

Studi Kecepatan Udara Superfisial Pada *Cold Model Dual Reactorfluidized Bed*

Donny Prasetyo Sumadi, I N.Suprpta Winaya, Anak Agung Adhi Suryawan
Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Teknologi dual reactor fluidized bed (DRFB) adalah jenis reaktor fluidisasi yang sedang dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi pengkonversian bahan bakar menjadi syngas. Dalam pengembangan DRFB perlunya mengetahui sirkulasi campuran bahan bakar dan material hamparan pada reaktor tersebut. Cold model DRFB dibuat berbahan akrilik untuk mengamati fenomena sirkulasi campuran bahan bakar dan material hamparan. Material uji yang digunakan adalah partikel batubara dan tanah liat sebagai material hamparan dengan ukuran antara 0,4mm-0,5 mm. Partikel batubara dan material hamparan disirkulasikan pada reaktor dengan variasi kecepatan superfisial, yaitu : variasi I (15 m/s), variasi II (17 m/s), variasi III (20 m/s), dan variasi IV (23 m/s). Kecepatan superfisial terdiri dari udara primer dan udara 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. Semakin meningkat kecepatan superfisial yang masuk ke dalam reaktor maka tekanan yang dihasilkan semakin besar. Tekanan akan semakin besar jika semakin dekat dengan pusat hembusan udara primer maupun sekunder. Material terbanyak yang dapat disirkulasikan terdapat pada kecepatan 17 m/s.

Kata kunci : Dual reaktor fluidized bed, fluidisasi, kecepatan superfisial, gasifikasi fluidized bed

Abstract

Technology dual fluidized bed reactor (DRFB) is a type of fluidized reactor that is being developed to improve the efficiency of conversion from fuel into syngas. In the development of DRFB need to know the circulation mixture of fuel and bed material on the reactor. Cold DRFB models made from acrylic to observe the phenomenon of the circulation fuel mix and bed material. Test material used coal particles and clay as bed material with size between 0,4mm and 0,5mm. Coal particles and bed material is circulated in the reactor with variation of superficial velocity, that is : variation I (15 m/s), variation II (17 m/s), variation III (20 m/s), and variation IV (23 m/s). Superficial velocity was divided into primary air and secondary air, where in the secondary air is set constant which is 10 m/s. Measurement taken is the pressure in the reactor and the mass of material that passes through the riser and downer. Increasing the superficial velocity in the reactor, the pressure generated greater. The pressure will be even greater if it is getting close to the center of gusts of primary and secondary air. Most material can be circulated contained in the superficial velocity 17 m/s.

Keywords: Dual reaktor fluidized bed, fluidization, superficial velocity, fluidized bed gasification.

1. Pendahuluan

Cadangan batu bara di Indonesia sangat melimpah. Walaupun jumlah cadangan batubara di Indonesia sangat melimpah, kita tidak mungkin membakar habis semua batu bara dan mengubahnya menjadi energi listrik melalui PLTU, karena itu akan berdampak buruk terhadap lingkungan dan kurang efisien. Batu bara sebaiknya tidak langsung dibakar, akan lebih efisien jika dikonversi menjadi migas sintetis.

Salah satu teknologi yang dapat digunakan adalah teknologi *fluidized bed gasification*. Teknologi ini memiliki kelebihan, yaitu fleksibilitas bahan bakar yang tinggi, mampu menggunakan bahan bakar padat dengan kualitas rendah (kadar air mencapai 60% dan abu mencapai 70%), emisi SO₂ rendah, dan efisiensi pembakaran tinggi [1].

Dalam proses *fluidized bed gasification* diperlukan sebuah reaktor untuk berlangsung suatu

proses konversi energi, biasanya reaktor yang telah 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).

Sebagai langkah awal dalam pengembangan DRFB adalah perlunya mengetahui sirkulasi campuran antara bahan bakar dan material hamparan di dalam reaktor tersebut. Maka dalam penelitian ini model DRFB yang digunakan adalah cold model, dimana reaktor dibuat dari akrilik yang bertujuan untuk mengamati fenomena aliran campuran material hamparan yaitu tanah liat dan bahan bakar yaitu partikel batubara yang terjadi di dalam *riser* pada *riser bed* yang disirkulasikan menggunakan udara yang berasal dari kompresor dan blower menuju *downer* sebelum masuk kembali ke *riser*.

