temperature greatly influences the formation of agglomeration in the ash produced from the combustion of Fluidized Bed RDF MSW with coal. In the experiment with 750°C variation, the agglomerations formed were small and had a denser structure. In the 850°C and 950°C experiments, larger agglomerates were formed and the microstructure of the agglomerates looked like ash that melted and then solidified to form lumps.

Keywords: *Co-firing*, *Fluidized Bed Combustor*, RDF MSW, Agglomeration

1. Pendahuluan

Energi merupakan hal yang sangat dibutuhkan dan tidak bisa dilepaskan dalam kehidupan manusia. Energi dibutuhkan dalam berbagai bidang seperti bidang industri ekonomi, transportasi, rumah tangga, dll. Penggunaan energi yang paling umum saat ini berasal dari energi fosil seperti energi batubara yang merupakan sumber energi yang suatu saat akan habis dan tidak dapat terbarukan [1]

Bali dikenal dengan sebagai salah satu destinasi wisata di Indonesia. Hal itu menyebabkan jumlah wisatawan yang ada semakin meningkat dan menyebabkan sampah yang dihasilkan semakin banyak [2] RDF adalah pengolahan sampah menjadi bahan bakar dengan cara dikeringkan untuk dikonversi menjadi energi termal Dengan pemanfaatan kembali sampah kota menjadi bahan bakar RDF diharapkan dapat menyelesaikan permasalahan sampah dan energi yang ada secara bersamaan. [3]

Co-firing merupakan pembakaran dua jenis bahan bakar yang berbeda dengan perbandingan rasioa bahan bakar yang berbeda dan dapat mengatasi permasalahan CO₂ pada pembakaran (Ilham and Sinaga, 2022) [4]. Teknologi *co-firing* dapat dilakukan pada metode pembakaran *Bubling Fluidized Bed Combustion* (BFBC) dengan menggunakan suhu pembakaran yang tinggi memiliki kelebihan dalam mengubah sampah menjadi energi.[5]

Namun FBC memiliki permasalahan utama seperti *slagging*, *fouling*, *corosion*, dan *agglomeration*. Aglomerasi adalah pengikatan partikel-partikel yang disebabkan oleh proses sintering abu yang ada pada bahan bakar sehingga menjadi partikel yang lebih keras dan padat .

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap aglomerasi pada pembakaran RDF MSW dengan batubara pada *Fluidized Bed Combustor*. Untuk mendapatkan hasil

yang diharapkan, terdapat Batasan masalah yang ada pada penelitian ini antara lain:

- *Bed material* yang digunakan adalah pasir silika dengan ukuran mesh pasir 0,5-0,8 mm
- Bahan bakar yang digunakan adalah batubara dan RDF MSW produk olahan TPST kertalangu
- Proses *Direct Co-firing* yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan insinerator *Fluidized Bed* tipe *bubbling*
- Presentasi RDF MSW yang digunakan sebesar 5%

2. Dasar Teori

Sampah merupakan permasalahan yang tidak akan habis jika dibahas. Permasalahan ini dirasakan oleh semua masyarakat di dunia. Kenaikan jumlah sampah berbanding lurus dengan jumlah masyarakat yang ada. Sampah dapat dibagi menjadi tiga jenis seperti sampah organik, Sampah organik, dan sampah B3 [6].

Upaya dalam pengolahan sampah kota adalah dengan memanfaatkan kemabli menjadi sumber energi terbarukan dengan pengolahan anaerobil, insenerasi, dan *Refused Derived Fuel* (RDF) (Qonitan et al, 2021) [7]

Dengan pembakaran dua bahan bakar yang berbeda dengan rasio tertentu atau dapat disebut metode *co-firing*, sampah kota yang sudah diubah menjadi RDF akan digunakan sebagai bahan bakar dengan batubara. Dengan *co-firing* diharapkan dapat mengurangi permasalahan sampah dan penggunaan bahan bakar fosil. *Co-firing* memberikan pengaruh besar dalam emisi gas buang dan dianggap sebagai solusi dalam mengatasi CO₂ [3]

Metode *co-firing* sering digunakan pada teknologi pengolah sampah insenerator. Insenerator menggunakan temperatur yang tinggi dan terkendali dalam pembakaran untuk mendapatkan panas. Insenerator memiliki banyak jenis tergantung reaktor yang digunakan seperti *brun barrel*, *moving grate*, *fixed hearth*, *rotary kiln*, dan *fluidized bed*. Insenerator *fluidized bed* memiliki keunggulan karena menggunakan bed material berupa pasir untuk menyimpan panas sehingga proses pembakaran menjadi lebih merata [8]

