

Pengaruh Campuran Partikel Padat Batubara dan Pasir Silika Pada *Dual Reactor Fluidized Bed* Terhadap Distribusi Tekanan

Anak Agung Putra Suryawan, I N. Suprpta Winaya, I Putu Lokantara
Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Penelitian ini dilakukan pada unit cold model *Dual-Reactor Fluidized Bed (DRFB)* yang menggunakan bahan dari akrilik. Suplai udara ke *DRFB* didapatkan dari udara kompresor dan blower yang bertujuan untuk mensirkulasikan partikel padat pada kedua reaktor, dual-reaktor meliputi reaktor-1 (reaktor gasifikasi) dan reaktor-2 (reaktor pembakaran). Material uji yang digunakan adalah batubara sebagai partikel padat dan pasir silika sebagai bed material dengan ukuran antara 0.4 mm - 0.5 mm. Bed material dan partikel padat (batubara) dicampur dengan berbagai variasi komposisi yaitu : variasi I (400 gr pasir silika : 200 gr batubara), variasi II (400 gr pasir silika : 400 gr batubara) dan variasi III (400 gr pasir silika : 600 gr batubara). Pengukuran yang dilakukan pada penurunan tekanan (*pressure drop*) sepanjang reaktor-2.

Kata kunci : *Dual-reactor fluidized bed, material uji, laju sirkulasi partikel padat.*

Abstract

This research was conducted in a cold model of dual-reactor fluidized bed (*DRFB*) with used materials from acrylic. Air supply to *DRFB* can from air compressor and blower aims for circulation solid particle into the two-reactor, covering dual-reactor is reactor-1 (the reactor gasification) and reactor-2 (the reactor combustion). Materials test used is coal as solid particle and silica sand as bed material with size between 0.4 mm – 0.5 mm. Solid particle and bed material mixed with as variation composition is : variation I (400 gr silica sand : 200 gr coal), variation II (400 gr silica sand : 400 gr coal), and variation III (400 gr silica sand : 600 gr coal). Measurement done at pressure drop throughout the reactor-2.

keyword : *Dual-reactor fluidized bed, material test, solid particle circulation rate.*

1. Pendahuluan

Batubara adalah sumber-sumber energi tidak terbarukan karena mereka berasal dari fosil prasejarah dan tidak akan tersedia lagi setelah sepenuhnya digunakan. Sumber-sumber energi ini terbatas dan terus menipis dengan waktu yang cepat. Perlu adanya upaya untuk memaksimalkan pemanfaatan bahan bakar batubara yang merupakan sumber energi yang terbatas dan akan terus berkurang dengan waktu yang cepat untuk mengatasi krisis energi dari bahan bakar batubara kedepannya diperlukan suatu teknologi yang mampu memanfaatkan bahan bakar batubara secara baik. Salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk pemanfaatan bahan bakar batubara adalah teknologi gasifikasi. Gasifikasi adalah suatu proses mengkonversikan bahan bakar padat menjadi gas mampu bakar, menggunakan metode gasifikasi dinilai lebih menguntungkan dan gas pembakaran lebih bersih, namun dalam proses gasifikasi masih menghasilkan produk residu seperti char yang masih bisa dikonversikan menjadi energi panas sehingga diperlukan sebuah reaktor yang mampu mengkonversikan dan mensirkulasikan kembali

arang atau char yang belum habis terkonversi pada proses pembakaran. Teknologi fluidisasi yang sedang dikembangkan yaitu dual-reactor fluidized bed yang terdiri dari reaktor gasifikasi dan reaktor yang berfungsi sebagai pembakaran, pada sistem dari dual reaktor ini dimana bahan bakar yang belum terkonversi menjadi gas maka akan disirkulasikan ke reaktor pembakaran dan kemudian masuk kembali ke reaktor gasifikasi hingga bahan bakar habis terkonversi menjadi gas.

Pada *DRFB* fenomena penurunan tekanan perlu diamati serta menjadi faktor penting terhadap proses pencampuran dan perpindahan massa yang terjadi pada sebuah sistem tertutup. Karakteristik material hamparan terhadap kecepatan superficial menentukan jumlah massa yang disirkulasikan.

2. Dasar Teori

2.1 Teknologi gasifikasi

Teknologi gasifikasi merupakan salah satu bentuk peningkatan pendayagunaan energi yang terdandung di dalam bahan biomassa melalui suatu konversi dari bahan padat menjadi gas dengan menggunakan proses degradasi termal material-

material organik pada temperatur tinggi di dalam pembakaran yang tidak sempurna. Proses ini berlangsung di dalam suatu reaktor yang disebut Gasifier. Ke dalam reaktor dimasukkan bahan bakar untuk dibakar di dalam reaktor (ruang bakar) secara tidak sempurna. Dengan kata lain, proses gasifikasi merupakan proses pembakaran parsial bahan baku padat, melibatkan reaksi antara oksigen dengan bahan bakar padat[3].

2.2 Batubara

Batubara adalah bahan bakar hidrokarbon padat yang terbentuk dari tumbuhan dalam lingkungan bebas oksigen yang dipengaruhi oleh panas dan tekanan yang berlangsung lama di alam dengan komposisi yang kompleks. Proses pembentukan batubara (coalification) dimulai sejak Carboniferous Period dikenal sebagai zaman batubara pertama yang berlangsung antara 360 juta sampai 290 juta tahun yang lalu.



Gambar 1. Batubara

2.3 Pasir silika

Pasir silika adalah mineral utama dari silika dan salah satu mineral pembentuk kristal optik. Struktur atomik dari kuarsa adalah tetra hidron yang satu atom silikon dikelilingi empat atom oksigen. Contoh penting adalah forstart ($MgSiO_2$) dalam $Mg SiO_4$ ion SiO_4 diperoleh empat elektron dari atom magnesium memberikan satu elektron ke satuan dari SiO_4 . Kuarsa (SiO_2) banyak dipakai sebagai bahan industri seperti keramik, sebagai bahan anorganik yang bukan logam. Bahan dasar kramik berasal dari tambang(alam) yaitu: SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O , berwarna putih bening atau warna lain tergantung pada senyawa pengotornya. Pasir silika mempunyai titik lebur yang tinggi hingga mencapai $1800^{\circ}C$ [4].



Gambar 2. Pasir silika

Bed material yang digunakan untuk proses sirkulasi *fluidized bed* pada *dual reaktor* sangat berpengaruh terhadap proses fluidisasi yang dihasilkan. *Bed material* (material hapanan) adalah suatu jenis bahan yang digunakan pada sistem gasifikasi sirkulasi *fluidized bed* sebagai media fluidisasi dan media penyimpanan panas. Pada sistem ini *bed material* akan di fluidisasi dengan menggunakan dorongan udara dari blower dan kompresor.

2.4 Fluidisasi

Fluidisasi adalah metoda pengkontakan antara padatan dengan fluida, baik cair maupun gas dalam suatu kolom yang berisi sejumlah partikel padat dengan mengalirkan fluida dari bawah ke atas [8]. Didalam kondisi terfluidisasi, gaya gravitasi pada butiran – butiran zat padat diimbangi oleh gaya seret dari fluida yang bekerja padanya. Bila zat cair atau gas dilewatkan melalui lapisan hamparan partikel pada kecepatan rendah, partikel itu tidak bergerak. Jika kecepatan fluida berangsur – angsur naik, partikel itu akhirnya akan mulai bergerak dan melayang di dalam fluida.

Pada penelitian ini teknologi fluidisasi yang akan digunakan adalah *fluidized bed gasification* (FBG), sebab FBG merupakan salah satu teknologi terbaik untuk mengkonversi bahan bakar padat menjadi energi karena mempunyai keunggulan mengkonversi berbagai jenis bahan bakar baik sampah, limbah, biomassa ataupun bahan bakar fosil berkalori rendah. FBG mempunyai suhu operasi relatif rendah yaitu berkisar antara $800 - 900^{\circ}C$ yang dapat mengurangi produk – produk emisi seperti NO_2 sehingga merupakan teknologi yang ramah lingkungan. Teknologi ini telah diaplikasikan dalam banyak sektor industri dan pada tahun – tahun belakangan ini telah digunakan untuk mengkonversi biomassa menjadi energi.

