

Studi Laju Konversi Bahan Bakar Sabut Kelapa Pada Gasifikasi Dual Reaktor Fluidized Bed

I W. Jobix E., I N. Suprapta W., IP. Lokantara

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Teknologi dual reactor fluidized bed (DRFB) adalah pengkonversian bahan bakar padat didalam sebuah loop terhubung dengan dua reaktor yang terfluidakan secara termokimia menjadi bahan bakar gas mudah terbakar. Proses ini memerlukan sekitar 50% udara pembakaran. Sabut kelapa adalah biomassa yang dapat digunakan sebagai sumber energi ramah lingkungan yang paling siap untuk menggantikan peran minyak bumi. Unit DRFB yang digunakan terdiri dari dua buah reaktor yang dibuat dengan bahan pipa stainless steel (SS304) berdiameter 4 inchi untuk reaktor gasifikasi dan pipa berdiameter 2 inchi untuk reaktor pembakaran. Bahan bakar yang digunakan adalah sabut kelapa dengan massa 600 gram dan temperatur operasi dalam penelitian ini adalah 500°C pada reaktor gasifikasi dan 600°C pada reaktor pembakaran. Hasil dari pengujian, pada unit gasifier dual reactor fluidized bed (DRFB) mempunyai lama nyala sebesar 201 detik adapun performansi Fuel Conversion Rate Aktual (FCR) yang didapat sebesar 5,701 kg/jam.

Kata Kunci : Dual Reactor Fluidized Bed (DRFB), Variasi Kecepatan Superfisial, Bahan Bakar Sabut Kelapa

Abstract

The dual reactor fluidized bed (DRFB) technology is a thermochemical fluidized convert of thermochemical solid fuel into combustible gas. This process requires about 50% combustion air. Coconut fiber is a biomass that can be used as the most environmentally friendly energy source ready to replace the role of petroleum. The DRFB unit used consists of two reactors made with stainless steel pipe (SS304) diameter 4 inchi in diameter for gasification reactor and 2 inchi diameter pipe for combustion reactor. The fuel used is a coconut fiber with a mass of 600 grams and the operating temperature in this study is 500 ° C at the gasification reactor and 600 ° C at the combustion reactor. The results of the test, on the unit of dual reactor fluidized bed (DRFB) has a duration of 201 seconds as for the actual Fuel Conversion Rate (FCR) performance obtained at 5.701 kg / hour.

Keywords: Dual Reactor Fluidized Bed (DRFB), Superficial Velocity Variation, Coconut Fiber Fuel

1. Pendahuluan

Kebutuhan dan konsumsi energy di Indonesia semakin meningkat sejalan dengan bertambahnya populasi manusia dan aktivitas manusia yang menggunakan bahan bakar terutama bahan bakar minyak yang diperoleh dari fosil tumbuhan maupun hewan. Salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk mengurangi konsumsi bahan bakar minyak yang diperoleh dari fosil tersebut adalah menggunakan energi biomassa. Energi biomassa merupakan sumber energi yang berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbaharui sehingga berpeluang untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif. Bahan pembuatan energi biomassa dapat diperoleh dari limbah pertanian, seperti limbah sabut kelapa,

Gasifikasi biomassa adalah salah satu cara yang dapat dilakukan untuk memaksimalkan potensi yang dimiliki oleh sabut kelapa sekaligus solusi untuk mengurangi penggunaan energi fosil. Gasifikasi adalah proses termokimia yang mengubah biomassa padat menjadi combustible gas atau gas yang dapat terbakar. Dalam proses gasifikasi fluidized bed ini digunakan dual reactor fluidized bed (DRFB). Pada saat proses fluidisasi dibutuhkan material hamparan (bed) dalam membantu proses terjadinya gasifikasi. Salah satu material bed yang akan digunakan dalam

penelitian ini adalah pasir gunung atau pasir vulkanik. Dalam penelitian ini akan menganalisis bagaimana performansi dual reactor fluidized bed (DRFB) dengan menggunakan bahan bakar sabut kelapa dan bed material pasir gunung.