Namun FBC memiliki permasalahan utama seperti *slagging*, *fouling*, *corossion*, dan *agglomeration*. Aglomerasi adalah pengikatan partikel-partikel yang disebabkan oleh proses sintering abu yang ada pada bahan bakar sehingga menjadi partikel yang lebih keras dan padat atau yang disebut aglomerasi seperti silikat alkali yang lengket dengan titik leleh yang rendah melekat dapat melekat pada material bed sehingga membentuk aglomerat. Aglomerasi dapat menyebabkan kehilangan kontrol penting pada parameter operasi seperti penurunan tekanan, kecepatan fluidisasi minimum, perilaku gelembung, dan kasus yang paling parah bisa menyebabkan de-fluidisasi total sehingga sistem harus *shutdown*.

Tingginya kandungan alkali basah seperti Ca, K, Na, dan Mg pada bahan bakar akan berubah menjadi senyawa Na₂CO₃, K₂O, CaO, dan Mg₂O₃ yang terdapat pada abu hasil pembakaran [9]

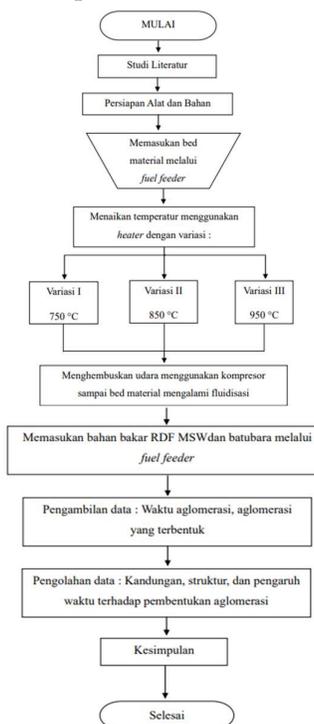
3. Metode Penelitian

3.1 Alat dan Bahan

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

1. Reaktor *Fluidized Bed*
2. Plat Distributir
3. *Heater*
4. *Thermo Control*
5. *Isolator Glass Wool*
6. *Fuel Feeder*
7. Filter Gas Buang
8. *Gas Analyzer*
9. *Flow Meter*
10. *Thermokopel*
11. Kompresor
12. *Timer*
13. RDF MSW
14. Batubara
15. Pasir Silika

3.2 Diagram alir penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3.3 Karakteristik Kandungan Abu RDF MSW Kertalangu

Karakteristik dari bahan bakar RDF MSW Kertalangu adalah sebagai berikut

Tabel 1. Kandungan Abu RDF MSW

Parameter	%
SiO ₂ (Silicon Dioxide)	32.55
Al ₂ O ₃ (Aluminium Oxide)	10.49
Fe ₂ O ₃ (Iron Trioxide)	7.92
CaO (Calcium Oxide)	25.15
MgO (Magnesium Oxide)	3.62
Na ₂ O (Sodium Oxide)	5.40
K ₂ O (Potassium Oxide)	4.92
TiO ₂ (Titanium Oxide)	0.92
MnO ₂ (Manganese Dioxide)	0.23
P ₂ O ₅ (Diphosphorus Pentoxide)	3.24
SO ₃ (Sulphur Trioxide)	1.68
Chloride (CL)	0.69
Bulk Density	195.99 Kg/m ³

3.4 Karakteristik Kandungan Abu Batubara

Karakteristik dari abu bahan bakar batubara adalah sebagai berikut

Table 2. Kandungan Abu Batubara

Parameter	%
SiO ₂	44.8
Al ₂ O ₃	36.3
CaO	5.49
Fe ₂ O ₃	4.96
MgO	0.85
Na ₂ O	0.34
TiO	1.98
SO ₃	2.9

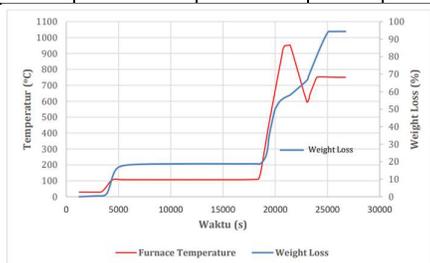
4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Karakterisasi Batubara Dan RDF MSW

Karakterisasi bahan bakar dilakukan untuk mengetahui kandungan bahan bakar yaitu 95% RDF MSW dan 5% batubara yang digunakan sebelum penelitian. Karakterisasi bahan bakar dilakukan menggunakan pengujian uji *proximate* dan uji *Thermo Gravimetric Analysis* (TGA).

