

Studi Pengaruh Kecepatan Superfisial terhadap Tekanan pada Cold Model Dual Reactor Fluidized Bed untuk Partikel Padat Biomassa dan Pasir Silika

Aris Arifaldi, I N. Suprpta Winaya, Anak Agung Adhi Suryawan
Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Teknologi dual reactor fluidized bed (DRFB) merupakan jenis teknologi fluidisasi yang sedang dikembangkan saat ini untuk meningkatkan efisiensi pengkonversian bahan bakar menjadi syngas. Pada DRFB fenomena sirkulasi ini perlu diamati serta menjadi faktor penting terhadap proses pencampuran dan perpindahan massa terjadi pada sebuah sistem tertutup. Cold model DRFB dibuat berbahan akrilik berfungsi untuk mengamati fenomena sirkulasi campuran bahan bakar dan material hamparan di dalam reaktor. Material uji yang digunakan adalah biomassa butiran jagung dan pasir silika sebagai material hamparan dengan ukuran antara 0,4 mm – 0,5 mm. Biomassa dan material hamparan disirkulasikan ke dalam reaktor dengan variasi kecepatan superfisial, yaitu : variasi I (15 m/s), variasi II (17 m/s), variasi III (20 m/s), variasi IV (23 m/s). Pada kecepatan superfisial terdiri dari udara primer dan sekunder, dimana pada udara sekunder ditetapkan konstan yaitu 10 m/s. Pengukuran yang dilakukan adalah tekanan di sepanjang reaktor dan massa material yang melewati riser dan downer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin meningkat kecepatan superfisial yang masuk ke dalam reaktor maka tekanan yang dihasilkan semakin besar. Massa pada riser meningkat berada pada kecepatan superfisial 17 m/s dan menurun pada kecepatan 20 m/s dan 23 m/s.

Kata Kunci : Dual reactor fluidized bed, Kecepatan superfisial.

Abstract

Dual reactor fluidized bed (DRFB) is a type of fluidization reactor that is currently being developed to improve efficiency in the conversion of fuel into syngas. The circulation phenomenon in DRFB needs to be observed and it has become an important factor in the mixing process, and a mass transfer occurs in a closed system. Cold model DRFB is made of acrylic to observe the circulation of the mixture of fuel and bed material in the reactor. Test materials used are biomass as fuel, and silica sands as bed material with sizes between 0,4 mm – 0,5 mm. The fuel and bed material were circulated in the reactor with the superficial velocity variations, namely variation I (15 m/s), variation II (17 m/s), variation III (20 m/s) and variation IV (23 m/s). The superficial velocity consists of primary and secondary air velocities, where the secondary air velocity was set to be constant at 10 m/s. Pressure along the reactor and the mass of material passing through the riser and downer. The results of the research showed that the increase in superficial velocity flowing into the reactor resulted in a greater pressure generated. Massa on the riser increases are in the superficial velocity of 17 m/s and decreased at a speed of 20 m/s and 23 m/s.

Keywords: Dual reactor fluidized bed, superficial velocity.

1. Pendahuluan

Teknologi fluidized bed sudah terbukti sebagai cara yang efektif untuk mengkonversikan berbagai limbah menjadi energi bersih. Dalam sistem FB perlu adanya pencampuran antara material dan bahan bakar sehingga perlu diketahui fenomena sirkulasi campuran antara material hamparan dan bahan bakar di dalam reaktor. Seperti penelitian yang telah dilakukan, yang meneliti sirkulasi fluidized bed pada reaktor cold model, dalam penelitian tersebut menunjukkan bahwa semakin besar ukuran partikel maka laju sirkulasinya semakin rendah [1]. Kemudian penelitian juga dilakukan yang meneliti pencampuran material

padat pada fluidized bed skala kecil dengan penampang 0,02 m × 0,2 m dan tinggi 1 m [2]. Sedangkan partikel yang digunakan adalah partikel yang berwarna putih dan hitam dengan diameter rata – rata 850 dan 450 µm. Penelitian tersebut menggunakan parameter – parameter yaitu kecepatan gas superfisial, rasio partikel tracer untuk partikel bed, posisi partikel tracer, dan ukuran partikel dari pencampuran dibahas dengan mengacu pada indeks pencampuran. Penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan gas superfisial dapat meningkatkan pencampuran dan mengurangi waktu pencampuran.

