

SIMULASI PENGARUH KECEPATAN UDARA FLUIDISASI TERHADAP *VOLUME FRACTION* PADA GASIFIKASI *DUAL REAKTOR FLUIDIZED BED* MENGGUNAKAN *SOFTWARE CPFD BARRACUDA VIRTUAL REAKTOR*

Muhammad Yusuf Wibisono, I Nyoman Suprapta Winaya, I Gede Putu Agus Suryawan

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali

Abstrak

Gasifikasi merupakan konversi bahan baku padat atau cair menjadi bahan bakar gas atau bahan baku kimia yang berguna dan dapat dibakar dengan mudah untuk melepaskan energi atau digunakan untuk produksi bahan kimia yang memiliki nilai tambah. Gasifikasi membutuhkan agen gasifikasi, yaitu udara, oksigen atau uap, untuk mengatur ulang struktur molekul bahan baku dan mengubahnya menjadi bahan bakar gas yang berguna dan memiliki rasio (H/C) yang lebih tinggi. Perkembangan teknologi gasifikasi sudah sangat banyak dikembangkan, salah satunya adalah dual reactor fluidized bed. Pada teknologi ini menggunakan dua reaktor yaitu reaktor pembakaran dan reaktor gasifikasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis bagaimana pengaruh variasi kecepatan udara fluidisasi terhadap volume fraction pada Dual Reaktor Fluidized Bed (DRFB). Metode penelitian yang dilakukan yaitu simulasi dengan menggunakan software CPFD Barracuda Virtual Reactor. Desain yang digunakan pada simulasi ini adalah dual reactor fluidized bed, bahan bakar yang digunakan adalah RDF dengan ukuran 0.2-0.4 mm. Material Bed yang digunakan yaitu pasir silika dengan ukuran 0.1-0.2 mm. Pada penelitian ini menggunakan 3 variasi kecepatan udara yaitu 12 m/s, 13 m/s, dan 14 m/s. Hasil penelitian didapatkan seiring bertambahnya kecepatan udara maka semakin kecil nilai fraksi volume yang dihasilkan, variasi kecepatan 12 m/s menghasilkan nilai fraksi volume lebih tinggi dibandingkan kecepatan 14 m/s.

Kata kunci: Gasifikasi, Dual Reactor Fluidized Bed, RDF, Simulasi, Fraksi Volume

Abstract

Gasification is the process of converting solid or liquid feedstock into useful gaseous fuel or chemical feedstock that can easily be burned to release energy or used for the production of value-added chemicals. Gasification requires a gasification agent, such as air, oxygen, or steam, to restructure the molecular structure of the feedstock and convert it into useful gaseous fuel with a higherr(H/C) ratio. The development of gasification technology has been extensive, one of which is the dual reactor fluidized bed (DRFB) technology. This technology utilizes two reactors: the combustion reactor and the gasification reactor. This study aims to analyze the influence of various air fluidization velocities on the volume fraction in a Dual Reactor Fluidized Bed (DRFB). The research method employed simulation using CPFD Barracuda Virtual Reactor software. The design used in this simulation is a dual reactor fluidized bed, with RDF fuel ranging in size from 0.2-0.4 mm. The material bed used is silica sand with a size range of 0.1-0.2 mm. This study utilized three air velocity variations: 12 m/s, 13 m/s, and 14 m/s. The research results indicate that as the air velocity increases, the resulting volume fraction decreases. The 12 m/s velocity variation yields a higher volume fraction value compared to the 14 m/s velocity.

Keyword: Gasification, Dual Reactor Fluidized Bed, RDF, Simulation, Volume Fraction

1. Pendahuluan

Energi sudah menjadi bagian penting dari kebutuhan masyarakat di negara mana pun, termasuk di Indonesia. Seiring berjalannya waktu, jumlah penduduk Indonesia yang terus bertambah memungkinkan penggunaan energi yang akan ikut meningkat juga [1]. Selain permasalahan meningkatnya kebutuhan energi,

sampah juga menjadi permasalahan yang masih belum dapat terselesaikan.

