

Variasi Laju Pemakanan Bahan Bakar RDF Terhadap Distribusi Temperatur *Dual Reaktor Fluidized Bed*

Anhar Septiawan, I Nyoman Suprpta Winaya, dan I Wayan Arya Darma
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali

Abstrak

Penelitian ini dilakukan berguna untuk mengetahui pengaruh laju pemakanan bahan bakar RDF terhadap distribusi temperatur pada alat dual reactor fluidized bed, yang dimanfaatkan untuk menanggulangi masalah energi yang ada dimasa kini. metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. hasil yang didapat dalam penelitian ini adalah semakin tinggi laju pemakanan bahan bakar yang digunakan maka semakin rendah distribusi temperatur gasifikasi pada alat dual reactor fluidized bed. Distribusi temperatur pada reaktor gasifikasi mengalami penurunan dikarenakan adanya reaksi endotermik, sedangkan temperatur pada reaktor pembakaran mengalami kenaikan suhu dikarenakan reaksi eksotermik dan akan turun seiring waktu dikarenakan suplai udara bebas dari blower dan kompresor. Udara bebas itu berfungsi untuk memfluidisasikan bahan bakar dan juga bed material.

Kata Kunci : Gasifikasi, Dual Reactor Fluidized Bed, Laju Pemakanan Bahan Bakar

Abstract

This research was conducted to determine the effect of the fuel feeding rate of RDF on the temperature distribution in a dual reactor fluidized bed, which is used to overcome current energy problems. the method used in this research is experimental method. The results obtained in this study are the higher the fuel feeding rate used, the lower the gasification temperature distribution in the dual reactor fluidized bed device. The temperature distribution in the gasification reactor has decreased due to an endothermic reaction, while the temperature in the combustion reactor has increased due to the exothermic reaction and will decrease over time due to the supply of free air from the blower and compressor. The free air functions to fluidize the fuel and also the bed materia.

Keyword : Gasification, Dual Reactor Fluidized Bed, Fuel Feeding Rate

1. Pendahuluan

Energi merupakan sesuatu yang tidak dapat dilepaskan dalam kehidupan sehari-hari, aktivitas manusia selalu membutuhkan energi, seperti perekonomian, industri dan sektor transportasi. Sumber energi yang paling banyak digunakan saat ini berasal dari fosil yang merupakan sumber energi tak terbarukan. Minyak bumi dan gas alam adalah contoh penggunaan bahan bakar fosil. Ketika permintaan akan sumber energi fosil meningkat, ketersediaan sumber-sumber ini berkurang. Selain mengurangi ketersediaan sumber energi fosil, sumber energi tersebut juga berdampak negatif. Polutan dari pembakaran bahan bakar fosil merupakan penyumbang terbesar kabut asap, pemanasan global, hujan asam dan perubahan iklim [1]. Hal ini mempengaruhi penggunaan sumber energi alternatif, dan sumber energi baru terbarukan (EBT) merupakan salah satu sumber pasokan energi.

Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengatasi krisis energi tersebut, seperti mengembangkan bahan bakar alternatif dari sumber energi terbarukan seperti biomassa.

Biomassa didefinisikan sebagai bahan baku terbarukan atau bahan organik dari tumbuhan dan hewan, serta limbah biologis yang dapat diperoleh menjadi sumber energi. Salah satu sumber biomassa yang dapat dimanfaatkan adalah sampah kota yang dihasilkan dari limbah rumah tangga maupun kegiatan industri, selain mudah didapat pemanfaatan sampah kota juga bisa mengurangi tingkat pencemaran lingkungan yang terjadi.

Di lain pihak, Sampah telah menjadi masalah yang tidak pernah ada habisnya di kota-kota besar di Indonesia, termasuk kota dan kabupaten di Provinsi Bali. Salah satu langkah pengolahan sampah adalah mengubah sampah menjadi *Refuse Derived Fuel* (RDF). Bahan bakar RDF ini adalah salah satu bahan bakar yang diambil dari sampah/limbah yang menghasilkan panas tinggi. Penggunaan sistem RDF dinilai efektif dalam pengelolaan sampah, terutama di perkotaan yang memiliki masalah sampah tinggi [2].