Dalam proses gasifikasi FB diperlukan sebuah reaktor, biasanya reaktor yang digunakan selama ini memiliki kendala yaitu menyisakan bahan bakar yang tidak terbakar berupa arang atau *char*, sehingga dalam penelitian dikembangkan jenis reaktor *Dual Reactor Fluidized Bed* (DRFB). Reaktor jenis ini mampu mengatasi masalah pada reaktor yang sudah ada. *Dual reactor* terdiri dari reaktor untuk proses gasifikasi dan reaktor untuk proses pembakaran. Sistem reaktor ini adalah jika dalam proses gasifikasi atau pengkonversian bahan bakar menjadi gas terdapat sisa bahan bakar yang belum terkonversikan menjadi gas, maka sisa bahan bakar tersebut akan disirkulasikan ke reaktor pembakaran dan kemudian kembali ke proses gasifikasi hingga bahan bakar habis terkonversi menjadi gas. Pentingnya *mixingsolid* pada sistem *gasifikasi fluidized bed* sangat berpengaruh dalam sirkulasi campuran bahan bakar dan bed material di dalam tipe *dual-reactor fluidized bed* (DRFB).

Pada DRFB fenomena sirkulasi ini perlu diamati serta menjadi faktor penting terhadap proses pencampuran dan perpindahan massa terjadi pada sebuah sistem tertutup. Dalam penelitian ini model DRFB yang digunakan adalah *cold model*, reaktor yang digunakan berbahan akrilik yang bertujuan untuk mengamati fenomena aliran campuran partikel *solid* yang terjadi di dalam *riser* pada *upper bed* yang disirkulasikan menggunakan siklon menuju *downer* sebelum masuk kembali ke *upper* melalui *loopseal*.

2. Dasar Teori

2.1 Pencampuran dan Sirkulasi Padatan

Pencampuran *solid* pada partikel biomassa butiran jagung dan bed material sangat penting kita ketahui untuk memastikan berlangsungnya reaksi gasifikasi dan pembakaran DRFB.

Penelitian yang telah dilakukan yang meneliti tentang sistem *dual-interconnected fluidized bed* yang sederhana untuk pembakaran gasifikasi secara berlanjut dari biomassa. *Bed* material tersebut ditransportasikan secara pneumatik oleh jet udara dari vessel pertama (*combustor*) ke vessel kedua (*gasifier*) melalui *riser* dimana sisi masuk berada dibawah plat distribusi udara dari *combustor* untuk meminimalkan pencampuran udara. Material bahan vessel kedua dan ditangkap serta dikembalikan ke vessel pertama melalui *standpipe* dan *L-Valve*. Dibutuhkan nilai sirkulasi internal *solid* tinggi untuk memberikan panas yang dibutuhkan untuk proses gasifikasi, produk dan pipa asap yang keluar pada kedua unit harus diminimalkan. Eksperimen dilakukan pada berbagai kondisi operasi untuk mempelajari waktu tinggal padatan, pencampuran gas (dengan CO₂ sebagai pengusut), dan sirkulasi padatan. Sirkulasi bed ini dimasukan pasir dengan ukuran 164 µm dan 1,2 mm biomassa.

Hasilnya didapat nilai sirkulasi padatan yang tinggi dan terkontrol bisa dipertahankan diantara

kedua unit vessel. Waktu tinggal biomassa lebih sedikit dibandingkan dengan pasir di semua waktu ketika biomassa lebih ringan dan keluar dari bed lebih cepat daripada partikel pasir. Waktu tercepat partikel biomassa pada *gasifier* adalah 30 sekon, waktu yang cukup untuk menyelesaikan proses penguapan (*volatilization*). *Gascross-flow* (menyebabkan kontaminasi gas produk) dapat diminimalkan dengan mengoptimalkan posisi sisi masuk *riser* dan laju gas menuju kedua vessel[3].