Berdasarkan dari data Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, jumlah timbulan sampah yang ada di Bali terus meningkat setiap tahunnya. Pada tahun 2020 timbulan sampah di Bali mencapai 904.924,34 ton. Untuk tahun 2021 meningkat menjadi 915.482,46 dan pada tahun 2022 timbulan

sampah menjadi 975.239,66 ton. Untuk mengatasi hal ini, maka sampah tersebut dapat diolah menjadi sumber energi alternatif yaitu biomassa. satu teknologi yang saat ini berkembang untuk mengubah biomassa menjadi energi yaitu gasifikasi biomassa [2]. Diketahui bahwa metode gasifikasi ini memiliki kapasitas reduksi gas rumah kaca yang tinggi dan lebih ramah lingkungan jika dibandingkan dengan metode lain [3]. Perkembangan teknologi gasifikasi sudah sangat banyak dikembangkan, salah satunya adalah *dual reactor fluidized bed*. Pada system ini dual reactor memaksimalkan hasil pengkonversian bahan bakar yang belum sempurna menghasilkan gas dan masih menyisakan *char* akan dialirkan menuju reactor pembakaran lalu disirkulasikan menuju reactor gasifikasi lagi sehingga sisa residu *char* yang di hasilkan tidak ada lagi.

Computational Particle Fluid Dynamics (CPFD) adalah pengembangan dari Computational Fluid Dynamic (CFD). Metodologi CPFD menggunakan pendekatan model Multiphase Particle In Cell (MP-PIC). Pendekatan MP-PIC didasarkan pada pendekatan Eulerian-Lagrangian (EL) yang memperkenalkan konsep komputasi partikel, yang dimana partikel dikelompokkan sesuai dengan sifat yang sama seperti ukuran, densitas, waktu tinggal, kecepatan, dan lain-lain kedalam partikel komputasi [4]. Penggunaan CPFD sudah banyak diterapkan pada industri seperti, down flow reactors, biomass combustion chamber, biomass gasification, dan lain-lain. Beberapa peneliti menerapkan metode ini dalam model 3d untuk mempelajari efek partikel dan distribusi partikel pada sirkulasi fluidized bed [5].

Berdasarkan dari pemaparan di atas, penulis akan melakukan penelitian dengan memvariasikan kecepatan udara fluidisasi untuk mengetahui bagaimana pengaruh kecepatan udara fluidisasi terhadap *volume fraction* pada gasifikasi *dual reactor fluidized bed* dengan menggunakan software CPFD *Barracuda Virtual Reaktor*

2. Dasar Teori

2.1 Refuse Derived Fuel

Refuse Derived Fuel (RDF) merupakan hasil dari proses pemisahan limbah padat menjadi fraksi sampah yang mudah terbakar dan tidak mudah terbakar, seperti logam dan kaca. RDF mampu mengurangi jumlah sampah dan digunakan sebagai bahan bakar sekunder dalam industri semen dan pembangkit listrik melalui proses co-combustion. Dalam pembuatan RDF, fraksi sampah yang mudah terbakar biasanya diperkecil ukurannya dan dikeringkan agar dapat digunakan sebagai bahan bakar.

RDF yang akan digunakan telah melalui berbagai pengujian, termasuk Uji Proximate, Uji Ultimate, dan Uji Bomb Calorimeter. Pengujian ini penting untuk mengetahui kandungan dalam RDF, sehingga parameter-parameter yang dibutuhkan dapat diidentifikasi.