2. Landasan Teori

2.1 Sabut Kelapa

Kelapa merupakan tanaman perkebunan/industri berupa pohon batang lurus dari family Palmae. Tanaman Kelapa (*Cocos nucifera* L) merupakan tanaman serbaguna atau tanaman yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Seluruh bagian pohon, akar, batang, daun, dan buahnya dapat dimanfaatkan untuk kehidupan sehari-hari. Selama ini pemanfaatan sabut kelapa hanya sebatas untuk kerajinan, seperti tali, keset, sapu, matras, dan lain-lain.



Gambar 1. Sabut Kelapa

Sabut kelapa merupakan bagian yang besar dari hasil buah kelapa, yaitu 35% dari keseluruhan buah kelapa. Komposisi sabut kelapa terdiri dari 25 % gabus dan 75% serat. Sabut kelapa dapat diolah menjadi bahan-bahan yang memiliki nilai jual tinggi seperti cocosheet dan cocopeat [1].

Cocosheet merupakan serat sabut kelapa yang diolah menjadi lembaran-lembaran, dapat digunakan sebagai peredam bunyi. Sedangkan Cocopeat merupakan produk olahan kelapa yang berasal dari proses pemisahan sabut kelapa. Ketika serat sabut kelapa terpisah, maka akan menghasilkan serbuk kelapa atau cocopeat. Cocopeat dapat digunakan sebagai bahan bakar.

2.2 Pasir Gunung

Pasir gunung atau pasir vulkanik adalah bahan material vulkanik jatuhnya yang disemburkan ke udara saat terjadi suatu letusan gunung berapi. Abu maupun pasir vulkanik terdiri dari batuan berukuran besar sampai berukuran halus, yang berukuran besar biasanya jatuh di sekitar kawah sampai radius 5-7 km dari kawah, sedangkan yang berukuran halus dapat jatuh pada jarak mencapai ratusan kilometer bahkan ribuan kilometer dari kawah disebabkan oleh adanya hembusan angin [2].



Gambar 2. Pasir Gunung

Daerah penghasil pasir gunung di Bali terdapat di daerah Karangasem terutama di wilayah terdampak erupsi Gunung Agung pada tahun 1963 seperti di daerah Kubu, Selat, Bebandem dan Rendang. Pasir gunung ditambang di daerah sekitar gunung berapi atau daerah sungai yang mengalirkan hasil erupsi gunung berapi. Hasil penambangan pasir gunung biasanya didistribusikan ke penjual pasir atau toko bahan material bangunan. Material yang dilontarkan oleh gunung berapi ketika erupsi menebarkan material yang mengandung SiO₂ kristalin atau pasir kuarsa yang biasa digunakan untuk pembuatan kaca. Sebagian besar sampel material erupsi gunung berapi mengandung 3.6% kristobalit [3].

Dari hasil penelitian Sudaryo dan Sutjipto pada tahun 2009 diketahui bahwa kandungan logam tanah vulkanik di daerah Cangkringan adalah logam Al berkisar antara 1,8-5,9%; Mg 1-2,4%; Si 2,6-28%; dan Fe 1,4-9,3% [2]. Sebagian besar lava Merapi merupakan senyawa alkalin, basaltik andesit dengan silika yang terkandung di dalamnya antara 52-57 %. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Latief [4], pasir erupsi gunung Merapi memiliki suhu sinter

1200oC dan suhu lebur sebesar 1300°C sehingga tahan terhadap suhu kerja yang digunakan pada penelitian ini (600°C) dan dapat digunakan sebagai material hamparan dalam proses fluidisasi. Sebelum digunakan dalam penelitian, pasir gunung dibersihkan dengan air yang bertujuan menghilangkan tanah dan pengotor lainnya. Setelah bersih, kemudian pasir gunung diayak sesuai dengan ukuran yang diinginkan (0,4 – 0,5mm).