Gasifikasi adalah proses mengubah bahan bakar padat menjadi gas yang membutuhkan lebih sedikit udara daripada yang digunakan untuk proses pembakaran [3]. Contoh bahan bakar padat yang dimaksud

adalah RDF, yang akan diolah kembali menjadi biomassa, dengan kata lain jika diterapkan dengan baik, teknologi gasifikasi ini dapat mengurangi jumlah sampah kota. Selama gasifikasi, bahan berbasis karbon dengan cepat diubah menjadi gas melalui berbagai reaksi yang didorong oleh bahan pembantu gasifikasi [4].

Kemajuan teknologi gasifikasi cukup luar biasa, *dual reactor fluidized bed* merupakan teknologi gasifikasi yang sedang dikembangkan, reaktor pembakaran dan reaktor gasifikasi merupakan reaktor yang digunakan untuk mengembangkan teknologi gasifikasi ini [5].

Tujuan dari penelitian yang akan dilakukan adalah untuk mengetahui Variasi Laju Pemakanan Bahan Bakar RDF Terhadap Distribusi Temperatur *Dual Reaktor Fluidized Bed*. Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah, bagaimanakah pengaruh variasi laju pemakanan bahan bakar RDF terhadap Distribusi Temperatur *Dual Reaktor Fluidized Bed* dengan menggunakan *bed material* pasir silika, maka perlu dilakukan pembatasan masalah antara lain:

1. Proses yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan *dual reactor fluidized bed*.
2. Ukuran RDF yang digunakan adalah 0,6 mm - 0,7 mm.
3. Udara yang dialirkan kedalam reaktor adalah udara bebas dengan bantuan blower dengan berkecepatan 12 m/s.
4. Bed material yang digunakan adalah pasir silika dengan ukuran pasir silika adalah 0,6 mm-0,7 mm.
5. Laju aliran injeksi gas agen H₂O yang digunakan adalah 15 l/menit.

2. Dasar Teori

2.1. Biomassa

Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui fotosintesis sebagai produk atau limbah. Biomassa yang umum digunakan antara lain pohon, rumput, limbah kehutanan, pupuk kandang, kotoran ternak, ubi jalar, dan limbah pertanian. Biomassa digunakan sebagai makanan dan pakan ternak, minyak nabati, bahan bangunan, dll. tetapi juga digunakan sebagai bahan bakar. Keunggulan biomassa mencakup fakta bahwa biomassa merupakan sumber energi terbarukan, sehingga memungkinkannya menyediakan sumber energi berkelanjutan.

Biomassa perlu dikonversi terlebih dahulu menjadi bahan bakar agar dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi yang siap digunakan. Dalam merubah biomassa menjadi

bahan bakar terdapat beberapa teknologi yang dapat digunakan, perbedaan penggunaan teknologi pengkonversian biomassa tersebut menimbulkan perbedaan bahan bakar yang dihasilkan. Teknologi yang digunakan untuk mengkonversi biomassa menjadi bahan bakar dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu: Pembakaran langsung, konversi termokimiawi dan konversi biokimia. Selain teknologi yang digunakan untuk merubah biomassa menjadi bahan bakar, terdapat juga berbagai macam proses yang terjadi pada saat berlangsungnya pengkonversian biomassa menjadi bahan bakar. Proses-proses tersebut antara lain, gasifikasi dan briket.