Mengingat pentingnya pencampuran berbagai jenis padatan dalam hal ini partikel bahan bakar dan material hamparan pada DRFB ini, maka

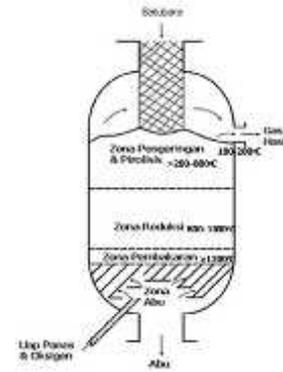
karakteristik perpindahan masa dan fluidisasi menjadi sangat penting dan akan dikaji pada penggunaan berbagai komposisi partikel bahan bakar dengan variasi kecepatan superfisial. Khusus dalam penelitian ini yang diteliti adalah pengaruh variasi kecepatan superfisial antara campuran butiran tanah liat dan batubara pada *dual reactor fluidized bed*. Variasi kecepatan superfisial dalam penelitian ini penting karena untuk mengetahui pada kecepatan udara berapa yang mampu untuk mensirkulasikan partikel padat secara maksimum.

2. Dasar Teori

2.1 Gasifikasi

Gasifikasi adalah proses pengkonversian bahan bakar padat menjadi gas mampu bakar (CO , CH_4 , H_2) melalui proses pembakaran dengan suplai udara terbatas yaitu antara 20% hingga 40% udara stoikiometri [2]. Proses gasifikasi umumnya memiliki empat tahapan proses yaitu pengeringan, pirolisis, reduksi, dan oksidasi yang dapat digambarkan sebagai zona-zona dalam reaktor seperti terlihat pada Gambar 1.

- Pengeringan terjadi pada suhu antara 100–200°C; proses ini bersifat endotermis (membutuhkan panas) dari reaksi oksidasi. Selama proses pengeringan terjadi penguapan air dari batu bara.
- Pirolisis terjadi antara suhu di atas 200–800°C. Tahapan ini juga bersifat endotermis dan membutuhkan panas dari reaksi oksidasi. Selama proses pirolisis terjadi dekomposisi termal batu bara menjadi gas, tar dan arang batu bara (char).
- Reduksi yang terjadi antara suhu 800–1000°C. Tahapan ini juga bersifat endotermis dan membutuhkan panas dari reaksi oksidasi. Proses reduksi sebetulnya merupakan reaksi gasifikasi yang sesungguhnya yakni reaksi antara karbon dari produk pirolisis (char, tar dan gas) dengan uap air (H_2O) atau CO_2 membentuk campuran gas CO dan H_2 .
- Oksidasi adalah reaksi antara bahan mampu bakar dari batu bara maupun produk pirolisis dengan oksigen dari udara. Suhu pembakaran dapat mencapai lebih dari 1200°C. Reaksi pembakaran bersifat eksoterm dan menghasilkan panas yang digunakan untuk tahapan-tahapan lain dalam seluruh proses gasifikasi. [3]



Gambar 1. Zona-zona pada reaktor gasifikasi batu bara

2.2 Fluidized Bed Gasification

Pada penelitian ini, teknik gasifikasi yang akan digunakan adalah gasifikasi dengan *fluidized bed gasifier* (FBG) khususnya *updraft* sirkulasi *fluidized bed*, karena keunggulan yang dimiliki untuk tipe ini. Khususnya dapat digunakan untuk mengolah bahan bakar kualitas rendah dengan kandungan abu tinggi, sehingga cocok digunakan untuk meningkatkan kualitas bahan bakar bernilai rendah.

Pada proses konversi energi dengan teknologi gasifikasi *Fluidized Bed*, awalnya ruang bakar dipanasi secara eksternal sampai mendekati temperatur kerja reaktor. Media gasifikasi (*bed material*) yang umum digunakan untuk mengabsorpsi panas adalah pasir silika dan tanah liat. Pasir silika atau tanah liat dan bara api bahan bakar akan mengalami turbulensi di dalam ruang bakar sehingga keseragaman temperatur sistem terjaga. Kondisi ini menyebabkan proses konversi energi dapat berlangsung dengan baik. Disamping itu dengan bidang kontak panas yang luas disertai turbulensi partikel fluidisasi yang cepat, menyebabkan FBG teknologi bisa diaplikasikan untuk mengkonversi segala jenis bahan bakar, bahkan dengan ukuran yang tidak seragam.