2.3 Gasifikasi

Gasifikasi adalah proses termokimia yang mengubah biomassa padat menjadi combustible gas atau gas yang dapat terbakar. Gas yang dihasilkan selama proses gasifikasi terdiri dari gas yang bisa terbakar seperti, karbon monoksida (CO), hidrogen (H₂), metana (CH₄), dan gas yang tidak dapat terbakar seperti karbon dioksida (CO₂), nitrogen (N₂), uap air (H₂O) serta berbagai kontaminan seperti partikel arang, debu, tar, hidrokarbon rantai tinggi, alkali, amoniak, asam, dan senyawa-senyawa sejenisnya. Tujuan dari gasifikasi adalah untuk memutuskan ikatan dari molekul kompleks yang terdapat pada bahan bakar (biomassa) menjadi gas yang sederhana yaitu hidrogen dan karbon monoksida (H₂ dan CO) Pada proses gasifikasi terdapat empat tahapan proses berupa drying, pyrolysis, oksidasi dan reduksi.

2.4 Fluidisasi

Fluidisasi adalah metode pengontakan butiran-butiran padat dengan fluida baik cair maupun gas. Dengan metode ini diharapkan butiran-butiran padat memiliki sifat seperti fluida dengan viskositas tinggi. Dalam proses gasifikasi fluidized bed ini digunakan dual reactor fluidized bed. Dual reaktor ini terdiri dari dua bagian yaitu reaktor pembakaran bahan bakar dan reaktor untuk proses gasifikasi. Sistem reaktor ini adalah jika dalam proses gasifikasi atau pengkonversian bahan bakar menjadi gas terdapat sisa bahan bakar yang belum terkonversi menjadi gas maka sisa bahan bakar (char) tersebut akan disirkulasikan ke reaktor pembakaran dan kemudian kembali ke proses gasifikasi hingga bahan bakar habis terkonversi menjadi gas.

Fluidisasi dapat terjadi ketika suatu aliran udara melewati suatu partikel unggun. Aliran udara tersebut akan memberikan gaya seret (drag force) pada partikel serta pressure drop sepanjang unggun. Pressure drop yang diberikan akan meningkat jika kecepatan superfisial dinaikkan.

Beberapa faktor yang memengaruhi fluidisasi, antara lain laju alir fluida dan jenis fluida, ukuran dan bentuk partikel, jenis dan densitas partikel, porositas unggun, distribusi aliran, distribusi bentuk ukuran fluida, diameter kolom fluidisasi, dan tinggi unggun.

2.5 Fuel Conversion Rate (FCR)

Jumlah bahan bakar yang dikonsumsi pada proses gasifikasi dapat dihitung menggunakan rumus:

$$FCR = \frac{\text{berat bahan bakar tergasifikasi}}{\text{waktu operasional}} - \frac{\text{berat bahan bakar-berat arang} \left(\frac{\text{kg}}{\text{jam}} \right)}{\text{waktu operasional}}$$

3. Metode Penelitian

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian tentang variasi temperatur terhadap performansi gasifikasi dual reactor fluidized bed berbahan bakar sabut kelapa ini dilakukan di Laboratorium Gasifikasi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran. Begitu juga lokasi pembuatan alatnya yaitu dual reactor fluidized bed juga berlokasi ditempat yang sama.

3.2 Bahan Penelitian

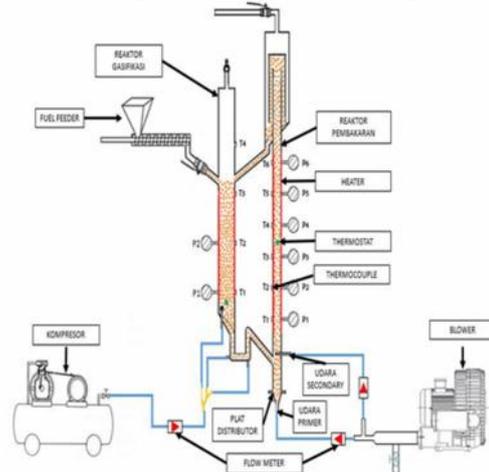
Adapun bahan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

- Dalam penelitian ini biomassa sabut kelapa yang digunakan sebagai bahan bakar yang sudah berbentuk butiran kecil dengan ukuran yang sama yaitu antara 0,4 sampai 0,5 mm.
- Dalam penelitian ini pasir gunung digunakan sebagai media hamparan dengan ukuran yang sama yaitu antara 0,4 mm sampai 0,5 mm.