2.2. Refuse Derived Fuel

Refuse derived fuel (RDF) adalah hasil proses pemisahan limbah padat fraksi sampah mudah terbakar dan tidak mudah terbakar seperti metal dan kaca. RDF mampu mereduksi jumlah sampah dan menjadi *co-combustion*, bahan bakar sekunder industri semen dan industri pembangkit listrik. Dalam pembuatan RDF, fraksi sampah yang mudah terbakar pada umumnya dilakukan reduksi ukuran lalu dikeringkan supaya dapat digunakan sebagai bahan bakar. *Refuse derived fuel* (RDF) merupakan bahan bakar alternatif yang berasal dari proses mekanis dengan bahan baku sampah perkotaan yang tercampur dimana sampah yang *non-combustible* disisihkan untuk menghasilkan campuran yang homogen. Secara umum sistem RDF memiliki dua fungsi yaitu produksi dan pembakaran. Terdapat beberapa karakteristik dan standar yang digunakan dalam mengolah sampah menjadi RDF, antara lain nilai kalor, kadar volatil, kadar abu, dan kadar air [6].



Gambar 1. Refuse Derived Fuel

RDF yang digunakan melewati proses pengujian terlebih dahulu. Pengujian yang dilakukan antara lain, Uji *Proximate*, Uji *Ultimate* dan Uji *Bomb calorimeter*. Pengujian-pengujian tersebut berguna untuk mengetahui kandungan yang terdapat pada RDF yang akan digunakan, sehingga parameter-parameter yang dibutuhkan dapat diketahui.

Tabel 1. Hasil Pengujian Proximate Analysis RDF.

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

Tabel 2. Hasil Pengujian Ultimate Analysis RDF.

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

Tabel 3. Hasil Pengujian Bomb Calorimeter RDF.

Sampel	Massa (gr)	T1 (C°)	T2 (C°)	HHV (MJ/kg)	LHV (MJ/kg)	Massa H ₂ O (gr)
RDF	1,42515	26,896	29,713	15,889	14,311	0,699

2.3. Fluidisasi

Pada proses gasifikasi terdapat istilah yang dikenal dengan fluidisasi. Fluidisasi merupakan suatu kondisi dimana bahan bakar padat akan diperlakukan seperti fluida dengan memanfaatkan *bed material*. Fluidisasi juga dapat didefinisikan sebagai suatu operasi dimana hamparan zat padat diperlakukan seperti fluida [7].

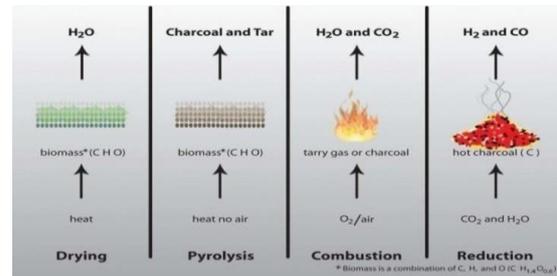
Sistem fluidisasi antara bahan bakar dengan *bed material* terjadi karena permukaan kontak yang luas. Apabila fluida yang melewati unggun partikel berkecepatan rendah maka unggun tidak dapat bergerak, sebaliknya, jika kecepatan dasar meningkat, perbedaan tekanan di sepanjang dasar juga akan meningkat. Ketika perbedaan tekanan sama dengan berat kasur dibagi luas penampang, kasur mulai bergerak dan melayang ke atas. Partikel padat ini akan bergerak dan berperilaku seperti zat cair. Keadaan seperti ini dikenal dengan hamparan terfluidisasikan (*fluidized bed*).

2.4. Teknologi Gasifikasi

Gasifikasi adalah proses perubahan energi dari bahan bakar karbon (padat atau cair) menjadi gas yang disebut gas sintesis (*syngas*), dimana gas tersebut memperoleh nilai bahan bakar melalui oksidasi parsial pada suhu tinggi. Gasifikasi adalah proses perubahan bahan bakar padat menjadi gas mampu bakar (CO, CH₄ dan H₂) melalui proses pembakaran dengan pasokan udara terbatas (20-40% udara stoikiometri). [8].