2.2 Fluidisasi

Fluidisasi merupakan salah satu teknik pengontakan fluida baik gas maupun cairan dengan butiran padat pada fluidisasi, kontak antara fluida dengan partikel padat dapat terjadi dengan baik karena permukaan kontak yang luas. Bila cairan atau gas dilewatkan pada unggun partikel padat dengan kecepatan yang rendah, maka unggun tidak akan bergerak, apabila kecepatan fluida yang melewati unggun dinaikkan maka perbedaan tekanan disepanjang unggun akan meningkat. Pada saat perbedaan tekanan yang sama dengan berat unggun dibagi luas penampang, unggun mulai bergerak dan melayang-layang ke atas. Partikel-partikel padat ini akan bergerak-gerak dan mempunyai perilaku seperti fluida. Keadaan seperti ini dikenal dengan hamparan terfluidisasikan (*fluidized bed*) [4].

2.3 Pasir Silika

Pasir Silika atau Pasir Kuarsa mempunyai komposisi gabungan dari SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, TiO₂, CaO, MgO, dan K₂O, berwarna putih bening atau warna lain bergantung pada senyawa pengotornya, kekerasan 7 (skala Mohs), berat jenis 2,65, titik lebur 17150 °C, bentuk kristal hexagonal, panas, sfesifik 0,185, dan konduktivitas panas 12 – 1000 °C.

Material hamparan (*bed material*) yang digunakan pada gasifikasi sirkulasi *fluidized bed* sangat berpengaruh terhadap berhasil tidaknya proses fluidisasi yang dihasilkan. Pada sistem ini, material hamparan akan difluidisasi dengan menggunakan dorongan agen gasifikasi seperti udara, oksigen, uap, atau campurannya.

Dalam studi ini akan digunakan pasir silika sebagai material. Pasir silika merupakan material yang sangat baik dalam menyimpan kalor. Pasir silika memiliki titik lebur yang tinggi mencapai 18000 °C, sehingga sangat cocok digunakan untuk aplikasi gasifikasi sirkulasi *fluidized bed*[5].

2.4 Biomassa

Biomassa adalah bahan bakar yang dapat diperbaharui dan secara umum berasal dari makhluk hidup (non-fosil) yang didalamnya tersimpan energi atau dalam definisi lain, biomassa merupakan keseluruhan materi yang berasal dari makhluk hidup, termasuk bahan organik yang hidup maupun yang mati, baik di atas permukaan tanah maupun yang ada dibawah permukaan tanah.

Biomassa merupakan produk fotosintesa dimana energi yang diserap digunakan untuk mengkonversi karbondioksida dengan air menjadi senyawa karbon, hidrogen dan oksigen [6].

Sumber energi biomassa memiliki kelebihan yaitu sebagai sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*) sehingga dapat menjadi sumber energi dalam jangka waktu yang sangat lama dan berkesinambungan (*sustainable*) [7]. Oleh karena itu proses konversi biomassa sangat bagus untuk menjadikan energi yang berguna meniru dari proses alam dengan laju yang lebih cepat. Sehingga biomassa dapat digunakan langsung misalnya membakar kayu digunakan untuk pemanasan, memasak, dan dapat juga digunakan untuk produksi biofuel cair (biodiesel dan alkohol), atau biogas yang dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar fosil.

3. Metode Penelitian

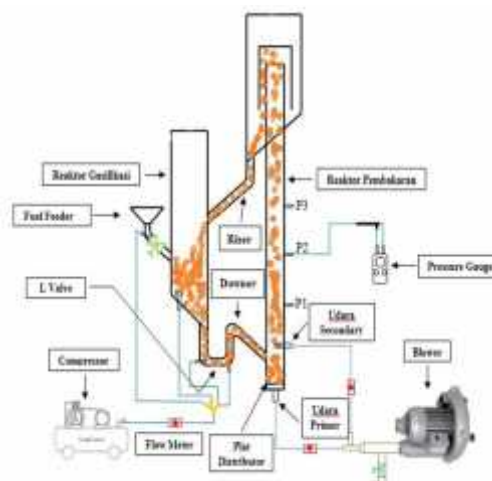
Penelitian dan pengujian ini menggunakan peralatan dan bahan sebagai berikut :

