

# Pengaruh Persentase Komposisi RDF MSW Pada Co-Firing Batubara Terhadap *Fuel Conversion Rate* Co-Gasifikasi Dual Reaktor *Fluidized Bed*

Yunizill Irfan, I Nyoman Suprpta Winaya, dan I Wayan Arya Darma  
*Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali*

## Abstrak

Gasifikasi dengan teknologi Dual Reaktor *Fluidized Bed* (DRFB) muncul sebagai alternatif yang unggul dalam mengonversi berbagai jenis bahan bakar, termasuk sampah, limbah, biomassa, atau bahan bakar fosil berkalori rendah. Teknologi gasifikasi menggunakan dua reaktor, reaktor pembakaran dan reaktor gasifikasi. Dalam reaktor pembakaran, terjadi proses pembakaran yang menghasilkan panas (reaksi eksotermik), dan panas dari proses ini digunakan untuk mendukung proses endotermik di reaktor gasifikasi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui performa co-gasifikasi menggunakan Dual Reaktor *Fluidized Bed* (DRFB) dalam pembakaran batubara dan RDF MSW, dengan variasi persentase komposisi RDF MSW sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Dengan massa bahan bakar RDF MSW dan batubara sebesar 600 gram. Berdasarkan hasil penelitian maka dapat ditarik kesimpulan. Semakin besar penambahan campuran RDF pada co-gasifikasi batubara, maka hasil *Fuel Conversion Rate* (FCR) meningkat.

*Kata kunci:* Dual Reaktor *Fluidized Bed*, Co-gasifikasi, RDF MSW

## Abstract

Gasification using the Dual Reaktor *Fluidized Bed* (DRFB) technology has emerged as a promising alternative for converting various types of fuels—including waste, biomass, and low-calorific fossil fuels—into usable energy. This technology utilizes two reactors: a combustion reactor and a gasification reactor. In the combustion reactor, an exothermic reaction occurs to generate heat, which is then utilized to support the endothermic gasification process in the second reactor. This research aims to evaluate the performance of co-gasification in a Dual Reaktor *Fluidized Bed* system by co-firing coal with RDF derived from Municipal Solid Waste (RDF MSW) in varying composition percentages of 0%, 5%, 10%, 15%, and 20%, using a total fuel mass of 600 grams. Based on the results of the study, the following conclusions can be drawn. The greater the addition of RDF in the coal co-gasification process, the higher the *Fuel Conversion Rate* (FCR) achieved.

*Keywords:* Dual Reaktor *Fluidized Bed*, Co-gasification, RDF MSW

## 1. Pendahuluan

Isu-isu terkait krisis energi dan pencemaran lingkungan akibat penggunaan energi fosil telah menyebabkan peningkatan perhatian terhadap sumber energi fosil. Hal ini dipicu oleh kekhawatiran akan ketidakstabilan harga bahan bakar fosil, ketergantungan yang semakin terbatas pada sumber energi fosil, serta dampak buruk terhadap lingkungan [1]. Oleh karena itu, dibutuhkan ide-ide kreatif untuk menciptakan energi alternatif yang dapat diperbarui, ramah lingkungan, dan tersedia dalam jumlah yang melimpah.

Refused Derived Fuel (RDF) merupakan salah satu bentuk penerapan konsep Waste to Energy (WTE) yang mengubah sampah menjadi bahan bakar alternatif [2]. RDF (Refuse Derived Fuel) mengacu pada pemisahan fraksi dengan nilai kalor tinggi yang diambil dari proses pemisahan Municipal Solid Waste (MSW) [3]. Pemanfaatan RDF berkontribusi dalam mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, menurunkan emisi gas rumah kaca, dan mengurangi volume sampah yang masuk ke tempat pembuangan akhir (TPA).

Teknologi yang dapat memanfaatkan produk RDF ini salah satunya yaitu teknologi gasifikasi.