3.3 Deskripsi Alat Gasifikasi (DRFB)

Proses penelitian ini dilakukan pada unit dual reactor fluidized bed (DRFB). Penelitian ini menggunakan dua buah reaktor yang dibuat dari bahan khusus yaitu stainless steel schedule 304. Kedua reaktor tersebut mempunyai perbedaan dimensi, pada reaktor 1 atau yang dinamakan reaktor gasifikasi mempunyai ukuran 101,6 mm dan reaktor 2 yang dinamakan reaktor pembakaran yang mempunyai ukuran 50,8 mm. Pada ujung atas reaktor pembakaran terdapat cyclone yang berfungsi untuk mensirkulasikan campuran biomassa atau bahan bakar dengan material hamparan, cyclone ini mempunyai ukuran yang lebih besar yaitu berukuran 152,4 mm, sehingga sisa dari bahan bakar yang belum terbakar sempurna kembali disirkulasikan hingga bahan bakar terbakar secara optimal. Kedua reaktor tersebut dihubungkan dengan 2 buah pipa berukuran 25,4 mm yaitu dinamakan upper dan downer, pada dual reactor fluidized bed ini dibuatkan pengaman berupa tabung dan dihubungkan oleh pipa berukuran 25,4 mm yang dihubungkan dengan reaktor gasifikasi. Dalam tabung yang berdiameter 300 mm ini yang didalamnya itu berisikan air. Pada reaktor pembakaran dipasang 8 buah pressure gauge

dan 10 buah thermocouple untuk melihat tekanan dan distribusi temperatur pada reaktor tersebut. Pada reaktor gasifikasi dipasang 4 buah pressure gauge dan 4 buah thermocouple. Masing-masing reaktor dipasangkan thermocontrol yang berguna untuk mengatur suhu di dalam reaktor agar tetap konstan. Sedangkan udara yang dihasilkan oleh kompresor akan digunakan pada downer untuk mensirkulasikan campuran bed material dan bahan bakar sabut kelapa ke dalam reaktor pembakaran dari reaktor gasifikasi.



Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap yaitu sebagai berikut :

- o Mempersiapkan alat uji dual reactor fluidized bed gasifier.
- o Mengecek aliran kelistrikan agar tidak terjadi arus pendek (short current).
- o Menyiapkan bahan bakar biomassa berupa sabut kelapa berbentuk butiran dengan ukuran antara 0,4 sampai 0,5 mm dan material hamparan pasir gunung dengan ukuran antara 0,4 sampai 0,5 mm masing-masing sebanyak 700 gram.
- o Memastikan tempat melakukan penelitian bersih dan udara sekitar tempat penelitian bebas dari asap yang bukan dari unit dual reactor fluidized bed.
- o Mempersiapkan komponen pendukung seperti: Probe gas analyser, kompresor dan blower.
- o Persiapkan alat ukur seperti flow meter, pressure gauge, anemometer, data logger dan laptop untuk pengujian distribusi temperatur. Pasang semua alat ukur dan pastikan alat ukur tersebut terpasang dengan baik.
- o Masukkan material hamparan pasir gunung kedalam reaktor melalui fuel feeder sesuai dengan volume yang direncanakan.
- o Nyalakan blower dan kompresor lalu atur kecepatan udara sesuai yang dibutuhkan menggunakan anemometer. Kemudian alirkan udara pada compressor dengan kecepatan yaitu 20,7 liter/s, diukur dengan flow meter.
- o Kemudian alirkan N2 selama 5 menit untuk proses pembilasan yang bertujuan menetralkan udara/oksigen. Kecepatan yang digunakan

yaitu 20,7 liter/s diukur menggunakan flow meter.

