

Studi Eksperimental Komposisi Campuran Arang Tempurung Kelapa (*Char*) dengan *Bed Material* Tanah Liat Pada Dual Reaktor *Fluidized Bed*

I Made Adi Wiranata, I N. Suprpta Winaya, dan A.A.I.A. Sri Komaladewi
Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Salah satu teknologi fluidisasi yang sedang dikembangkan terdiri dari dual-reactor yaitu reaktor *fluidized bed* untuk proses gasifikasi dan reaktor pembakaran. Teknologi gasifikasi yang memisahkan proses reaksi endoterm dan eksoterm menjadi fokus pengembangan teknologi gasifikasi saat ini. Sebuah model (*cold model*) sistem dual-reactor *fluidized bed* (DRFB) dirancang menggunakan material transparan perlu dikembangkan yang nantinya berfungsi untuk mengamati fenomena aliran campuran material hamparan yaitu tanah liat dan bahan bakar arang tempurung kelapa (*char*) yang terjadi di dalam riser pada upper bed yang disirkulasikan menuju downer sebelum masuk kembali ke riser melalui loopseal. Bahan yang digunakan untuk membuat reaktor adalah pipa acrylic dengan diameter 10 cm untuk reaktor gasifikasi (reaktor 1) dan 5 cm untuk reaktor pembakaran (reaktor 2). Variasi komposisi campuran partikel tanah liat dan arang tempurung kelapa yang dimasukkan pada DRFB, yaitu variasi I (400gr : 200gr); variasi II (400gr : 400gr); variasi III (400gr : 600gr). Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju sirkulasi partikel terbesar diperoleh pada variasi II (400gr : 400gr) dengan laju sirkulasi partikel pada downer 14.3751 kg/(m².s) dan pada riser 11.0864 kg/(m².s), serta laju sirkulasi partikel berdasarkan volume terjadi peningkatan yang besar pada perbandingan tersebut.

Kata Kunci : Dual reaktor *fluidized bed*, Cold model, Laju sirkulasi partikel.

Abstract

One of fluidization technology is being developed consist of a dual reactor is a *fluidized bed* reactor for gasification and combustion reactor. A model (*cold model*) dual reactor *fluidized bed* (DRFB) designed using transparent materials need to be developed that will use to observe the flow phenomenon mixture of clay as bed material and coconut shell charcoal (*char*) as biomass particles that occurs in the riser on the upper bed is circulated to the downer before getting back into the riser through loopseal. The materials used to make reactor is acrylic pipe with diameter of 10 cm for gasification reactor (reaktor 1) and 5 cm for combustion reactor (reaktor 2). Variations in the composition mixture particles of clay and coconut shell charcoal entered in DRFB are variation I (400gr : 200gr); variation II (400gr : 400gr); variation III (400gr : 600gr). The results showed that the largest particle circulation rate obtained on the variation II (400gr: 400gr) with particle circulation rate at downer 14.3751 kg/(m².s) and at riser 11.0864 kg/(m².s), as well as the particle circulation rate by volume occurred a large increase in such comparisons.

Keywords: Dual reactor *fluidized bed*, Cold model, Particle circulation rate.

1. Pendahuluan

Teknologi fluidisasi yang sedang dikembangkan yang terdiri dari dual-reactor yaitu reaktor *fluidized bed* untuk proses gasifikasi dan reaktor pembakaran. Teknologi gasifikasi yang memisahkan proses reaksi endoterm dan eksoterm menjadi fokus pengembangan teknologi gasifikasi saat ini. Sistem reaktor ini adalah jika pada proses gasifikasi atau pengkonversian bahan bakar menjadi gas terdapat sisa bahan bakar yang belum terkonversi, maka sisa bahan bakar tersebut akan disirkulasikan ke reaktor pembakaran yang kemudian di proses gasifikasi kembali hingga bahan bakar habis terkonversi menjadi gas.