Proses gasifikasi dibedakan menjadi empat tahapan proses atas dasar perbedaan rentang temperatur, yaitu pengeringan ($T > 150^{\circ}\text{C}$), pirolisis ($150^{\circ}\text{C} < T < 700^{\circ}\text{C}$), oksidasi ($700^{\circ}\text{C} < T < 1500^{\circ}\text{C}$), dan reduksi ($800^{\circ}\text{C} < T < 1000^{\circ}\text{C}$). Proses pengeringan, pirolisis, dan

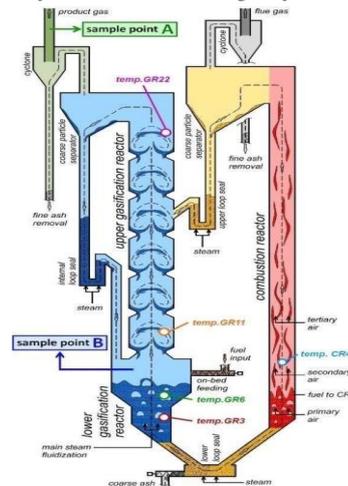
proses oksidasi bersifat melepas panas (eksotermik), sedangkan reduksi bersifat menyerap panas (endotermik) [9].



Gambar 2. Tahapan-tahapan Gasifikasi

2.5. Tipe Reaktor Gasifikasi

Teknik gasifikasi memerlukan reaktor sebagai tempat berlangsungnya sistem yang disebut *gasifier*. *Gasifier* dalam teknik fluidisasi memiliki berbagai macam tipe seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan jenis gasifikasi yang berlangsung di dalamnya. Adapun tipe dari reaktor gasifikasi antara lain, *fixed/moving bed gasifier*, *fluidized bed gasifier* dan *dual*



reactor fluidized bed.

Source: "FIRST SCIENTIFIC RESULTS WITH THE NOVEL DUAL FLUIDIZED BED GASIFICATION TEST FACILITY AT TU WIEN"

Gambar 3. Dual Reactor Fluidized Bed

2.7. Agen Gasifikasi

Agen gasifikasi yang umum digunakan untuk gasifikasi adalah oksigen (O₂), karbondioksida (CO₂) dan uap air (H₂O). Penggunaan media gasifikasi dapat mempengaruhi kandungan gas pada *syngas*. Penggunaan udara bebas menghasilkan senyawa nitrogen yang padat pada *syngas*, berbeda dengan penggunaan oksigen/steam, nilai kalor yang dihasilkan *syngas* lebih baik dibandingkan penggunaan udara.

Penggunaan gas agen gasifikasi berupa H_2O dapat mengubah bahan bakar karbon menjadi *syngas* yang kaya hidrogen yang diakibatkan efek dari reaksi gas dan air [10]. Namun dengan digunakannya agen gasifikasi berupa CO_2 dan H_2O dapat menghasilkan peningkatan konversi arang atau (*char*) menjadi gas sehingga dapat mencapai hasil *tar* yang minimal [11].

2.8. Pembakaran Bahan Bakar

2.8.1. Nilai Pembakaran

Jika dalam 1 kg bahan bakar terdiri dari karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), belerang (S), nitrogen (N), abu (A), air (W) maka dapat dihitung nilai pembakaran atau *heating value* dari bahan bakar tersebut. Rumus yang digunakan untuk menentukan *heating value* adalah sebagai berikut,

$$Q_{high} = 33915 C + 114403 (H - O/8) + 10648 S \quad (kj/kg) \quad (6)$$

$$Q_{low} = 33915 C + 121423 (H - O/8) + 10648 S - 2512 (W + 9 \times O/8) \quad (kj/kg) \quad (7)$$

Dimana, Q_{high} = Nilai pembakaran tertinggi atau *highest heating value*, yang dalam hal ini uap air hasil pembakaran dicairkan terlebih dahulu, sehingga panas pengembunannya turut dihitung sebagai panas pembakaran yang terbentuk.

Q_{low} = Nilai pembakaran terendah atau *lowest heating value*, yang dalam hal ini uap air yang terbentuk tidak perlu dicairkan, sehingga panas pengembunan tidak dihitung sebagai panas pembakaran yang terbentuk.