Gasifikasi adalah proses konversi bahan bakar padat menjadi bahan bakar gas. Berdasarkan arah aliran gasnya, gasifikasi dibedakan menjadi tiga jenis mode operasi: aliran gas ke atas (updraft), aliran gas ke bawah (downdraft), dan aliran gas menyilang (cross flow). Perbedaan utama antara ketiga jenis ini terletak pada arah keluaran gas hasil gasifikasi [4]. Penggunaan RDF dalam proses gasifikasi memerlukan peninjauan lebih lanjut karena terdapat produk sampingan berupa tar compound, yang memiliki karakteristik berupa cairan kental coklat kehitaman dan dapat menyebabkan kegagalan pada mesin. Selain itu, proses gasifikasi juga menghasilkan residu padat yang tidak dapat terbakar (abu) dengan kandungan karbon rendah, serta produk sampingan yang tidak diinginkan seperti NO<sub>x</sub>, hidrogen sulfida, dan Sox [5]. Saat ini, gasifikasi juga digabungkan dengan metode pembakaran bersama atau yang biasa disebut co-gasifikasi. Proses co-gasifikasi dianggap lebih menguntungkan daripada gasifikasi bahan bakar konvensional dari MSW. Penambahan bahan alami yang dapat terbakar, seperti jerami dan biochar, dapat mengurangi aglomerasi cairan anorganik yang biasanya menyebabkan abu yang mengandung kalsium, aluminosilikat, dan karbonat menjadi lengket di dasar reaktor selama proses gasifikasi RDF [6].

Proses gasifikasi dengan teknologi Fluidized Bed Gasification muncul sebagai alternatif yang unggul dalam mengonversi berbagai jenis bahan bakar, termasuk sampah, limbah, biomassa, atau bahan bakar fosil berkalori rendah [7]. Teknologi gasifikasi yang saat ini sedang dikembangkan adalah dual reactor fluidized bed, yang menggunakan dua reactor, reaktor pembakaran dan reaktor gasifikasi. Dalam reaktor pembakaran, terjadi proses pembakaran yang menghasilkan panas (reaksi eksotermik), dan panas dari proses ini digunakan untuk mendukung proses endotermik di reaktor gasifikasi [8].

Adapun batasan masalah yang penulis ambil dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Proses fluidisasi dilakukan pada Dual Reactor Fluidized Bed (DRFB).
2. Temperatur lingkungan disekitar reaktor gasifikasi dianggap konstan.
3. Media uap air (H<sub>2</sub>O) berasal dari boiler.
4. Bahan bakar yang digunakan adalah RDF MSW produk olahan TPST Kesiman Kertalangu
5. Bed material yang digunakan adalah pasir silika berukuran 0,5 - 0,8 mm.
6. Temperatur reaktor gasifikasi 600 °C.
7. Temperatur reaktor pembakaran yang digunakan 650°C.
8. Udara yang dimasukkan ke reaktor berasal dari kompresor

Penelitian bertujuan untuk mengetahui nilai lama nyala dan Fuel Conversion Rate (FCR) bahan bakar gasifikasi DRFB.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Co-gasifikasi

Co-gasifikasi adalah proses di mana dua atau lebih bahan bakar, seperti batu bara dan biomassa, digasifikasi secara bersamaan untuk menghasilkan gas sintesis (syngas). Proses ini menggabungkan keunggulan dari masing-masing bahan bakar, meningkatkan efisiensi konversi energi, dan mengurangi emisi polutan.

Proses co-gasifikasi dianggap lebih menguntungkan dibandingkan gasifikasi bahan bakar konvensional dari MSW. Dengan menambahkan material alami lain yang mudah terbakar seperti jerami dan biochar, dapat mengurangi aglomerasi cairan anorganik yang biasanya menyebabkan abu yang mengandung kalsium, aluminosilikat, dan karbonat menjadi lengket di dasar reaktor saat RDF digasifikasi. Selain itu, proses co-gasifikasi pada suhu 600-900°C dapat meminimalkan pembentukan tar, meningkatkan efisiensi proses, dan menghasilkan emisi yang lebih ramah lingkungan [6].