Pentingnya *solid mixing* pada sistem gasifikasi *fluidized bed* sangat berpengaruh dalam sirkulasi campuran bahan bakar dan bed material di dalam tipe dual-reactor *fluidized bed* (DRFB). Penelitian tentang studi laju sirkulasi padatan pada *circulating fluidized bed*. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan bahwa, dengan meningkatkan ukuran partikel padatan, maka laju sirkulasi padatan menurun [1]. Peneliti pengaruh ukuran partikel pada pencampuran partikel dalam *fluidized bed 2D* mengamati bahwa fluktuasi konsentrasi di kedua sumbu vertikal dan horisontal meningkat sebagai akibat dari pertumbuhan partikel [2]. Peningkatan kecepatan gas superfisial akan meningkatkan laju pencampuran dan mengurangi

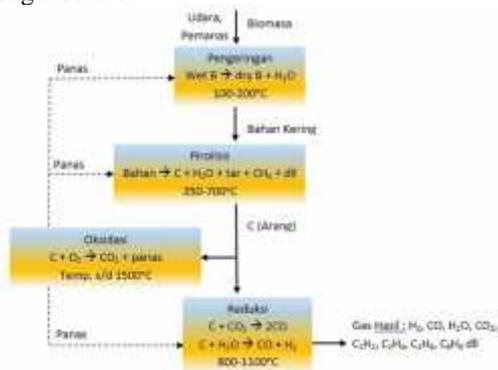
waktu pencampuran, serta laju pencampuran menurun dengan meningkatkan ukuran partikel [3].

Fenomena sirkulasi pada DRFB perlu diamati serta menjadi faktor penting terhadap proses pencampuran dan perpindahan masa yang terjadi pada sebuah sistem tertutup. Karakteristik material hamparan terhadap kecepatan superfisial menentukan jumlah masa yang disirkulasikan. Sebuah model (*cold model*) sistem DRFB dirancang menggunakan material transparan perlu dikembangkan yang nantinya berfungsi untuk mengamati fenomena aliran campuran material hamparan yaitu tanah liat dan bahan bakar arang tempurung kelapa (*char*) yang terjadi di dalam *riser* pada *upper bed* yang disirkulasikan menggunakan siklon menuju *downer* sebelum masuk kembali ke *riser* melalui *loopseal*. *Riser* merupakan sebuah titik untuk melihat laju sirkulasi partikel padat dari reaktor pembakaran menuju reaktor gasifikasi, sedangkan *downer* sebaliknya dari reaktor gasifikasi menuju reaktor pembakaran. Salah satu penelitian penggunaan tanah liat sebagai material hamparan pada FB telah dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan keseragaman pencampuran zat padat [4]. Karakteristik laju jumlah massa hamparan material dan bahan bakar yang melewati *riser* dan *downer* akan dikaji dengan memvariasikan jumlah campuran butiran tanah liat dan arang kelapa yang dimasukkan pada DRFB. Sirkulasi padatan pada *riser* dan *downer* sangat penting diketahui untuk kuantitas dan kualitas campuran padatan yang menuju reaktor pembakaran dan gasifikasi.

2. Dasar Teori

2.1 Gasifikasi

Pada umumnya proses gasifikasi melalui empat tahapan proses, yaitu pengeringan, pirolisis, oksidasi, dan reduksi. Pada gasifikasi *fluidized bed* kontak antara padatan dan gas sangat kuat sehingga perbedaan dari empat proses di atas tidak dapat dibedakan, untuk mengetahui proses yang berlangsung pada reaktor/*gasifier* dapat dilakukan dengan membandingkan rentang temperatur [5]. Skema tahapan proses gasifikasi dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 1. Prinsip Proses Gasifikasi

2.2 Gasifikasi Fluidized Bed

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. Pasir silika 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 Definisi Biomassa

Biomassa merupakan sumber energi terbarukan yang mengacu pada bahan biologis yang berasal dari organisme yang belum lama mati (dibandingkan dengan bahan bakar fosil). Sumber-sumber biomassa yang paling umum adalah bahan bakar kayu, limbah dan alkohol. Dari persektif sumber daya energi definisi umumnya adalah istilah umum untuk sumber daya hewan dan tumbuhan serta limbah yang berasal darinya dimana ia terkumpul dalam jangka waktu tertentu (tidak termasuk sumber fosil). Biomassa sangat beragam dan berbeda dalam hal sifat kimia, sifat fisis, kadar air, kekuatan mekanis dan sebagainya dan teknologi konversi menjadi bahan dan energi juga beragam [6].

Sumber daya biomassa dapat digunakan berulang kali dan bersifat tidak terbatas berdasarkan siklus dasar karbon melalui proses fotosintesis. Sebaliknya sumber daya fosil secara prinsip bersifat terbatas dan hanya untuk sementara. Selain itu emisi CO_2 yang tidak terbalikan dari pembakaran fosil akan memberikan efek yang serius terhadap iklim global.