3.1 Preparasi Biomassa Butiran Jagung dan Pasir Silika

Partikel biomassa serbuk butiran jagung didapat dari pencacahan butiran jagung menjadi ukuran antara 0,4 mm – 0,5 mm. Begitu pula dengan pasir silika yang telah ditumbuk menjadi ukuran antara 0,4 mm – 0,5 mm menggunakan ayakan/screen mesh ukuran 0,4 mm dan ayakan/screen mesh ukuran 0,5 mm. Pengukuran massa jenis dari biomassa butiran jagung dan pasir silika dilakukan dengan timbangan berskala miligram dan piknometer.

3.2 Alat Penelitian

Pada pengujian penelitian ini menggunakan unit pengujian *Cold Model Dual Reaktor Fluidized Bed (DRFB)* yang berbahan *acrylic* agar dapat melihat sirkulasi bahan bakar dan material hamparan didalam reaktor. Adapun skematik peralatan eksperimen DRFB dapat dilihat pada Gambar 1 dengan komponen-komponen utama sebagai berikut :



Gambar 1. Skematik Dual Reaktor *Fluidized Bed (DRFB)*



Gambar 2. Foto alat uji DRFB berbahan pipa akrilik

Pertama Pasang *pressure gauge* sepanjang reaktor 2 untuk mengukur tekanan sepanjang reaktor 2. Langkah selanjutnya adalah masukan campuran material hamparan pasir silika dan serbuk biomassa butiran jagung kedalam reaktor dengan variasi komposisi 400gr : 400gr. Setelah memasukan campuran material hamparan dan bahan bakar langkah selanjutnya adalah masukkan udara fluidisasi (udara primer) ke dalam reaktor pada kecepatan tertentu sesuai dengan rencana penelitian yang diukur dengan *flowmeter*. Selanjutnya Ukur tekanan sepanjang reaktor 2 dan pastikan bekerja dengan baik. Kemudian catat pengukur kecepatan udara, pengukur tekanan dan laju sirkulasi massa campuran yang mengalir pada *downer* dan *riser*. Pengambilan data dilakukan berulang sebanyak 3 kali yang kemudian diambil nilai rata-ratanya sebagai data akhir.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Data Hasil Perhitungan Densitas Biomassa Butiran Jagung dan Pasir Silika

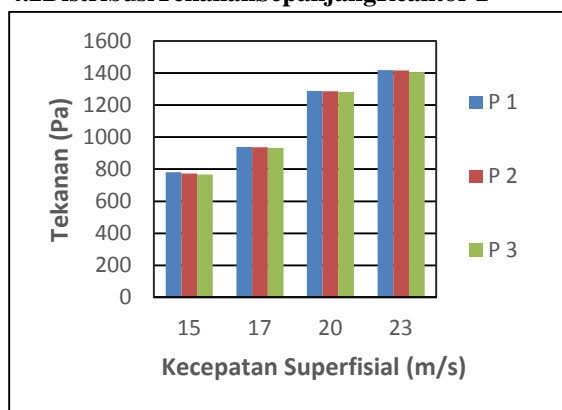
Pemilihan partikel biomassa dan material hamparan yang tepat perlu diperhatikan agar dapat terfluidisasi dan bersirkulasi pada DRFB. Densitas dari partikel biomassa dan material hamparan

merupakan hal yang mempengaruhi dalam fluidisasi dan sirkulasi tersebut. Berikut hasil uji densitas partikel biomassa butiran jagung dan material hamparan pasir silika menggunakan piknometer.