2.3 Batubara

Batu bara merupakan sedimen mampu bakar (*combustible sediment*) yang terbentuk jutaan tahun yang lalu. Sedimen ini terdiri atas sisa-sisa tumbuhan purba yang mengalami proses metamorfosa akibat proses biokimia dan geokimia. Berdasarkan Standar Indonesia batubara diklasifikasikan menjadi tiga kelas yaitu kelas rendah dengan nilai kalori 5.100 kkal/kg, batu bara kelas menengah dengan nilai kalori antara 5.100 – 6.100 kkal/kg, batu bara kelas tinggi dengan nilai kalori antara 6.100 – 7.100 kkal/kg, dan batu bara kelas sangat tinggi dengan nilai kalori 7.100 kkal/kg [3].

Berdasarkan aplikasi sistem database yang dikembangkan oleh Badan Geologi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) dengan

NEDO (*New Energy and Industrial Technology Development Organization*) sumber daya batubara di Indonesia mencapai 65,4 miliar ton. Sedangkan cadangannya mencapai 12 miliar ton. Selain itu, produksi batubara Indonesia tahun 2015 sebesar 292 juta ton dan 151 juta ton diantaranya digunakan keperluan ekspor [4].

Untuk karakteristik batubara seperti massa jenisnya (*true density*) berdasarkan hasil pengukuran dengan menggunakan metode piknometer diperoleh nilai massa jenisnya sebesar $1,108 \text{ gr/cm}^3$ [5].

2.4 Tanah Liat

Tanah liat atau lempung adalah partikel mineral berkerangka dasar silikat yang berdiameter kurang dari 4 mikrometer. Tanah liat mengandung leburan silika dan/atau aluminium yang halus. Tanah liat terbentuk dari proses pelapukan batuan silika oleh asam karbonat dan sebagian dihasilkan dari aktivitas panas bumi.

Karakteristik tanah liat seperti massa jenis (*bulk density*) adalah antara 1.1 sampai 1.3 g/cm^3 dengan porositas antara 0.58 sampai 0.51. Sedangkan berdasarkan hasil pengukuran massa jenis (*true density*) tanah liat dengan menggunakan metode piknometer diperoleh nilai massa jenisnya sebesar $2,3190 \text{ gr/cm}^3$. Meski tanah liat disebut dengan "tanah berat", namun sesungguhnya pada massa yang sama, tanah liat memiliki porositas yang lebih banyak. Disebut "tanah berat" karena kandungan air di dalamnya lebih banyak dari tanah biasa, dan kandungan air tersebut menyumbang berat yang lebih banyak dari air yang terkandung pada tanah biasa [6]. Tanah liat juga memiliki sifat tahan terhadap suhu yang tinggi, yaitu lebih dari 1600°C [7].

2.5 Fluidisasi

Bila suatu zat cair atau gas dilewatkan melalui lapisan hamparan partikel padat pada kecepatan rendah, partikel-partikel itu tidak bergerak. Jika kecepatan fluida berangsur-angsur dinaikan partikel-partikel itu akhirnya akan mulai bergerak dan melayang di dalam fluida. Istilah "fluidisasi" (*fluidization*) dan "hamparan fluidisasi" (*fluidized bed*) bisa digunakan untuk memeriksa keadaan partikel yang seluruhnya dalam keadaan melayang (suspensi), karena suspensi ini berlaku seakan-akan fluida rapat. Jika hamparan itu dimiringkan, permukaan atasnya akan tetap horizontal. Dan benda-benda besar akan mengapung atau tengelam di dalam hamparan itu tergantung pada perbandingan densitasnya terhadap suspensi zat padat yang terfluidisasi dapat dikosongkan dari hamparannya melalui pipa dan katup sebagaimana halnya suatu zat cair dan sifat fluidisasi ini merupakan keuntungan utama dari penggunaan fluida sasi menangani zat padat.