Biomassa sangat efektif sebagai energi alternatif yang ramah lingkungan. Biomassa membentuk bagiannya sendiri melalui proses fotosintesis. Energi yang menggantikan bahan bakar fosil dapat diperoleh dari siklus, yaitu pembakaran biomassa, emisi kabondioksida dan refiksasi karbondioksida. Oleh karena itu, emisi

karbondioksida dapat direduksi dengan cara mengganti bahan bakar fosil dengan biomassa.

Sumber energi biomassa pun mempunyai kelebihan sebagai sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*) sehingga dapat menjadi sumber energi dalam jangka waktu yang sangat lama dan berkesinambungan (*sustainable*).

2.4 Arang Tempurung Kelapa

Secara fisologis, bagian batok kelapa merupakan bagian yang paling keras dibandingkan dengan bagian kelapa lainnya. Struktur yang keras disebabkan oleh silikat (SiO_2) yang cukup tinggi kadarnya pada batok kelapa tersebut. Berat dan tebal batok kelapa sangat ditentukan oleh jenis tanaman kelapa. Berat tempurung kelapa ini sekitar (15 – 19)% dari berat keseluruhan buah kelapa, sedangkan tebalnya sekitar (3 – 5) mm.

Dari segi kualitas, batok kelapa yang memenuhi syarat untuk dijadikan bahan arang aktif adalah kelapa yang benar-benar tua, keras, masih utuh dan dalam keadaan kering. Untuk membuat arang aktif yang benar-benar berkualitas, tempurung kelapa harus bersih dan terpisah dari sabutnya. Sedangkan untuk mengetahui kualitas yang baik dari arang batok kelapa, pembakarannya menghasilkan arang yang tampak hitam, mengkilap, utuh, keras dan mudah dipatahkan.

Pembakaran tidak sempurna terhadap tempurung kelapa akan menyebabkan senyawa karbon kompleks tidak teroksidasi menjadi karbon dioksida. Peristiwa tersebut disebut sebagai pirolisis. Pada saat pirolisis, energi panas mendorong terjadinya oksidasi sehingga sebagian besar molekul karbon yang kompleks terurai menjadi karbon atau arang. Pirolisis untuk pembentukan arang terjadi pada temperatur 150–3000°C [7]. Pembentukan arang tersebut disebut sebagai pirolisis primer. Arang dapat mengalami perubahan lebih lanjut menjadi karbon monoksida, gas hidrogen dan gas-gas hidrokarbon. Peristiwa ini disebut sebagai pirolisis sekunder. Makin rendah kadar abu, air, dan zat yang menguap maka makin tinggi pula kadar fixed karbonnya. Mutu arang tersebut pun akan semakin tinggi pula.

Tabel 1. Hasil uji komposisi dan Berat Jenis Serbuk Arang tempurung kelapa

Parameter uji	Satuan	Hasil uji
Kadar air	%	3,83
Kadar karbon	%	91,38
Kadar abu	%	4,79
Berat jenis	gr/cm ³	0,5722

Sumber: Mashuri (Jurnal Mektek Edisi Januari, 2006)

2.5 Batu Bata Merah (Tanah Liat)

Tanah liat (lempung) adalah tanah yang lekat. Secara alami, tanah ini terbentuk dari pelapukan batuan feldspatik seperti batuan granit dan batuan beku. Karena banyak mengandung silikon, oksigen, dan aluminium, selanjutnya batuan-batuan tersebut mengalami proses pelapukan akibat aktivitas panas bumi terutama oleh asam karbonat. Dari sinilah lambat laun menumpuk tanah lempung yang dapat kita jumpai dengan mudah saat ini. Tanah liat/lempung mempunyai ciri-ciri di antaranya memiliki pori-pori yang posisinya cukup rapat. Itulah sebabnya tanah ini terbilang sulit dalam menyerap air. Pada saat dalam kondisi basah, tanah lempung juga bersifat lengket dan bisa menyatu dengan kuat. Sedangkan ketika kondisinya kering, butiran tanah liat tadi justru akan terpecah-belah secara halus.

Bahan baku batu bata adalah tanah liat atau tanah lempung yang telah dibersihkan dari kerikil dan batu-batu lainnya. Tanah ini banyak ditemui di sekitar kita. Itulah salah satu penyebab, batu bata mudah didapatkan. Adakalanya, kita melihat batu bata yang warna dan tingkat kekerasannya berbeda. Perbedaan ini disebabkan karena perbedaan bahan baku tanah yang digunakan serta perbedaan teknik pembakaran yang diterapkan. Tidak semua tanah liat bisa digunakan. Hanya yang terdiri dari kandungan pasir tertentu. Umumnya tanah liat akan meleleh pada suhu 1770°C.