Tabel 1. Hasil Pengujian Proximate Analysis

Bahan Bakar	Moisture (%)	Volatile Matter (%)	Ash (%)	Fixed Carbon (%)
RDF	7,11	53,58	24,20	15,10

Tabel 2. Hasil Pengujian Ultimate Analysis

Bahan Bakar	Carbon (%)	Legend (%)	Nitrogen (%)	Oksigen (%)	Sulfur (%)
RDF	49,75	9,04	10,77	28,55	1,89

Tabel 3. Hasil Pengujian Bomb Calorimeter

2.2 Fluidisasi

Fluidisasi adalah kondisi di mana bahan bakar padat diperlakukan seperti fluida dengan memanfaatkan material bed. Fluidisasi juga dapat diartikan sebagai proses di mana lapisan zat padat diperlakukan seperti fluida [6].

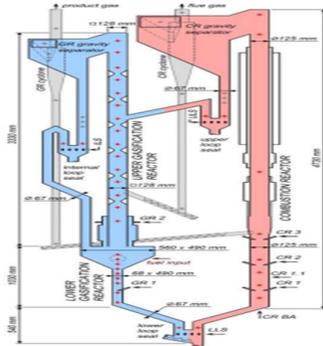
Sistem fluidisasi antara bahan bakar dan material bed terjadi karena luasnya permukaan kontak. Jika fluida yang melewati unggun partikel memiliki kecepatan rendah, maka unggun tidak akan bergerak. Namun, jika kecepatan fluida meningkat, perbedaan tekanan sepanjang unggun juga akan meningkat. Saat perbedaan tekanan sama dengan berat unggun dibagi luas penampang, unggun mulai bergerak dan melayang ke atas. Partikel-partikel padat ini akan bergerak dan memiliki perilaku seperti fluida. Kondisi ini dikenal sebagai lapisan terfluidisasi (*fluidized bed*).

2.3 Teknologi Gasifikasi

Gasifikasi didefinisikan sebagai konversi termo-kimia dari bahan padat atau cair yang berbasis karbon (feedstock) menjadi produk gas yang bisa dibakar (combustible) dengan pasokan bahan pembantu gasifikasi berupa gas yang lain. Bahan bakar yang digunakan dalam proses gasifikasi memiliki kandungan hidrokarbon seperti biomassa, sehingga sampah yang tidak bisa dimanfaatkan dapat terkelola dengan baik menggunakan teknologi gasifikasi dan dirubah menjadi energi terbarukan. Produk utama dari hasil gasifikasi umumnya adalah gas yang dapat terbakar seperti CO, CH₄, H₂, serta gas lainnya seperti CO₂. Proses gasifikasi tidak berbeda jauh dengan pembakaran, keduanya sama sama memerlukan suplai oksigen selama proses berlangsung, hanya saja pada gasifikasi perlu dikontrol oksigen yang masuk ke dalam sistem

2.4 Dual Reactor Fluidized Bed

Sebuah pengembangan teknologi terbaru yaitu *dual reactor fluidized bed* (DRFB) merupakan salah satu jenis reaktor yang memiliki sistem sirkulasi ganda, dimana salah satu reaktor berfungsi sebagai tempat proses gasifikasi, sedangkan reaktor lainnya digunakan untuk membakar biomassa yang tidak terkonversi secara sempurna. DRFB merupakan sebuah pengembangan teknologi dari reaktor tipe *circulating fluidized bed* yang digabungkan dengan tipe *updraft gasifier*[7].



Gambar 1. Dual Reactor Fluidized Bed

2.5 Computational Particle Fluid Dynamic

Computational Fluid Dynamic (CPFD) adalah pengembangan dari Computational Fluid Dynamic (CFD). Jika dalam CFD hanya menggunakan persamaan aliran, kekekalan massa dan kekekalan momentum untuk menyelesaikan suatu model aliran, maka pada CPFD ditambahkan metode discrete particle. Hal ini dilakukan untuk mengakomodasi adanya interaksi antar partikel dan gas partikel

3. Metode Penelitian

3.1 Rancangan Penelitian

Metode pendekatan secara pemodelan ini dilakukan sesuai dengan tujuan pelaksanaan penelitian yang ingin meneliti bagaimana pengaruh variasi laju udara fluidisasi terhadap volume fraksi pada pembakaran dual reaktor fluidized bed. Dalam penelitian ini, hasil penelitian diperoleh melalui perbandingan kondisi fluidisasi dari tiap variasi kecepatan udara fluidisasi yang telah ditentukan.