Tabel 1. Hasil perhitungan densitas

Material	Densitas (gr/cm ³)
Biomassa butiran jagung	1,474
Pasir silika	2,588

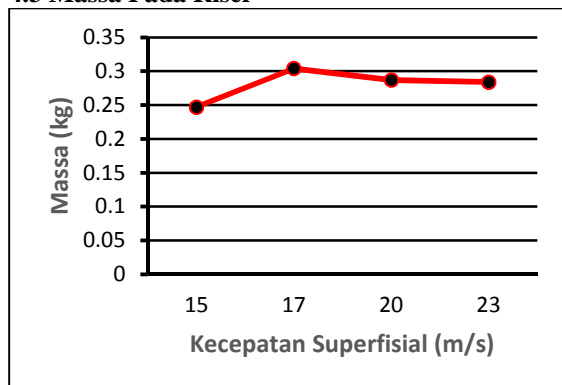
4.2 Distribusi Tekanan Sepanjang Reaktor 2



Gambar 3. Perbandingan variasi kecepatan superfisial terhadap tekanan sepanjang reaktor 2

Dapat dianalisa dari Gambar 3 menyatakan bahwa tekanan tertinggi yang dihasilkan pada variasi kecepatan superfisial yaitu 23 m/s dan tekanan terendahnya pada kecepatan 15 m/s. Dari fenomena ini dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kecepatan superfisialnya maka semakin tinggi tekanan pada reaktor yang dihasilkan. Karena pada titik pengukuran tekanan, semakin dekat dengan pusat hembusan aliran udara primer dan sekunder, maka tekanan yang dihasilkan akan semakin tinggi dan jika semakin jauh dari pusat hembusan maka tekanannya semakin rendah.

4.3 Massa Pada Riser



Gambar 4. Massa Partikel Padat Pada Riser

Dari Gambar 4 yang diperoleh bahwa jumlah massa partikel yang melewati riser terbanyak pada kecepatan superfisial 17 m/s. Sehingga pada variasi kecepatan superfisial 17 m/s, massa partikel yang melewati riser mampu menghasilkan massa material dalam jumlah banyak dibandingkan dengan kecepatan superfisial 15 m/s, 20 m/s dan 23 m/s hanya mampu menghasilkan massa partikel yang melewati riser.

5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa semakin meningkat kecepatan superfisial yang masuk ke dalam reaktor, maka tekanannya semakin besar. Dari variasi kecepatan superfisial, massa meningkat pada riser yaitu pada kecepatan superfisial 17 m/s dan menurun pada kecepatan superfisial 20 m/s dan 23 m/s. Ini membuktikan bahwa, kecepatan superfisial 17 m/s sangat baik untuk mensirkulasikan partikel biomassa dan pasir silika pada cold model dual reactor fluidized bed (DRFB).

Daftar Pustaka

- [1] Luong P.H, Bhattacharyamaka S.C., *A Study of Solid Circulation Rate in a Circulating Fluidized Bed*, Division of Energy Technology, Asian Institute of Technology, Thailand, 1993.
- [2] Gorji-Kandi, S.M. Alavi-Almleshi, N. Mostoufi., *A solids mixing rate correlation for small scale fluidized beds*, Department of Chemical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran and School of Chemical Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Iran 2014.
- [3] Latif, A., Yates, G., Felice, R.D., 1999, *Gas mixing and solid circulation in a circulating fluidized bed for the continuous combustion-gasification of biomass*, In: Werther, J. (Ed.), *Circulating Fluidized Bed Technology VI*. Dechema, Frankfurt am Main, Germany.
- [4] I Gusti Ngurah Wahyu Handhita, *Variasi Campuran Bahan Bakar Batubara Dengan Sekam Padi Terhadap Performansi CO – Gasifikasi Sirkulasi Fluidized Bed*, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Program Nonreguler, Universitas Udayana, 2015
- [5] Sidik Purwono, *Performansi CO – Gasifikasi Fluidized Bed Berbahan Bakar Ampas Tebu dan Batubara*, Jurusan Teknik

Mesin, Fakultas Teknik Program
Nonregular, Universitas Udayana, 2015.

- [6] Guswendar Rinovianto, *Karakteristik Gasifikasi Pada Updraft Double Gas Outlet Gasifier Menggunakan Bahan Bakar Kayu Karet*, Departemen Teknik Mesin Depok, 2012.
- [7] Putu Hendra Yuliarthana, *Variasi Campuran Bahan Bakar Batu Bara dan Limbah Bambu Terhadap Performansi CO-Gasifikasi Sirkulasi Fluidized Bed*, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik (Non Regular) Universitas Udayana, 2015