Tabel 3. Hasil Uji Proximate Batubara dan RDF MSW

Bahan Bakar	Moisture (%)	Volatile (%)	Ash (%)	Fixed Carbon (%)
Batubara dan RDF 5%	18.62	39.53	5.64	36.21

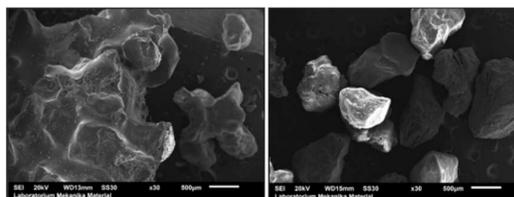


Gambar 2. Hasil Uji TGA

Dari hasil uji TGA yang didapatkan, menunjukkan bahwa pengurangan masa bahan bakar terjadi ketika suhu operasi sekitar 700 °C hingga lebih dari 900°C. Uji ini menggunakan metode ASTM-D-7582 MVA BIOMA untuk melihat peningkatan *weight loss* terhadap kenaikan temperatur pada bahan bakar.

4.2 Struktur Mikro Aglomerat

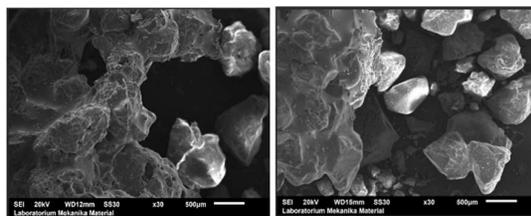
Pada penelitian ini dilakukan uji SEM untuk melihat struktur dari aglomerat. Uji SEM adalah jenis mikroskop elektron yang menghasilkan gambar sampel dengan memindai permukaan dengan sinar elektron yang terfokus dengan perbesaran hingga skala tertentu.. Hasil uji SEM dari aglomerasi oleh abu dengan bahan bakar batubara 95% dan RDF 5% adalah sebagai berikut:



(a)

(b)

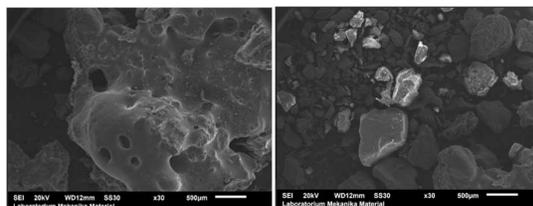
Gambar 3. Uji SEM Aglomerat Temperatur 750°C



(a)

(b)

Gambar 4. Uji Sem Aglomerat Temperatur 850°C



(a)

(b)

Gambar 5. Uji Sem Aglomerat Temperatur 950°C

Gambar 3, gambar 4 dan gambar 5 merupakan hasil uji SEM yang dilakukan dengan pembesaran 500 μm di Laboratorium Mekanika Material Universitas Udayana. Berdasarkan hasil uji SEM dari aglomerat dengan variasi temperatur 750°C

pada gambar 3 (b) memiliki jarak antar partikel tidak terlalu rapat dan struktur permukaan yang tidak terlalu kasar yang ditunjukkan pada gambar 3 (a). Kemudian dapat dilihat pada gambar 4 (b) pada variasi temperatur 850°C jarak antar partikel mulai tersusun rapat dan struktur permukaan dari aglomerat menjadi lebih kasar pada gambar 4 (a). Ketika variasi temperatur 950°C jarak antar partikel tersusun rapat serta struktur dari aglomerat terlihat seperti cairan yang ditunjukkan pada gambar 5 (a) dan (b). Perbedaan struktur pada aglomerat dapat terjadi karena unsur-unsur dalam abu aglomerasi memiliki titik leleh yang berbeda. Dengan meningkatnya suhu, abu bisa meleleh dan mengalami perubahan bentuk dan ukuran.