Setiap material memiliki sifat mekanik dan sifat fisik yang dapat dilihat dan diamati berdasarkan eksperimen. Salah satu sifat fisis yang dimiliki oleh material adalah densitas. Berdasarkan hasil pengukuran densitas batu bata merah dengan menggunakan metode piknometer diperoleh nilai densitasnya sebesar 2,306 gr/cm³[8].

2.6 Fluidisasi

Fluidisasi dapat didefinisikan sebagai suatu operasi dimana hamparan zat padat diperlakukan seperti fluida [9]. Di dalam 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 berbagai limbah menjadi energi karena mempunyai keunggulan mengkonversi berbagai jenis bahan bakar baik sampah, biomassa ataupun bahan bakar fosil berkalori rendah. FBG mempunyai suhu operasi relatif rendah yaitu berkisar antara 800 – 900°C yang dapat mengurangi produk – produk emisi seperti NO₂ 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.

2.7 Pencampuran dan Solid Circulation

Penelitian tentang sistem *dual-interconnected fluidized bed* sederhana untuk pembakaran gasifikasi secara kontinu dari biomassa telah dilakukan dengan cara material bed di transportasikan 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 (kulit kacang), 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*). *Gas cross-flow* (menyebabkan kontaminasi gas produk) dapat diminimalkan dengan mengoptimalkan posisi sisi masuk *riser* dan laju gas menuju kedua vessel [10].

2.8 Laju Sirkulasi Partikel

Laju sirkulasi partikel merupakan suatu nilai yang penting dan sangat berpengaruh terhadap kinerja dari reactor fluidisasi yang bersirkulasi, karena sirkulasi tersebut akan menjadi *feeder* dari masing-masing proses di dalam reactor. Laju

sirkulasi partikel juga dipengaruhi oleh luas penampang pipa yang nantinya akan menghubungkan proses sirkulasi tersebut. Laju sirkulasi partikel diperoleh dari massa padatan yang melewati pipa penghubung sirkulasi per detik dibagi dengan luas penampang pipa penghubung sirkulasi:

$$\text{Laju sirkulasi padatan} = \frac{m_s}{t \cdot A_p} \quad (1)$$

dimana :

m_s = massa padatan yang melewati pipa penghubung sirkulasi (kg)

t = waktu padatan melewati pipa penghubung sirkulasi (s)

A_p = luas penampang pipa penghubung sirkulasi (m²)

3. Metode Penelitian

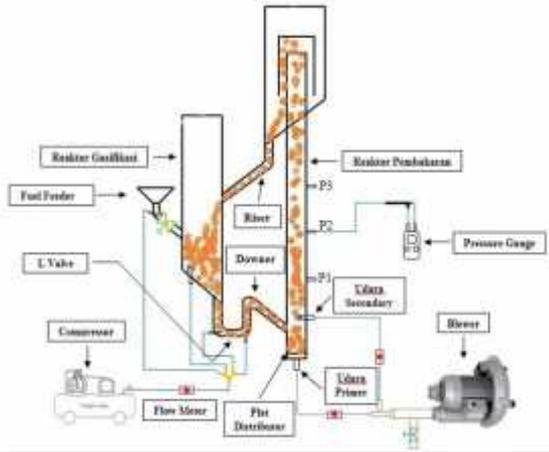
Penelitian dan pengujian ini menggunakan peralatan dan bahan sebagai berikut:

3.1 Preparasi Arang Tempurung Kelapa dan Tanah Liat

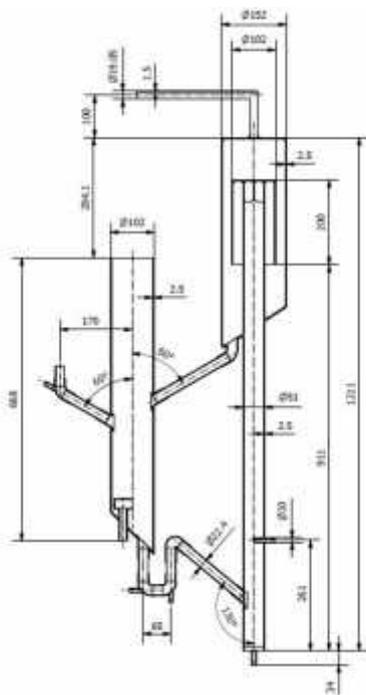
Partikel biomassa serbuk arang tempurung kelapa didapat dari pencacahan arang tempurung kelapa menjadi ukuran antara 0,4 – 0,5 mm. Begitu pula dengan material hamparan tanah liat yang diperoleh dari batu bata merah yang telah ditumbuk menjadi ukuran antara 0,4 – 0,5 mm menggunakan ayakan/screen mesh ukuran 0,4 mm dan ayakan/screen mesh ukuran 0,5 mm. Pengukuran massa jenis dari arang tempurung kelapa dan tanah liat dilakukan dengan timbangan berskala mili-gram dan piknometer.