Pada proses konversi energi dengan teknologi FBG, awalnya ruang bakar dipanasi secara eksternal sampai mendekati suhu operasi. Material hamparan fluidisasi yang umum digunakan untuk mengabsorpsi panas adalah pasir kuarsa. Pasir kuarsa dan bara api bahan bakar akan mengalami turbulensi di dalam ruang bakar sehingga keseragaman suhu sistem terjaga. Kondisi ini mampu memberikan garansi konversi energi yang baik. Selanjutnya, dengan

bidang kontak panas yang luas disertai turbulensi partikel fluidisasi yang cepat menyebabkan FBG teknologi bisa diaplikasikan untuk mengkonversi segala jenis bahan bakar.

2.5 Pencampuran dan Sirkulasi Padat

Penelitian oleh Latif yang meneliti tentang sistem *dual-interconnected fluidized bed* sederhana untuk pembakaran gasifikasi secara berlanjut dari biomassa. Bed material di transportasi secara pneumatik oleh jet udara dari vessel pertama (*combustor*) ke vessel kedua (*gasifier*) melalui *riser* dimana sisi masuk berada di bawah plat distribusi udara dari *combustor* untuk meminimalkan pencampuran udara. Material bahan menuju 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 gasifikasi, produk dan pipa asap keluar diantara 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 dari pada partikel pasir. Waktu tercepat partikel biomassa pada *gasifier* adalah 30 sekon, waktu yang cukup untuk menyelesaikan proses penguapan (*volatilization*). *Gas cross-flow* (menyebabkan kontaminasi gas produk) dapat diminimalkan dengan mengoptimalkan posisi pada sisi masuk *riser* dan laju gas menuju kedua vessel [2].

2.6 Kecepatan Semu

Kecepatan semu (U_o) didefinisikan sebagai laju aliran volume gas dibagi dengan luas penampang hamparan [1]. Jadi kecepatan semu (U_o) dapat ditentukan dengan rumusan sebagai berikut:

$$U_o = \frac{\dot{V}_g}{A_b} \quad (1)$$

dimana :

$$\dot{V}_g = \text{Laju aliran volume gas (m}^3/\text{menit)}$$

$$A_b = \text{luas penampang hamparan (m}^2\text{)}$$

Kecepatan semu (U_o) ditentukan nilainya berada diantara kecepatan minimum fluidisasi (U_{mf}) dan kecepatan terminal (U_t), sehingga laju aliran volume gas agen gasifikasi dapat dihitung. Laju sirkulasi padat.

3. Metode Penelitian

Penelitian dan pengujian ini menggunakan peralatan dan bahan sebagai berikut:

3.1 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Batubara

Batubara yang digunakan sebagai partikel padat dengan ukuran diameter antara 0,4 mm sampai 0,5 mm.



Gambar 3. Batubara berukuran antara 0,4 mm sampai 0,5 mm

b. Pasir silika

Pasir silika yang digunakan adalah pasir silika berwarna putih sebagai material hamparan (bed material) dengan ukuran diameter antara 0,4 mm sampai 0,5 mm.



Gambar 4. Pasir silika berukuran antara 0,4 mm sampai 0,5 mm

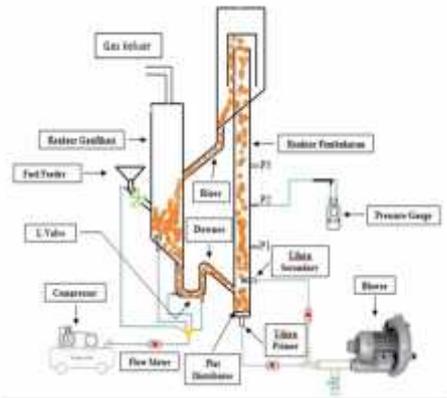
3.2 Preparasi Batubara dan Pasir Silika

Partikel padat (batubara) ukuran antara 0,4 mm sampai 0,5 mm didapat dari pencacahan batubara yang masih berbentuk batu besar. Begitu pula dengan material hamparan pasir silika ukuran antara 0,4 mm sampai 0,5 mm yang diperoleh dari proses pengayakan dengan menggunakan alat ayakan/screen mesh ukuran 0,4 mm dan ayakan/screen mesh ukuran 0,5 mm. Pengukuran massa jenis dari batubara dan pasir silika dilakukan dengan timbangan berskala mili-gram dan piknometer.

3.3 Alat Penelitian

Pada pengujian penelitian ini menggunakan unit pengujian *Cold Model Dual Reaktor Fluidized Bed (DRFB)* yang transparan berbahan *acrylic* agar dapat melihat sirkulasi bahan bakar dan material hamparan didalam reaktor. Adapun skematik peralatan eksperimen DRFB dapat dilihat pada

gambar 5 dengan komponen-komponen utama sebagai berikut:



Gambar 5. Skematik Dual Reaktor Fluidized Bed (DRFB)

3.4 Langkah – langkah pengujian antara lain sebagai berikut :

1. Setting instalasi seperti gambar5. di atas.
2. Pasang *pressure guage* sepanjang reaktor 2.
3. Masukan campuran material hamparan butiran pasir silika dan batubara kedalam reaktor pada berbagai variasi komposisi yang direncanakan.
4. Pasang selang udara yang menghubungkan *flowmeter*, dan kompresor udara.
5. Masukkan udara fluidisasi (udara primer) dan udara sekunder ke dalam reaktor pada kecepatan tertentu sesuai dengan rencana penelitian yang diukur dengan *venturimeter*,
6. Ukur tekanan sepanjang reaktor dan pastikan bekerja dengan baik.
7. Catat pengukur kecepatan udara, pengukur tekanan dan laju sirkulasi massa campuran yang mengalir pada *downer* dan *riser*.
8. Pengambilan data dilakukan berulang sebanyak 3 kali yang kemudian diambil nilai rata-ratanya sebagai data akhir.
9. Setelah pengambilan data, olah data dan tunjukan dalam tabel dan grafik hubungan antara laju sirkulasi partikel padat yang melewati *riser* dan *downer* dengan variasi komposisi partikel padat dan material hamparan, serta *pressure drop* sepanjang reaktor.
10. Lakukan tahapan pengujian dari point 1 sampai 9 pada setiap penelitian.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Data HasilPreparasiBatubara dan Pasir Silika

Pemilihan partikel padat dan material hamparan yang tepat perlu diperhatikan agar dapat terfluidisasi dan bersirkulasi pada DRFB. Densitas dari partikel padat (batubara) dan material hamparan (Pasir Silika) merupakan hal yang mempengaruhi dalam

fluidisasi dan sirkulasi tersebut. Berikut hasil uji densitas partikel padat Batubara dan material hamparan Pasir silika menggunakan piknometer.

Tabel 1. Data Perhitungan Densitas Batubara

Properti	Jumlah
massa batubara ($m_{m,u}$)	5,712 gr
massa alat ukur + batubara + aquades ($m_{(a,u + m.u + aq)}$)	78,182 gr
densitas aquades (f_{aq})	0.9964 gr/cm^3
massa alat ukur ($m_{a,u}$)	27,758 gr
volume alat ukur ($V_{a,u}$)	50 ml

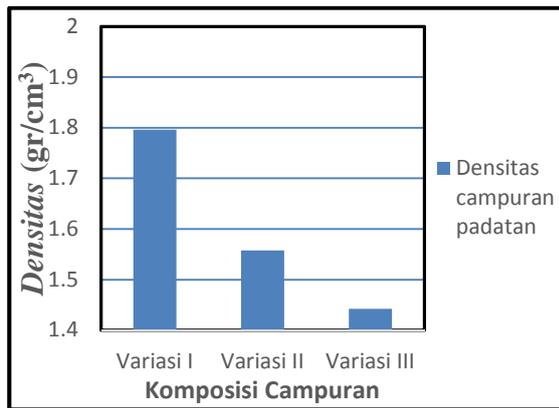
Tabel. 2 Data Perhitungan Densitas Pasir Silika

Properti	Jumlah
massa pasir silika ($m_{m,u}$)	10.808 gr
massa alat ukur + pasir silika + aquades ($m_{(a,u + m.u + aq)}$)	84.226 gr
densitas aquades (f_{aq})	0.9964 gr/cm^3
massa alat ukur ($m_{a,u}$)	27,758 gr
volume alat ukur ($V_{a,u}$)	50 ml

Tabel 3. Hasil perhitungan densitas

Material	Densitas (gr/cm^3)
Batubara	1.114
Pasir Silika	2.588

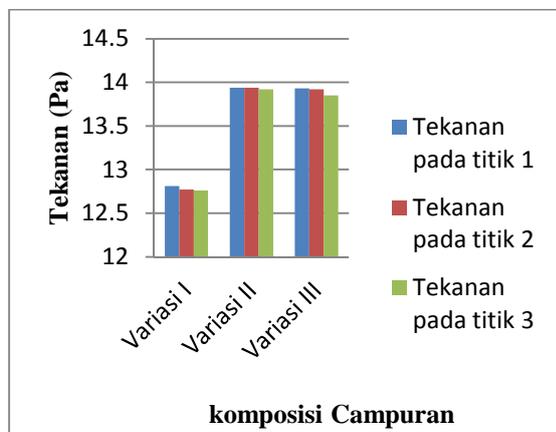
4.2 Densitas Campuran Partikel Padatan



Gambar 6. Grafik densitas campuran partikel padatan tiap variasi

campuran pada variasi I (400 gr pasir silika : 200 gr batubara) memiliki densitas tertinggi dan variasi III (400 gr pasir silika : 600 gr batubara) memiliki densitas terendah. dikarenakan semakin banyak batubara yang dimasukkan kedalam reaktor maka densitas campuran padatnya akan menurun. Hal ini yang nantinya akan berpengaruh terhadap laju sirkulasi padatan yang terjadi pada *downer* dan *riser*. Dilihat dari gambar 6 diketahui densitas

4.3 Distribusi Tekanan Sepanjang Reaktor 2



Gambar 7. Grafik tekanan pada reaktor

pengukuran *tekanan* pada titik 1,2,dan 3 menunjukkan bahwa pada setiap variasi mengalami penurunan tekanan dari titik pengukuran 1 ke titik pengukuran ke-3

5. Kesimpulan

Berdasarkan pada pengujian dan analisa data sebelumnya dapat disimpulkan sebagai berikut:

Penambahan jumlah massa batubara dimasukan ke reaktor ditambahkan hingga perbandingan terakhir yaitu variasi III (400 gr pasir silika : 600 gr batubara) menunjukkan bahwa pada setiap variasi mengalami penurunan tekanan dari titik pengukuran 1 ke titik pengukuran ke-3 tekanan yang paling tinggi diperoleh dalam penelitian kali ini adalah pada variasi III.

Daftar pustaka

- [1] Basu, Prabir & Scott A. Fraser, 1991, *Circulating Fluidized Bed Boilers : Design and Operations*, Boston : Butterworth-Heinemann, c1991.
- [2] 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.
- [3] Guswendar Rinovianto, 2012, *Karakteristik Gasifikasi Pada Updrat Double Gas Outlet Gasifikasi Menggunakan Bahan Bakar Kayu Karet*, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia
- [4] Asmuni, 2012, *Karakterisasi Pasir Kuarsa (SiO₂) Dengan Metode XRD*, diakses pada 11 november, 2016, repository.usu.ac.id