5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada pengaruh variasi temperatur terhadap aglomerasi *fluidized bed combustor* dengan bahan bakar 95% batubara dan 5% RDF, dapat disimpulkan bahwa: Variasi temperatur memiliki pengaruh besar pada pembentukan aglomerat yang disebabkan oleh abu hasil pembakaran. Temperatur kerja yang melebihi titik leleh yang terdapat pada unsur abu menyebabkan abu meleleh dan membentuk gumpalan. Aglomerat yang terbentuk pada variasi temperatur 950°C memiliki jarak antar partikel lebih rapat dari aglomerat dengan variasi temperatur 750°C dan 850°C.

Daftar Pustaka

- [1] Setiawan, A., Puteri, M.K. and Pasalli, Y.R. (2023) 'Peramalan puncak produksi dan umur cadangan batubara di Indonesia', *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 19(2), pp. 83–93. Available at: <https://doi.org/10.30556/jtmb.Vol19.No2.2023.1302>.
- [2] Yuda Pratama, I. P. A., Winaya, I. N. S., & Suryawan, I. G. P. A. (2020). Uji Reaktor Gasifikasi Downdraft Biomassa Sampah Kota. *Jurnal METTEK*, 5(2), 110. <https://doi.org/10.24843/mettek.2019.v05.i02.p08>
- [3] Suryawan, I. W. K., Wijaya, I. M. W., Sari, N. K., Septiariva, I. Y., & Zahra, N. L., 2021, *Potential of Energy Municipal Solid Waste (MSW) to Become Refuse Derived Fuel (RDF) in Bali Province, Indonesia*. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 10(1), 09–15. DOI:10.15294/jbat.v10i1.29804.
- [4] Ilham, M. and Sinaga, N. (2022) 'Cofiring Effect of Using Sawdust on Exhaust

Emissions at the Steam Power Plant', *R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal*, 7.

- [5] Nyoman, I., Winaya, S., & Sujana Dan I G N P Tenaya, G. (2010). Formasi Gas Buang Pada Pembakaran Fluidized Bed Sekam Padi. In *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* (Vol. 4, Issue 1).
- [6] Sucipto, C.D. (2012) *Teknologi Pengolahan Daur Ulang Sampah*. Yogyakarta: Gosyem Publishing.
- [7] Qonitan, F.D., Wayan Koko Suryawan, I. and Rahman, A. (2021) 'Overview of Municipal Solid Waste Generation and Energy Utilization Potential in Major Cities of Indonesia', in *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing Ltd. Available at: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1858/1/012064>.
- [8] Sarkar, D.K. (2015) 'Fluidized-Bed Combustion Boilers', in *Thermal Power Plant*. Elsevier, pp. 159–187. Available at: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-801575-9.00005-6>.
- [9] Ryabov, G.A. and Litun, D.S. (2019) 'Agglomeration during Fluidized Bed Combustion and Gasification of Fuels', *Thermal Engineering*, 66(9), pp. 635–651. Available at: <https://doi.org/10.1134/S0040601519090040>.

	<p>Eli Sebastian menyelesaikan program sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana pada tahun 2024. Memiliki ketertarikan pada bidang Konversi Energi dan Energi Terbarukan</p>
<p>Judul tugas akhir Pengaruh Variasi Temperatur Terhadap Aglomerasi Pada <i>Co-firing</i> RDF MSW Dengan Batubara Pada <i>Fluidized Bed Combustor</i></p>	

	<p>Prof, I Nyoman Suprpta 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 Suprpta Winaya, S.T., MA.Sc., Ph.D memiliki konsentrasi ilmu dalam bidang konversi energi.</p>
--	--

	<p>Ketut Astawa, ST, MT Dosen Program Studi Teknik Mesin. Pendidikan sarjana diselesaikan di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana. Diangkat menjadi Dosen pada tahun 1997 dan melanjutkan pendidikan S2 di Universitas Brawijaya dan memperoleh gelar Magister Konversi Energi pada tahun 2006. Memiliki konsentrasi pada bidang konversi energi. A\Perpindahan Panas.</p>
---	--

	<p>I Gusti Ngurah Putu Tenaya S.T, MT. menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana pada tahun 1994 dan S2 di Universitas Udayan tahun 2007 memiliki konsentrasi ilmu dalam bidang konversi energi.</p>
---	--

	<p>I Putu Angga Yuda Pratama S.T, MT. menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana pada tahun 2019 dan S2 di Universitas Udayan tahun 2021 memiliki konsentrasi ilmu dalam bidang konversi energi.</p>
--	---