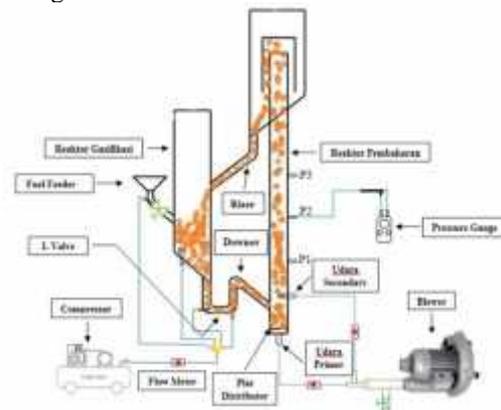
3. Metode Penelitian

3.1 Preparasi Batubara dan Tanah Liat

Partikel batu bara didapat dari pencacahan dan pengayakan batubara menjadi ukuran antara 0,4 – 0,5 mm. Begitu pula dengan material hamparan tanah liat yang diperoleh dari batu bata merah yang telah ditumbuk kemudian diayak menggunakan ayakan/*screen mesh* ukuran 0,4 mm dan ayakan/*screen mesh* ukuran 0,5 mm. Pengukuran massa jenis dari batubara dan tanah liat dilakukan dengan timbangan berskala mili-gram dan piknometer. Dalam penggunaan pikometer terlebih dahulu dicari masing-masing nilai massa dari alat ukur, aquades dan material. Kemudian data yang diperoleh diolah hingga mendapatkan nilai massa jenis material.

3.2 Alat Penelitian

Pada pengujian penelitian ini menggunakan unit pengujian *Cold Model Dual Reaktor Fluidized Bed* (DRFB) yang transparan berbahan *acrilic* agar dapat melihat sirkulasi bahan bakar dan material hamparan didalam reaktor. Adapun skematik peralatan eksperimen DRFB dapat dilihat pada gambar 2 dengan komponen-komponen utama sebagai berikut:



Gambar 2. Skematik Dual Reaktor *Fluidized Bed* (DRFB)



Gambar 3. 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 hampan butiran tanah liat dan batubara kedalam reaktor dengan komposisi 400 gr dan 400 gr. Setelah itu masukkan udara fluidisasi (udara primer) ke dalam reaktor pada kecepatan sesuai dengan variasi yang sudah direncanakan, kemudian udara sekunder ditetapkan konstan yaitu 10 m/s. Selanjutnya ukur tekanan sepanjang reaktor 2 dan pastikan alat tersebut bekerja dengan baik. Kemudian catat besar tekanan pada reaktor dan massa partikel padat yang melewati *downer* dan *riser*. Pengambilan data dilakukan berulang sebanyak 3 kali yang kemudian diambil nilai rata-ratanya sebagai data akhir.

4. Hasil dan Pembahasan

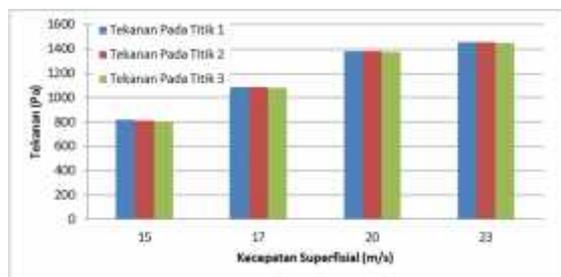
4.1 Data Preparasi Batubara dan Tanah Liat

Pemilihan partikel batubara dan material hampan yang tepat perlu diperhatikan agar dapat terfluidisasi dan bersirkulasi pada DRFB. Densitas dari partikel batubara dan material hampan merupakan hal yang mempengaruhi dalam fluidisasi dan sirkulasi tersebut. Berikut hasil uji densitas partikel batubara dan material hampan tanah liat menggunakan piknometer.

Tabel 1. Hasil perhitungan densitas

Material	Densitas (gr/cm ³)
Batubara	1,108
Tanah Liat	2,3190

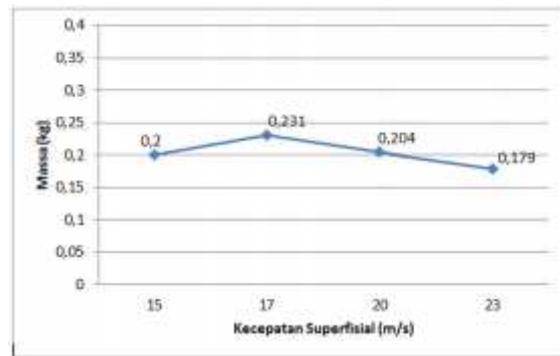
4.2 Distribusi Tekanan Sepanjang Reaktor 2



Gambar 4. Distribusi tekanan sepanjang reaktor 2

Dapat dianalisa dari gambar 6 bahwa tekanan tertinggi dihasilkan pada variasi III yaitu pada kecepatan 23 m/s dan tekanan terendah pada kecepatan 15 m/s. Jadi semakin tinggi kecepatan superfisialnya maka semakin tinggi pula tekanan pada reaktor. Dari ketiga titik tekanan yang diukur dapat dilihat bahwa tekanan pada titik 1 adalah yang terbesar. Fenomena tersebut terjadi pada semua variasi. Jadi semakin dekat dengan pusat hembusan aliran udara primer maupun sekunder, maka tekanan yang dihasilkan semakin tinggi.

4.3 Massa Partikel Padat Pada Riser



Gambar 5. Massa partikel padat pada riser

Dapat dianalisa dari grafik pada gambar 5 bahwa jumlah massa partikel padat yang melewati riser terbanyak yang dapat disirkulasikan terjadi pada kecepatan superfisial 17 m/s. Jadi dapat diketahui bahwa kecepatan superfisial 17 m/s merupakan kecepatan terbaik yang dapat mensirkulasikan campuran material batubara dan tanah liat.

5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Semakin meningkat kecepatan superfisial yang masuk ke dalam reaktor maka tekanan yang dihasilkan semakin besar. Dari tiga titik pengukuran bahwa tekanan akan semakin besar jika semakin dekat dengan pusat hembusan aliran udara primer maupun sekunder.
2. Dari empat variasi kecepatan superfisial bahwa jumlah massa partikel padat yang melewati riser terbanyak yang dapat disirkulasikan terjadi pada kecepatan superfisial 17 m/s. Dapat disimpulkan bahwa kecepatan superfisial 17 m/s adalah kecepatan optimum atau yang paling baik yang dapat digunakan untuk mensirkulasikan material batubara dan tanah liat pada *cold model* DRFB ini.

Daftar pustaka

- [1] Oka, N. Simeon, & Anthony, E.J., *Fluidized Bed Combustion*, Marcel Dekker Inc, New York, 2004.
- [2] Fajri V, *Gasifikasi Tempurung Kelapa Menggunakan Updraft Gasifier pada Beberapa Variasi Laju Alir Udara Pembakaran*, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Palembang
- [3] Slamet S, *Karakteristik dan Pemanfaatan Batubara, Solusi di Tengah Berlimpahnya*

Batubara Indonesia, Badan Penelitian dan Pengembangan ESDM, Kementerian Sumber Daya dan Mineral Republik Indonesia.

- [4] Anonimus, **Cadangan Batubara Indonesia Sebesar 12 Miliar Ton**, 2016. Available at :[www.esdm.go.id/berita/44-batubara/805-cadangan-batubara-indonesia-sebesar-12-miliar-ton.html] (Diakses tanggal: 20 Oktober 2016)
- [5] Albany, A. Nashiruddin, dkk, 2011, **Pengukuran Densitas Batu Bata Merah , Batu Bata Putih dan Batu Bata Ringan dengan Menggunakan Piknometer**, Fakultas MIPA ITS, Surabaya.
- [6] Dariah A, Yusrial, dan Mazwar, **Penetapan Konduktivitas Hidrolik Tanah Dalam Keadaan Jenuh: Metode Laboratorium**, [<http://balittanah.litbang.pertanian.go.id/ind/index.php/en/publikasi-mainmenu-78/24-buku/138-fisik-tanah>] (Diakses tanggal 31 Januari 2017)
- [7] Anonymous, **Fire Clay**, Available at :[<http://www.mineralszone.com/minerals/fire-clay.html>] (Diakses tanggal 15 November 2016)