### 2.2 Fuel Conversion Rate (FCR)

Fuel conversion rate merupakan tingkat perubahan bahan bakar padat menjadi gas, atau jumlah bahan bakar yang berhasil dikonversi dalam setiap satuan waktu. Estimasi laju konversi bahan bakar ini dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Fuel Conversion Rate} = \frac{v_{bb}}{F_g} \quad (1)$$

Dimana:  $v_{bb}$  = Laju masuk bahan bakar.  
 $F_g$  = Faktor gasifikasi

Bahan bakar yang terkonversi selama proses gasifikasi dapat ditentukan melalui perhitungan dengan rumus berikut:

$$\text{FCR} = \frac{\text{Berat bahan bakar tergasifikasi}}{\text{waktu operasional}} = \frac{\text{berat bahan bakar} - \text{berat arang}}{\text{waktu operasional}} \text{ kg/jam} \quad (2)$$

Waktu operasional merujuk pada rentang waktu sejak awal pemasukan bahan bakar hingga dihasilkannya syngas dalam proses gasifikasi.

## 3. Metode Penelitian

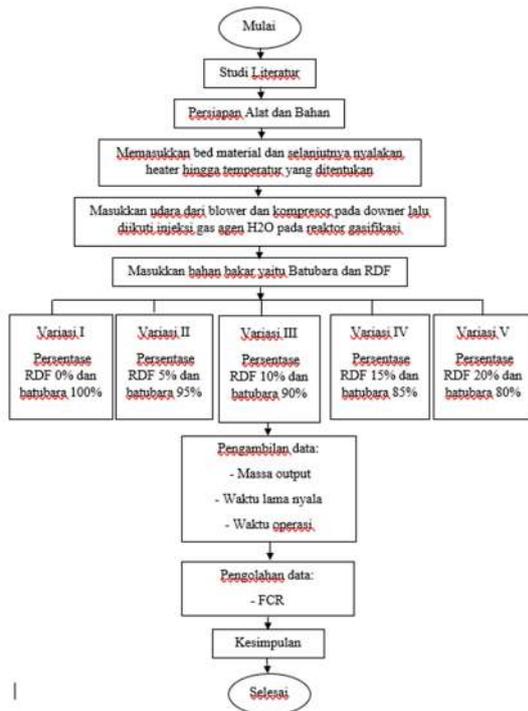
### 3.1 Alat dan Bahan

Berikut merupakan alat-alat yang digunakan dalam penelitian:

- a. Unuit DRFB
- b. Boiler
- c. Blower
- d. Data logger
- e. Flowmeter
- f. Gas Analyser
- g. Heater
- h. Isolasi glass woll
- i. Kompresor udara
- j. Laptop
- k. Plat Distributor
- l. Thermocontrol
- m. Thermocouple
- n. Timbangan
- o. Anemometer
- p. Ayakan Mesh
- q. Pasir silika
- r. Batubara
- s. RDF MSW

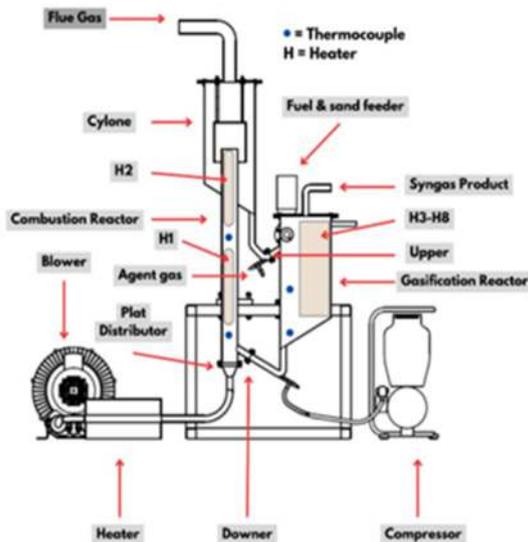
### 3.2 Diagram Alir Penelitian

Berikut merupakan diagram alir penelitian:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### 3.3 Deskripsi Alat Gasifikasi DRFB



Gambar 2. Deskripsi Alat Gasifikasi DRFB

Penelitian ini menggunakan alat Dual Reaktor Fluidized Bed Gasifier yang terbuat dari material stainless steel tipe 304. Alat ini memiliki tabung reaktor pembakaran dan gasifikasi yang terhubung secara termal oleh bed material yang bersirkulasi. Di ujung reaktor terdapat cyclone berukuran 152,4 mm yang berfungsi untuk mensirkulasikan kembali bahan bakar dan bed material agar bahan bakar terbakar sempurna. Dua pipa berukuran 25,4 mm digunakan sebagai penghubung antara reaktor pembakaran dan reaktor gasifikasi. Setiap reaktor dilengkapi dengan

dua thermocouple untuk memantau distribusi temperatur, yang terhubung dengan data logger untuk mencatat temperatur selama operasi. Termokontrol digunakan untuk mengatur suhu agar sesuai dengan suhu operasi.

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1 Nilai Hasil Uji Bom Kalorimeter

Pengujian menggunakan bom kalorimeter bertujuan untuk menentukan jumlah energi panas yang dilepaskan per satuan massa bahan bakar. Alat yang digunakan dalam pengujian ini adalah PARR 1341 Oxygen Bomb Calorimeter, yang bekerja berdasarkan metode standar ASTM D5865. Nilai kalor hasil pengujian ditampilkan pada tabel dibawah:

Table 1. Hasil Uji Bom Kalorimeter

Variasi Persentase RDF (%)	Massa (g)	Temperature (°C)		Nilai Kalor LHV	
		T1 (°C)	T2 (°C)	Kal/gr	Mj/kg
0%	1,01408	28,02	30,73	4882,31	20,441
5%	0,9827	28,00	30,55	4718,59	19,755
10%	0,99787	28,03	30,62	4665,85	19,535
15%	1,0162	26,82	29,40	4605,38	19,268
20%	1,00401	27,19	29,82	4523,25	18,937

### 4.2 Data Hasil Pengujian

Berikut ini adalah data hasil penelitian pada Dual Reaktor Fluidized Bed dengan bahan bakar Batubara dan RDF yang divariasikan berdasarkan persentase kandungan RDF.

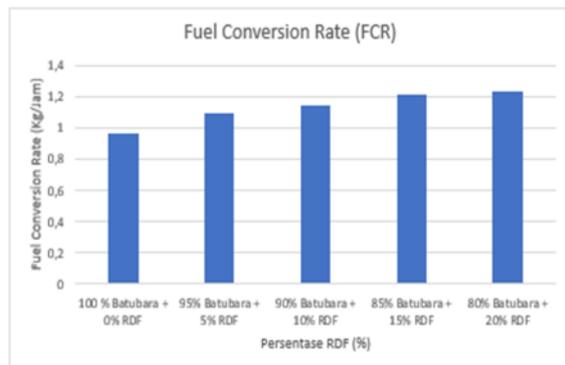
Table 2. Data Hasil Pengujian

Variasi persentase RDF	Massa bahan bakar (g)	Massa arang (g)	Mulai nyala (s)	Lama nyala (s)	Waktu operasi (s)	Kecepatan output Syngas (m/s)
0%	600	204	991	1476	2467	2,40
5%	600	156	988	1464	2452	2,45
10%	600	137	985	1458	2443	2,56
15%	600	113	984	1452	2436	2,60
20%	600	105	980	1451	2431	2,61

Fuel Conversion Rate (FCR) untuk setiap variasi dapat dihitung menggunakan data pada table diatas. FCR merupakan laju konversi bahan bakar padat menjadi gas, atau jumlah konversi bahan bakar per satuan waktu. Dapat dihitung dengan persamaan 2. Setelah melakukan perhitungan, nilai FCR dari setiap variasi dapat dilihat pada table dibawah:

**Table 3. Nilai FCR dari Setiap Variasi**

Variasi Persentase RDF	Massa Bahan Bakar (kg)	Waktu Lama Nyala (jam)	Fuel Conversion Rate (kg/jam)
0% RDF	0,6	0,41	0,9659
5% RDF	0,6	0,4067	1,0916
10% RDF	0,6	0,4050	1,1432
15% RDF	0,6	0,4033	1,2077
20% RDF	0,6	0,4031	1,2279



**Gambar 3. Grafik Nilai FCR dari Setiap Variasi**

Dari gambar grafik diatas, terlihat bahwa variasi V dengan penambahan 20% RDF menunjukkan nilai FCR tertinggi. Hal ini disebabkan oleh massa arang yang dihasilkan lebih sedikit dibandingkan dengan variasi lainnya. Dikarenakan volatile pada RDF yang tinggi menyebabkan bahan bakar lebih cepat habis selama proses gasifikasi [9]. Dengan kata lain, semakin besar penambahan RDF pada gasifikasi batubara maka proses konversi bahan bakar menjadi gas berlangsung lebih efektif.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh variasi penambahan komposisi RDF pada co-gasifikasi batubara terhadap kinerja Dual Reactor Fluidized Bed (DRFB) maka dapat ditarik kesimpulan. Semakin besar penambahan campuran RDF pada co-gasifikasi batubara, maka hasil Fuel Conversion Rate (FCR) meningkat. Hal ini dikarenakan kandungan volatile RDF lebih tinggi dari pada batubara sehingga jumlah arang pada hasil pembakaran RDF lebih sedikit dari pada batubara. Selain itu tingginya volatile pada RDF mempercepat bahan bakar tergasifikasi.

## Daftar Pustaka

[1] D. Muhammad Ferro Berlianto and R. Setya Wijaya, “Pengaruh transisi konsumsi energi fosil menuju energi baru terbarukan terhadap produk domestik bruto di Indonesia,” *e-Jurnal Perspekt. Ekon. dan Pembang. Drh.*, vol. 11,

no. 2, pp. 105–112, 2022, doi: 10.22437/pdpd.v11i2.17944.

- [2] M. . Aninuddin and F. Rosariawari, “Potensi Pemanfaatan Sampah Tps Di Kabupaten Gresik Sebagai Bahan Bakar Refused Derived Fuel (Studi Kasus Tps Peganden),” *J. ESEC Tek. Lingkung.*, vol. 2, no. 1, pp. 67–80, 2021, [Online]. Available: <https://esec.upnvjt.com/index.php/prosiding/article/view/74>
- [3] I. G. N. A. Atmika and G. P. Suryawan, “Pengelolaan Limbah Banten sebagai Sumber Energi Terbarukan dengan Teknologi RDF Berkualitas Tinggi,” *J. Bakti Sar.*, vol. 11, no. 2, pp. 97–106, 2022.
- [4] I. Ketut Wijaya, I. Nyoman Suprpta Winaya, and dan I. Wayan Widhiada, “Pengaruh Komposisi Biomassa Dan Batubara Terhadap Performansi Co-Gasifikasi Sirkulasi Fluidized Bed,” *J. METEK*, vol. 3, no. 1, pp. 65–70, 2017.
- [5] I. Nurfadhilah, L. Marliana, L. Lutfiah, and S. F. Zahra, “Optimasi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Berbasis Teknologi Co-Gasifikasi Thermal dengan Refuse Derived-Fuel sebagai Solusi Permasalahan Sampah dan Lingkungan,” *COMSERVA Indones. J. Community Serv. Dev.*, vol. 1, no. 10, pp. 850–858, 2022, doi: 10.59141/comserva.v1i10.169.
- [6] K. G. Burra and A. K. Gupta, “Synergistic Effects in steam gasification of combined biomass and plastic waste mixtures,” *10th U.S. Natl. Combust. Meet.*, vol. 2017-April, no. July 2017, pp. 2017–2019, 2017.
- [7] I. P. Angga, S. Primantara, and I. N. S. Winaya, “Fluidized Bed Gasification Berbahan Bakar Biomassa Dan Batubara Dengan Variasi Komposisi Bahan Bakar,” vol. 14, no. 3, pp. 177–183, 2014.
- [8] I. W. Arya Darma, I. N. S. Winaya, and I. K. G. Wirawan, “Studi Pengaruh Temperatur Reaktor Gasifikasi Terhadap Fuel Conversion Rate Gasifikasi Dual Reactor Fluidized Bed,” *J. METTEK*, vol. 4, no. 2, p. 37, 2018, doi: 10.24843/mettek.2018.v04.i02.p01.
- [9] S. I N. Suprpta, Winaya; Rukmi Sari, Hartati; I Putu, Lokantara; I GAN, “Desain Reaktor Co-Gasifikasi Fluidized Bed Untuk Bahan Bakar Limbah Sampah, Biomasa, dan Batubara,” *Semin. Nas. Mesin dan Ind.*, pp. 354–362, 2013.



**Yunizill Irfan**

Menyelesaikan program sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana tahun 2025.

Judul tugas akhir Pengaruh Persentase Komposisi RDF MSW Pada Co-Firing Batubara Terhadap Performansi Co-Gasifikasi Dual Reaktor Fluidized Bed