- Buka aplikasi NI MAX pada laptop kemudian hubungkan thermocouple dengan data logger. Selanjutnya uji thermocouple dan lihat pada aplikasi NI MAX apakah sudah terbaca atau tidak.
- Nyalakan heater pada tahap awal sampai 300°C, kemudian dilanjutkan sampai rencana percobaan baik untuk reaktor gasifikasi dan pembakaran.
- Pantau terus distribusi temperatur dengan aplikasi NI MAX pada laptop.
- Setelah temperatur tercapai atau steady state, yaitu pada reaktor gasifikasi 500°C dan reaktor pembakaran 600°C, kemudian hembuskan udara blower dan juga kompresor agar bed material bersirkulasi.
- Masukkan butiran biomassa sabut kelapa yang berukuran antara 0,4-0,5 mm melalui fuel feeder sebanyak 700 gram.
- Catat waktu operasi menggunakan stop watch, kemudian ambil foto setiap 10 detik untuk data distribusi tekanan.
- Uji nyala gas hasil gasifikasi.
- Jika sudah menyala ambil sample gas kemudian simpan menggunakan probe gas analyser.
- Setelah pengambilan sample selesai, uji lama nyala dari syngas hingga tidak ada lagi gas yang keluar dan catat waktu lama nyala.
- Selesai pengujian matikan arus listrik baik dari blower maupun heater. Kemudian tunggu reaktor hingga dingin.
- Keluarkan sisa arang dalam reaktor melalui downer hingga bersih.
- Gas yang di simpan di dalam tabung selanjutnya dibawa ke Laboratorium forensik Denpasar untuk mengetahui kadar CO, CH₄, dan H₂

4. Hasil Dan Pembahasan

4.1 Pengujian Bahan Bakar

Komposisi bahan bakar dapat diketahui setelah melakukan penelitian uji Proximate dan Ultimate agar dapat mengetahui presentase komposisi yang terdapat pada bahan bakar sabut kelapa, pengujian analisa proximate dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur-unsur fisika dari bahan bakar sabut kelapa, seperti: kadar air (moisture), abu (ash), karbon tetap (fixed karbon) dan bahan mudah menguap (volatile). Dapat dilihat pada Tabel 1. Sedangkan pengujian Analisa Ultimate untuk mengetahui unsur-unsur kimia pada bahan bakar sabut kelapa, yaitu: Carbon (C), Hydrogen (H), Oxygen (O) Nitrogen (N), dan Sulfur (S) dapat dilihat pada Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 1. Hasil Pengujian Proximate

	Moisture	Abu	Fixed Carbon	Volatile Matter
	%	%	%	%
Sabut Kelapa	11,28	3,48	25,88	59,39

Sumber : Dwi Anggara, 2014 [5]

Tabel 2 Hasil Pengujian Ultimate

	C	H	O	N	S
	%	%	%	%	%
Sabut Kelapa	46,36	6,52	43,34	0,28	0,02

Sumber : Dwi Anggara, 2014 [5]

4.2 Data Hasil Penelitian

Setelah melakukan penelitian dan pengamatan seperti yang telah dijelaskan pada metodologi penelitian, maka dapat diketahui data berupa waktu operasi, massa output dan massa input. Waktu operasi adalah durasi lama proses percobaan gasifikasi dari awal memasukkan bahan bakar hingga sampai terciptanya gas mampu bakar. Data hasil penelitian dapat dilihat pada tabel 3.

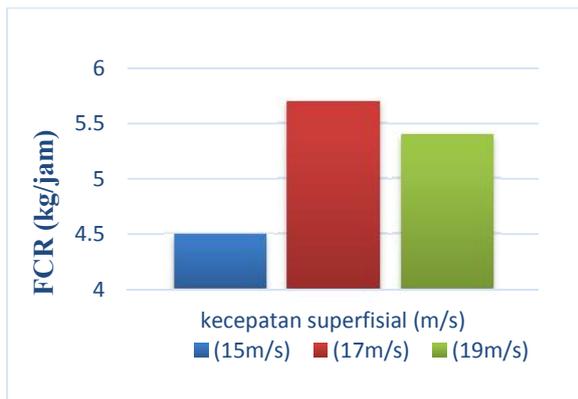
Tabel 3. Data Hasil Penelitian Variasi Kecepatan Superfisial (m/s) Sabut Kelapa

Variasi Kecepatan Superfisial (m/s)	Massa Bahan Bakar (gram)	Massa Arang (gram)	Waktu Lama Nyala (detik)	Waktu Operasi (detik)
Variasi I (15m/s)	600	189	130	325
Variasi II (17m/s)	600	165	201	275
Variasi III (19m/s)	600	177	175	280

Perhitungan Fuel Conversion Rate

Setelah melakukan penelitian, maka nilai dari Fuel Conversion Rate dari masing-masing variasi dapat dihitung berdasarkan data dari Tabel.3.

Berdasarkan grafik pada Gambar 3 pada Variasi II dengan kecepatan superfisial 17 m/s didapat berat arang yang lebih kecil dari Variasi III dengan kecepatan superfisial 19 m/s maka bahan bakar sabut kelapa yang tergasifikasikan lebih banyak. Untuk waktu operasinya pada Variasi II dengan kecepatan superfisial 17 m/s lebih kecil dari Variasi I dengan kecepatan superfisial 15 m/s.



Gambar 3. Perbandingan Fuel Conversion Rate

Sehingga dapat disimpulkan bahwa dari setiap variasi kecepatan superfisial yang divariasikan pada bahan bakar sabut kelapa, FCR tertinggi didapat pada Variasi II (17m/s) yaitu sebesar 5,701Kg/Jam.

5. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan pada pengaruh variasi kecepatan superfisial terhadap performansi dual-reaktor fluidized bed (DRFB) dengan bahan bakar sabut kelapa, disimpulkan bahwa :

- Lama nyala dari pembakaran syngas hasil gasifikasi terlama didapat pada Variasi II yang terjadi selama 201 detik. Hal ini terjadi karena banyak bahan bakar sabut kelapa tergasifikasikan maka akan meningkatkan jumlah syngas yang diproduksi.
- Pada variasi kecepatan superfisial 17 m/s didapat performansi Fuel Conversion Rate Aktual (FCR) = 5,701 kg/jam yang dimana dipengaruhi oleh cepatnya bahan bakar tergasifikasi dan sedikitnya arang yang dihasilkan.

Daftar Pustaka

- [1] Kementerian Pertanian Republik Indonesia. <http://www.pertanian.go.id/>. Diakses tanggal 22 April 2018.
- [2] Sudaryo dan Sutjipto. 2009. *Identifikasi dan Penentuan Logam pada Tanah Vulkanik di Daerah Cangkringan Kabupaten Sleman Dengan Metode Analisis Aktivasi Neutron Cepat*. Seminar Nasional V SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta, 5 November 2009. ISSN 1978-0176.
- [3] Horwell Claire, Damby, David dan Baxter Peter. 2011. *Geophysical A Mineralogical and Toxicological Assessment of The Health Hazard of Ash from The 2010 Merapi Eruption*. Research Abstracts-EGU General Assembly 2011. Vol. 13, EGU2011-2552-3.
- [4] Latief, A. Sutowo. 2013. *Kajian Tentang Suhu Sinter dan Suhu Lebur Pasir Merapi*

Sebagai Potensi Sumberdaya Alam yang Mendukung Industri Pengecoran Logam Di Jawa Tengah. Jurnal Ilmiah TEKNIS, 8 (1): 12-15.

- [5] Dwi anggara, 2014. *Pengaruh Variasi Komposisi Campuran Bahan Bakar Batubara Dan Sabut Kelapa Terhadap Komposisi Gas Hasil Gasifikasi Pada Teknologi Co-Gasifikasi Fluidized Bed*