2.9. Bed Material

Bed material pada sistem gasifikasi berfungsi untuk menyimpan energi panas yang nantinya akan berkontak langsung pada permukaan bahan bakar. Sistem gasifikasi DRFB memerlukan bed material dengan ukuran yang relatif kecil sehingga bahan bakar dan bed material mampu mengalami fluidisasi pada tabung reaktor. Selain itu juga *bed material* diharapkan memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi.

Dalam penelitian ini, pembawa panas antar reaktor adalah material dasar pasir silika (99,4-99,9% SiO_2) dengan densitas partikel $2,18 \text{ gr/cm}^3$ dan panas spesifik kecil $0,20 \text{ kal/gram}^\circ\text{C}$. Karena pasir silika adalah bahan dasar yang tidak berpori, semakin kecil nilai kalor bahan tersebut, semakin mudah untuk menaikkan suhunya. Pasir silika memiliki titik lebur yang tinggi hingga mencapai 1800°C ,

sehingga sangat cocok untuk aplikasi *fluidized bed gasification* [12].

Ukuran bed material yang digunakan dalam *fluidized bed* berpotensi mempengaruhi unggun yang akan dihasilkan. Berdasarkan simulasi yang dilakukan dengan metode rekayasa CFD (*Computational Fluid Dynamic*) pada *software ANSYS* menunjukkan bahwa semakin kecil partikel yang digunakan maka kecepatan partikel dalam unggun akan semakin besar sehingga partikel akan lebih mudah mengalami fluidisasi, yang tentunya juga akan mempercepat proses gasifikasi [13].



Gambar 4. Pasir Silika

2.10. Laju Pemakanan Bahan Bakar (*Fuel Feeding Rate*)

Laju pemakanan bahan bakar (*fuel feeding rate*) mengacu pada jumlah bahan bakar yang disuplai ke mesin atau perangkat pembakaran dalam satuan waktu [14]. Laju pemakanan bahan bakar, konsep ini penting dalam proses pembakaran karena pemakanan bahan bakar yang terlalu rendah dapat mengurangi efisiensi dan performa mesin, sementara pemakanan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada mesin [15].

Secara umum, *fuel feeding rate* dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk desain mesin atau perangkat pembakaran, jenis bahan bakar yang digunakan, dan kondisi operasi seperti suhu dan tekanan. Ada beberapa cara untuk mengukur *fuel feeding rate*, termasuk pengukuran langsung dengan menggunakan *flowmeter* atau pengukuran tidak langsung dengan menghitung konsumsi bahan bakar per unit waktu [15].

Pada mesin pembakaran dalam, *fuel feeding rate* dapat berpengaruh pada efisiensi termal, emisi gas buang, dan performa mesin. Peningkatan *fuel feeding rate* dapat meningkatkan daya mesin, tetapi pada saat yang sama dapat meningkatkan emisi gas buang dan penggunaan bahan bakar. Oleh karena itu, optimasi *fuel feeding rate* menjadi penting dalam upaya untuk mencapai keseimbangan antara efisiensi, emisi, dan performa mesin yang optimal [14].

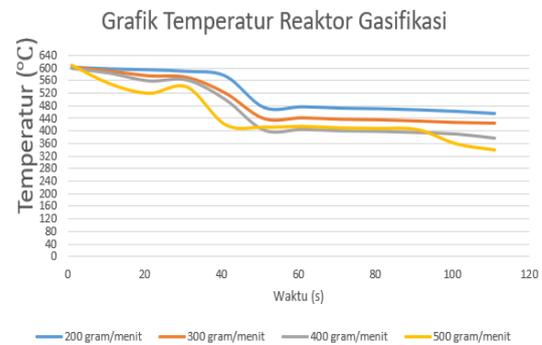
suhu reaktor gasifikasi dan pembakaran yang dihasilkan dari alat pengumpul data.

2.11. Metode Uji

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan unit *dual reactor fluidized bed* (DRFB). DRFB merupakan *gasifier* berbahan *stainless steel schedule 304*, *gasifier* DRFB terdiri dari 2 reaktor, dimana pembakaran dan gasifikasi berlangsung terpisah, kedua reaktor terhubung secara termal oleh *bed material* yang bersirkulasi [16]. Pada bagian ujung reaktor terdapat *cyclone* dengan ukuran 152,4 mm yang berfungsi untuk mensirkulasikan kembali bahan bakar dan *bed material* hingga bahan bakar terbakar secara sempurna. Reaktor pembakaran dan reaktor gasifikasi dihubungkan oleh 2 buah pipa berukuran 25,4 mm yang dinamakan *upper* dan *downer*. Kedua reaktor masing-masing dipasang 2 buah termokopel untuk melihat temperatur di dalam reaktor yang kemudian akan terhubung pada termokontrol dan *data logger*. Termokontrol digunakan menyeting temperatur agar sesuai dengan temperatur operasi dan pada *data logger* digunakan untuk merekam temperatur selama operasi. Kebutuhan udara yang digunakan untuk mensirkulasi bahan bakar dan *bed material* disuplai oleh *blower* dan kompresor. Sebelum memasuki reaktor pembakaran udara dari *blower* akan dipanaskan oleh *heater box* agar tercapai suhu yang telah ditentukan. Sedangkan udara yang disuplai oleh kompresor akan digunakan untuk mensirkulasikan campuran bahan bakar dan *bed material* melalui pipa *downer* dan dilakukan penginjeksian gas agen dari reaktor gasifikasi menuju ke reaktor pembakaran. Disamping itu juga pada pipa *upper* udara yang disuplai oleh kompresor berguna untuk mendorong campuran *bed material* dan bahan bakar dari reaktor pembakaran menuju reaktor gasifikasi serta, pada reaktor gasifikasi terpasang 7 heater dan pada reaktor pembakaran 2 heater yang terhubung langsung pada termokontrol.

2.12. Distribusi Temperatur

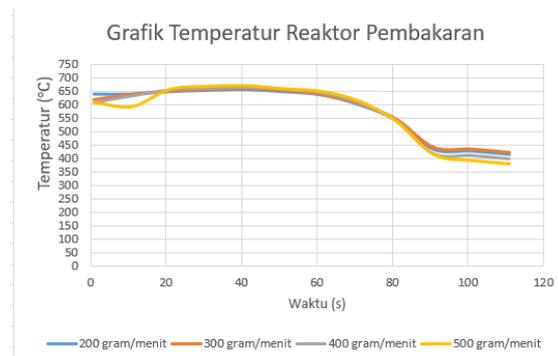
Saat dijalankan pengujian, setiap reaktor dilengkapi dengan dua termokopel yang terhubung ke termokontrol dan *data logger*. Dalam konfigurasi reaktor, termokopel yang terhubung ke termokontrol berperan dalam pengaturan suhu, sementara yang terhubung ke *data logger* berfungsi untuk merekam data suhu selama proses operasional berlangsung. Grafik berikut menunjukkan



Gambar 5. Grafik Temperatur Reaktor Gasifikasi

Pada tahap awal operasi, suhu di dalam reaktor gasifikasi turun seiring berjalannya waktu hingga akhir operasinya dikarenakan adanya reaksi endotermik dimana bahan bakar yang masuk menyerap energi panas yang ada pada *gasifier*. Namun, pada akhir reaksi, terlihat bahwa suhu reaktor gasifikasi masih sekitar 350°C. Hal ini menunjukkan bahwa bahan bakar masih dapat mengalami proses gasifikasi.

Pada reaktor pembakaran terjadi peningkatan suhu yang disebabkan oleh proses pembakaran yang terjadi didalam reaktor dan reaksi eksotermik. Dan seiring berjalannya waktu, temperatur reaktor pembakaran mengalami penurunan yang menandakan bahwa bahan bakar pada reaktor telah habis.



Gambar 6. Grafik Temperatur Reaktor Pembakaran

6. Daftar Pustaka

- [1] Kholiq, I. (2015). *Pemanfaatan Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan Untuk Mendukung*

- Substitusi BBM*. Jurnal IPTEK 19 (2), 75-77.
- [2] Ummatin, Kuntum Khoiro., & Novantio Bagas Putra Pratama. (2021). *Analisa Perilaku Rumah Tangga Dalam Mengelola Sampah Dalam Upaya Mendukung Energi Alternatif Refuse Derived Fuel (RDF)*. Jurnal Dinamika Teknik, 4(1), 40-47.
- [3] Muhammad, Wafi. (2012). *Studi Penerapan Sistem Gasifikasi Tempurung Kelapa Untuk Pembangkit Listrik*. Skripsi. Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- [4] Belgiorno, V., De Feo, G., Della Rocca, C., & Napoli, R. M. A. (2003). *Energy from gasification of solid wastes*. Waste Management, 23(1), 1–15.
- [5] Darma, I. W. A., Winaya, I. N. S., & Wirawan, I. K. G. (2018). *Studi Pengaruh Temperatur Reaktor Gasifikasi Terhadap Fuel Conversion Rate Gasifikasi Dual Reactor Fluidized Bed*. 4(2), 37–42.
- [6] Rania, M. F., I Gede E. L., & Eka M. (2019). *Analisis Potensi Refuse Derived Fuel (RDF) dari Sampah pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) di Kabupaten Tegal Sebagai Bahan Incinerator Pirolisis*. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin. 13(1), 51-59.
- [7] Basu, P & Fraser, S. A. (1991). *Circulating Fluidized Bed Boilers*. Butterworth-Heinemann. United States of America.
- [8] Rinovianto, G. (2012). *Karakteristik Gasifikasi pada Updraft Double Gas Outlet Gasifier Menggunakan Bahan Bakar Kayu Karet*. Skripsi. Universitas Indonesia.
- [9] Widyawidura, W., Ratih, P. L., Muhammad., S. C., Agus. P., Mochhammad. S. (2017). *Pengaruh Jenis Bahan Terhadap Proses Gasifikasi Sampah Organik Menggunakan Updraft Fixed Bed Reactor*. Jurnal Engine, 1(2), 30- 37.
- [10] Kuo, P., & Wu, W. (2015). *Design, Optimization and Energetic Efficiency of Producing Hydrogen-Rich Gas from Biomass Steam Gasification*. Energies. 8(1). 94–110.
- [11] Jeremias, M. (2017). *CO₂ gasification of biomass: The effect of lime concentration in a fluidized bed*. Applied Energy 217 (2018) 361–368.
- [12] Winaya, I N.S., Wirawan. I. K. G., Darma. I. W. A., Lokantara. I. P., Hartati. R. S. (2018). *An increase in bed temperature on gasification of dual reator fluidized bed*. International Journal of E3S Web of Conferences.
- [13] Winaya. I. N. S., Putrawan. I. M. A., Sujana. I. N. G., & Sucipta. M. (2014). *CFD Simulation of Heat Transfer in Fluidized Bed Reactor*. Trans Tech Publications Ltd. 493. 267-272.
- [14] Kalam, M, A., Masjuki, H, H., Hazrat, M, A., & Amalina, M, A. (2017). *Effects of fuel injection rate and timing on the combustion and emission characteristics of a diesel engine fueled with biodiesel-diesel blends*. International Journal of Energy Research.
- [15] Singh, S., Sharma, A., Singh, G, K., Singla, A., & Singh, N, K. (2018). *Optimization of performance and emission parameters of direct injection diesel engine fuelled with pongamia methyl esters-response surface methodology approach*. Industrial Crops and Products. (125). 218-226
- [16] Wilk, V., & Hofbauer, H. (2013). *Conversion of fuel nitrogen in a dual fluidized bed steam gasifier*. Fuel. (106). 793-801
- [17] Djokosetyardjo, M J. (1999). *Ketel Uap*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- [18] Schmid, J. C., Müller, S., & Hofbauer, H. (2016). *First Scientific Results with the Novel Dual Fluidized Bed Gasification Test Facility at TU Wien*. In 24th European Biomass Conference and Exhibition (pp. 842–846).