3.2 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 2 dengan komponen-komponen utama sebagai berikut:



Gambar 2. Skematik Dual Reaktor Fluidized Bed (DRFB)



Gambar 3. Detail ukuran reaktor



Gambar 4. Foto alat uji DRFB berbahan pipa akrilik

Pertama Pasang *pressure guage* sepanjang reaktor 2 untuk mengukur tekanan sepanjang reaktor 2. Langkah selanjutnya adalah masukan campuran material hamparan butiran tanah liat dan serbuk arang tempurung kelapa kedalam reaktor pada berbagai variasi komposisi yang direncanakan. 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

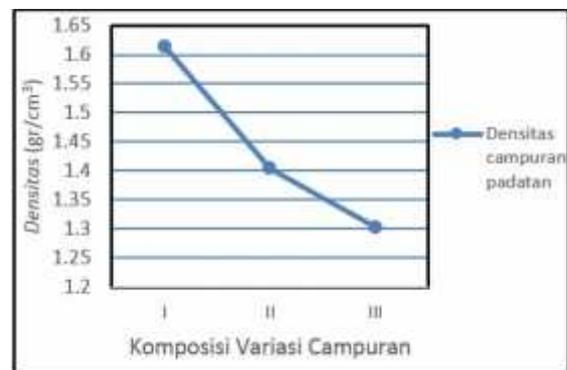
4.1 Data Hasil Preparasi Arang Tempurung Kelapa dan Tanah Liat

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 arang tempurung kelapa dan material hamparan tanah liat menggunakan piknometer.

Tabel 2. Hasil perhitungan densitas

Material	Densitas (gr/cm ³)
Arang tempurung kelapa	1,010
Tanah liat	2,3026

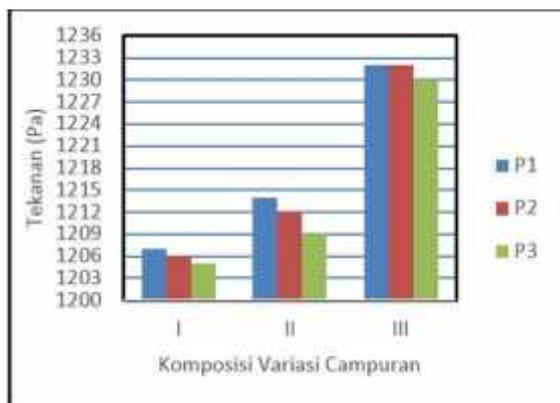
4.2 Densitas Campuran Partikel Padatan



Gambar 5. Densitas campuran partikel padatan tiap variasi

Pada gambar 5 diketahui densitas campuran pada variasi I memiliki densitas tertinggi dan variasi III memiliki densitas terendah. Semakin banyak partikel biomassa arang tempurung kelapa yang dimasukkan kedalam reactor maka densitas campuran padatnya akan menurun. Hal ini yang nantinya akan mengakibatkan pengaruh terhadap laju sirkulasi padatan yang terjadi pada *downer* dan *riser*.

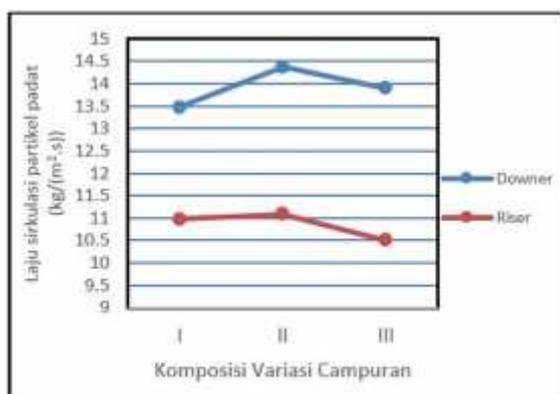
4.3 Distribusi Tekanan Sepanjang Reaktor 2