3.2 Variabel Penelitian

3.2.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang dapat mempengaruhi timbulnya variabel terikat yang besarnya ditentukan oleh peneliti sebelum penelitian dilakukan. Adapun variable bebas pada penelitian ini yaitu

- variasi kecepatan udara 12 m/s
- variasi kecepatan udara 13 m/s
- variasi kecepatan udara 14 m/s

3.2.2 Variabel Terikat

Varibel terikat adalah variabel yang besarnya muncul akibat adanya pengaruh dari variabel bebas. Dalam penelitian kali ini variabel terikat yang dihasilkan yaitu volume fraksi yang terjadi didalam reaktor pada saat proses simulasi berlangsung menggunakan Software CPFD Barracuda Virtual Reactor.

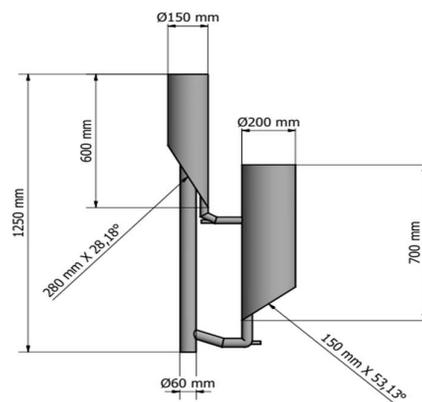
3.2.3 Variabel Kontrol

Variabel Kontrol adalah variabel yang dikendalikan sehingga hubungan variabel bebas terhadap variabel terikat tidak dipengaruhi oleh faktor luar yang tidak diteliti. Dalam penelitian ini variabel kontrol sebagai berikut :

- Suhu Operasional 850 °C
- Tekanan udara dalam fluidisasi sebesar 1 atm
- Simulasi dilakukan selama 60 detik
- Massa pasir silika 3 kg
- Massa RDF 1 kg

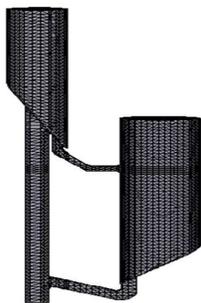
3.3 Desain Geometri

Desain geometri yang digunakan pada penelitian ini mengikuti bentuk asli dari *dual reaktor fluidized bed* yang ada pada lab NRCE. Berikut desain geometri yang dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2. Desain Geometri

Grid yang digunakan pada penelitian yaitu grid seragam dengan jumlah *cell* 190624*cell*. Berikut hasil gridding yang dapat dilihat pada gambar berikut:

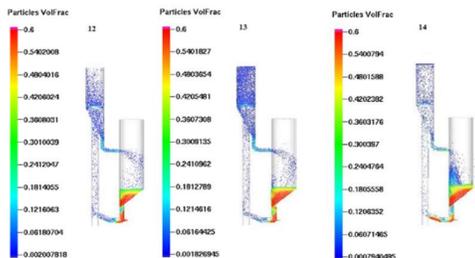


Gambar 3. Hasil Gridding

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Distribusi Fraksi Volume Pada Reaktor

Distribusi fraksi volume partikel merupakan salah satu hasil dari simulasi yang telah dilakukan menggunakan variasi kecepatan udara 12 m/s, 13 m/s, dan 14 m/s yang diamati selama 30 detik. Hal ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pergerakan partikel yang terjadi pada kedua reaktor saat proses fluidisasi. Berikut distribusi fraksi volume partikel selama simulasi berlangsung.



Gambar 4. Distribusi Fraksi Volume Partikel



Gambar 5. Grafik Hubungan Kecepatan Udara Terhadap Fraksi Volume

Partikel yang bersirkulasi pada kedua reaktor di setiap variasi kecepatan udara menunjukkan perbedaan pergerakan pada

reaktor. Berdasarkan dari grafik pada gambar 5 di atas dapat dilihat nilai fraksi volume tertinggi didapatkan pada variasi kecepatan 12 m/s dengan nilai 0.002007818, dan nilai fraksi volume terendah didapatkan pada kecepatan 14 m/s dengan nilai 0.000794049. Berdasarkan grafik diatas maka diketahui bahwa, semakin tinggi nilai kecepatan udara maka semakin rendah nilai partikel volume fraction yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh gaya dorong dari suplai udara yang lebih tinggi terhadap partikel bed yang mengakibatkan partikel lebih cepat bersirkulasi. Ketika kecepatan fluidisasi meningkat, aliran partikel menjadi lebih bergejolak dan pusaran besar dipaksa untuk pecah menjadi pusaran kecil. [8]

5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan tentang simulasi pengaruh kecepatan udara fluidisasi terhadap volume fraction pada gasifikasi dual reaktor fluidized bed menggunakan software CFX barracuda virtual reactor, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kecepatan udara fluidisasi yang digunakan maka semakin rendah nilai fraksi volume yang dihasilkan, dimana nilai fraksi volume tertinggi dihasilkan pada variasi kecepatan 12 m/s yaitu dengan nilai 0,002007818 dan nilai fraksi volume terendah dihasilkan pada variasi kecepatan 14 m/s yaitu dengan nilai 0,000794049.

Daftar Pustaka

- [1] R. R. Al Hakim, "Model Energi Indonesia, Tinjauan Potensi Energy Terbarukan Untuk Ketahanan Energi Di Indonesia: Literatur Review," *ANDASIH J. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–11, 2020.
- [2] D. Riansyah and D. H. Sutjahjo, "Pengaruh Variasi Air Fuel Ratio (Afr) Pada Gasifier Terhadap Kuantitas Nyala Api Syn Gas Pada Gasifikasi Biomassa Cangkang Sawit," pp. 37–42, 2019.
- [3] T. M. Ismail, A. Ramos, E. Monteiro, M. A. El-Salam, and A. Rouboa, "Parametric studies in the gasification agent and fluidization velocity during oxygen-enriched gasification of biomass in a pilot-scale fluidized bed: Experimental and numerical assessment," *Renew. Energy*, vol. 147, pp. 2429–2439, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.10.029.
- [4] R. Timsina, R. K. Thapa, B. M. E. Moldestad, and M. S. Eikeland, "Computational particle fluid dynamics simulation of biomass gasification in an

- entrained flow gasifier,” *Chem. Eng. Sci. X*, vol. 12, p. 100112, 2021, doi: 10.1016/j.cesx.2021.100112.
- [5] J. I. Córcoles, A. Acosta-Iborra, J. A. Almendros-Ibáñez, and C. Sobrino, “Numerical simulation of a 3-D gas-solid fluidized bed: Comparison of TFM and CPFD numerical approaches and experimental validation,” *Adv. Powder Technol.*, vol. 32, no. 10, pp. 3689–3705, 2021, doi: 10.1016/j.apr.2021.08.029.
- [6] P. Basu, *Circulating fluidized bed boilers: Design, operation and maintenance*. 2015. doi: 10.1007/978-3-319-06173-3.
- [7] 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.
- [8] M. L. Huolong Liu, Seongkyu Yoon, “Three-dimensional Computational Fluid Dynamics (CFD) Study of the Gas-particle Circulation Pattern within a Fluidized Bed Granulator: by Full-Factorial Design of Fluidization Velocity and Particle Size Huolong,” *Anal. Biochem.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–5, 2018.

	<p>Muhammad Yusuf Wibisono adalah mahasiswa studi S1 di Universitas Udayana dari tahun 2019. Saat ini topik penelitian yang diambil sebagai tugas akhir studi S1 tentang simulasi dari Dual Reactor Fluidized Bed.</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan mesin pembakaran dalam, gasifikasi dan topik yang berkaitan dengan termodinamika.</p>	