Gambar 6. Distribusi tekanan sepanjang reaktor 2

Distribusi tekanan sepanjang reaktor 2 dapat dilihat pada gambar 6, dari gambar tersebut menjelaskan bahwa pada variasi I memiliki nilai distribusi tekanan yang terkecil dan variasi III memiliki nilai distribusi tekanan terbesar. Pada setiap variasi, titik pengukuran tekanan di P₃ memiliki nilai terkecil sedangkan di P₁ memiliki nilai terbesar. Nilai tekanan pada masing-masing variasi ini yang nantinya dapat dijadikan perbandingan untuk mengetahui laju sirkulasi pada reactor baja.

4.4 Laju Sirkulasi Partikel



Gambar 7. Laju sirkulasi partikel pada berbagai komposisi campuran

Berdasarkan gambar 7 dapat dilihat bahwa laju sirkulasi partikel pada *downer* lebih besar dari laju sirkulasi partikel pada *riser* disetiap variasinya. Pada variasi I menuju variasi II laju sirkulasi partikelnya naik pada *downer* maupun *riser*, namun dari variasi II menuju variasi III laju sirkulasi partikelnya menurun. Hal ini berarti jika jumlah massa partikel biomassa arang tempurung kelapa yang dimasukkan ke reaktor ditambahkan hingga perbandingan antara partikel biomassa dan material hamparan tanah liat yaitu 1 : 1, maka laju sirkulasi partikelnya akan meningkat, sedangkan jika jumlah massa partikel biomassa arang tempurung kelapa yang dimasukkan ke reaktor ditambahkan melebihi dari jumlah massa material hamparan (massa arang tempurung kelapa > massa tanah liat), maka laju sirkulasi partikelnya akan menurun.

5. Kesimpulan

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

1. Densitas campuran partikel padatan akan yang dimasukkan kedalam reaktor. Hal ini memberikan pengaruh terhadap laju sirkulasi partikel yang terjadi pada *dual reactor fluidized bed* (DRFB).
2. Komposisi campuran material arang tempurung kelapa dan tanah liat pada perbandingan 400g : 400g dengan densitas campuran padatan 1,4041 gr/cm³ memiliki laju sirkulasi partikel terbesar dibandingkan dengan komposisi campuran lainnya, serta laju sirkulasi partikel berdasarkan volume terjadi peningkatan yang besar pada perbandingan tersebut.

Daftar pustaka

- [1] Luong, P. M. & S. C. Bhattacharya, 1993, *A Study of Solid Circulation Rate in A Circulating Fluidized Bed*, International Journal of Energy Research, vol. 17, 479-490.
- [2] Shen, L., & Zhang, M., 1998, *Effect of particle size on solids mixing in bubbling fluidized bed*, Powder Technology, 97, 170-177.
- [3] Gorji-Kandi, S., S. M. Alavi-Amleshi, N. Mostoufi., 2014, *A Solid Mixing Rate Correlation for Small Scale Fluidized Beds*, Particology.
- [4] Muntianu G., dkk, 2013, *Hydrodynamic Study of Clay Particles in Fluidized Bed*, Journal of

- Engineering Studies and Research, vol. 19, 70-75.
- [5] Basu, Prabir, 2010, *Biomassa Gasification and Practical Design*, Elsevier
- [6] Yokoyama, S., 2008, *Evolution of Dim-light and Color Vision Pigments*, Annu. Rev. Genomics Hum. Genet. 9: 259-282.
- [7] Nurjito & Arianto Leman S., 2008, *Campuran Arang Tempurung Kelapa Bekas dan Arang Tempurung Kelapa Baru untuk Media Karburasi Baja Karbon Rendah*, Media Teknika Vol. 8 No. 1, 52 – 60.
- [8] Albany, A. Nashiruddin, dkk, 2011, *Pengukuran Densitas Batu Bata Merah , Batu Bata Putih dan Batu Bata Ringan dengan Menggunakan Piknometer*, Fakultas MIPA ITS, Surabaya.
- [9] Basu, Prabir & Scott A. Fraser, 1991, *Circulating Fluidized Bed Boilers : Design and Operations*, Boston : Butterworth-Heinemann, c1991.
- [10] 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.
- [11] Mashuri, 2006, *Sifat-sifat Mekanis Aspal yang Ditambahkan Serbuk Arang Tempurung Kelapa*, Jurnal Media Komunikasi Teknologi Edisi Januari 2006, Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu.