PEMODELAN CFD PERILAKU FLUIDISASI HAMPARAN PARTIKEL *SEWAGE SLUDGE*

I Nyoman Gede Sujana[1)], I Nyoman Suprapta Winaya[2)] dan Made Sucipta[2)]
[1)]Program Pasca Sarjana Teknik Mesin Universitas Udayana
Gedung Pasca Sarjana Lt. Dasar Jl. PB. Sudirman, Denpasar-Bali
Email: *nymgedesujana@gmail.com*
[2)]Jurusan Teknik Mesin universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Badung-Bali
Email: *ins.winaya@me.unud.ac.id, m.sucipta@me.unud.ac.id*

Abstrak: Fluidisasi hamparan (*Fluidized bed*) merupakan salah satu teknik pengontakan fluida baik gas maupun cairan dengan butiran padat. Pada fluidisasi kontak antara fluida dan partikel padat terjadi dengan baik karena permukaan kontak yang luas. Saat ini ketersedian bahan bakar fosil mulai menipis, sehingga sangat perlu mencari bahan bakar alternatif yang salah satunya digunakan bahan bakar dari limbah padat perhotelan. Karakteristik fluidisasi sulit untuk divisualisasikan karena bed/reaktor berbentuk solid dan tertutup sehingga sulit untuk memprediksinya. Dalam penelitian ini digunakan simulasi CFD dengan progam Fluent 6.3.2, yang menggunakan meshing 2.890 *quadrilateral cells* dengan persamaan koefisien *drag Syamlal-O'Brien* dan *Eulerian multiphase* dengan memvariasikan 3 kecepatan superfisial dan diameter partikel. Didapatkan hasil bahwa semakin kecil ukuran diameter partikel maka semakin tinggi hamparannya (H) dan semakin banyak gelembung fluidisasi yang terbentuk.

Kata kunci; *Sewage sludge, fluidized bed, tinggi hamparan,* Syamlal-*O'Brien dan Eulerian* multifase, *gelembung fluidisasi.*

Abstract: Fluidized bed is one of the techniques for both gas and liquid with solid granules. In fluidization, contact between the fluid and solid particle occurs appropriately because of wide contact surface. Currently, the fossil-resourced fuel supply is getting decreased, consequently an alternative fuel should be empowered, one of which used is from solid waste. Fluidization characteristics is difficult to visualize and predict because it is a bed or solid-shaped and closed, CFD simulation Fluent 6.3.2 program using meshing 2890 quadrilateral cells with Syamlal-O'Brien coefficient drag equation and Eulerian multiphase, by verirying 3 speed of superficial and particle is used in the study. The result Showed that the smaller the diameter of particle the higher bed (H) band the more fluidized bubbles are formed.

Keywords; Sewage sludge, fluidized bed, bed high, Syamlal-O'Brien and Eulerian multiphase, bubble fluidization.

I. PENDAHULUAN

Fluidisasi hamparan (*Fluidized bed*) merupakan salah satu teknik pengontakan fluida baik gas maupun cairan dengan butiran padat. Pada fluidisasi kontak antara fluida dan partikel padat terjadi dengan baik karena permukaan kontak yang luas. Teknik ini banyak digunakan di industri kimia dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang penggunaannya meningkat pesat pada dekade terakhir. Salah satu material hamparan yang dapat digunakan dalam teknologi *fluidized bed* adalah *sewage sludge* dari limbah perhotelan. *Sewage sludge* mengandung komponen tertentu yang tidak diinginkan, termasuk zat organik, anorganik dan zat beracun, seperti mikroorganisme pathogen [14]. Menurut Badan Pusat Statistik Provinsi Bali [3], jumlah hotel non bintang pada tahun 2010 di kabupaten Badung sebanyak 344 buah hotel, sedangkan untuk hotel berbintang sebanyak 94 buah hotel, Hotel tersebut akan menghasilkan limbah dan sampai saat ini pemanfaatan limbah perhotelan tersebut belum optimal karena masih terbatasnya teknologi yang ada.

Simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) telah banyak dikembangkan belakangan ini, dan CFD merupakan salah satu pemodelan yang populer digunakan saat ini dalam mensimulasikan fluidisasi [16]. Banyak memberikan keleluasaan untuk mengubah parameter disain tanpa biaya yang banyak, memberikan waktu yang lebih cepat dari percobaan, dan juga mampu menyediakan informasi detail tentang medan aliran, terutama di daerah pengukuran yang sulit dilakukan atau tidak mungkin diperoleh [1]. Model pendekatan koefisien *drag* Syamlal-O'Brien dikembangkan berdasarkan basis kecepatan partikel yang menunjukkan kepekaan lebih kecil untuk skala mikroskopis [10]. Dengan penelitian eksperimental

mendapatkan peningkatan kecepatan superfisial udara (U_{mf}) yang lebih tinggi mampu meningkatkan proses fluidisasi [17]. Perilaku fluidisasi melibatkan tiga fase penting yaitu: didominasi partikel, didominasi gas dan campuran keduanya. Meskipun banyak studi tentang pemodelan prilaku fluidisasi hamparan namun masih sedikit studi yang menggunakan material hamparan yang diaplikasikan kedalam dunia aplikatif dan juga mengingat *sewage sludge* mempunyai *density* yang ringan, di dalam perkembangannya saat ini, penelitian eksperimen perilaku fluidisasi masih sulit dikembangkan, karena keterbatasan parameter operasi fluidisasi, sehingga bentuk fisik terfluidisasinya material hamparan sulit untuk divisualisasikan. Untuk itu diperlukan suatu penelitian dengan pemodelan/simulasi CFD dengan model Eulerian yang menggabungkan teori kinetik untuk partikel solid yang diaplikasikan untuk aliran gas-padat pada berbagai kecepatan superfisial serta ukuran partikel yang berbeda. Perpindahan momentum material hamparan *sewage sludge* limbah hotel dengan kecepatan suferfisial gas yang mengalir dihitung dengan menggunakan fungsi drag Syamlal-O'Brien.

Bahan Bakar Limbah *(Sewage Sludge)*

Sewage Sludge dibentuk selama pengolahan air limbah. Air limbah adalah campuran dari cairan atau air bawaan sampah yang berasal dari rumah tangga, pemerintah, pabrik dan industri, yang terbawa bersama-sama dengan air tanah, dan air permukaan. Air limbah mungkin mengandung komponen tertentu yang tidak diinginkan, termasuk zat organik, anorganik dan zat beracun, seperti mikroorganisme patogen.

Kelompok utama dari padatan organik dalam air limbah adalah protein, karbohidrat, lemak dan minyak. Protein berisi sekitar 16% nitrogen, dan bersama-sama dengan urea adalah sumber utama dari nitrogen dalam air limbah.

Persamaan Permodelan

Model Eulerian di progam fluent merupakan pendekatan permodelan yang penting untuk mempelajari fase partikulat padat dimana melibatkan momentum kompleks antar fase. Oleh karena itu, penting untuk menggunakan *drag law* yang benar untuk memprediksi awal mulainya fluidisasi itu terjadi, dimana partikel dalam *Bed* tersuspensi sebagai akibat dari keseimbangan antar gaya hambat dan kekuatan dari partikel hamparan [8].

Standar pengaturan Syamlal-O'Brien adalah sebagai berikut :

$$K_{sl} = \frac{3\alpha_s \alpha l \rho_l}{4 v_{r,s}^2 d_s} CD\left(\frac{Re_s}{v_{r,s}}\right)|\overrightarrow{v_s} - \overrightarrow{v_l}| \qquad (1)$$

dimana $v_{r,s}^2$ adalah kecepatan terminal koefisien untuk fase padat.

$$v_{r,s} = 0.5(A - 0.06Re_s + \sqrt{(0.06Re_s)^2 + 0.12Re_s(2B - A) + A^2}) \qquad (2)$$

dimana $A=\alpha_l^{4.14}$ dan $B=0.8\alpha_l^{1.28}$ untuk $\alpha l \leq 0.85$ dan dengan $B=\alpha_l^{2.65}$ untuk $\alpha l > 0.85$

Fase gas dalam Euler Euler dan model euler lagrange diperlakukan sebagai sebuah kontinum, yang dapat dijelaskan oleh satu set volume rata-rata persamaan Navier-Stokes. Untuk keseimbangan massa global sudah dalam bentuk konservatif.

$$\frac{\partial \varepsilon_g \rho_g}{\partial t} + \nabla.\left(\varepsilon_g \rho_g u_g\right) = 0 \qquad (3)$$

dimana $\varepsilon_g \rho_g$ dan u_g masing-masing adalah fraksi ruang kosong, kepadatan gas, dan kecepatan fase gas. Persamaan keseimbangan untuk individu dalam fase gas dan dapat di tulis sebagai berikut:

$$\frac{\partial \varepsilon_g \rho_g Y_\alpha}{\partial t} + \nabla.\left(\varepsilon_g \rho_g Y_\alpha u_g\right) = \varepsilon_g \dot{w}_{\alpha.g} + \varepsilon_g \dot{w}_{\alpha.s} \qquad (4)$$

Berikut Y_a menunjukkan fraksi massa dalam fase gas, $W_{a,g}$ adalah tingkat produksi bersih karena reaksi kimia fase gas.

Persamaan momentum fase gas adalah :

$$\frac{\partial \varepsilon_g \rho_g Y_\alpha}{\partial t} + \nabla.\left(\varepsilon_g \rho_g u_\alpha u_g\right) + \varepsilon_g \nabla_p + \varepsilon_g\left(\nabla.\tau_g\right) + \varepsilon_g \rho_g g = I_{gs}. \qquad (5)$$

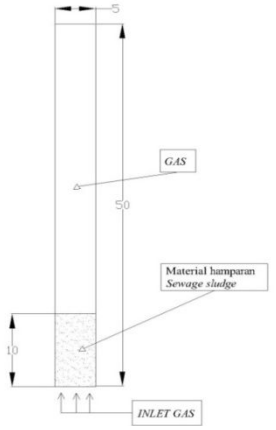
dimana, $p,\tau,g,$ *dan* I_{gs} masing-masing adalah tekanan, tegangan, (dimodelkan sebagai fluida Newtonian), gaya gravitasi, dan jangka pertukaran momentum antara fase gas dan fase partikulat.

Dalam model Euler-lagrange mengikuti skema *discretisation konservatif* dengan persamaan kebutuhan energi yang ditulis dalam e energi massa khusus.

$$\frac{\partial \varepsilon_g \rho_g e}{\partial t} + \nabla.\left(\varepsilon_g u_g\left(\rho_g e + p\right)\right) + \varepsilon_g(\nabla.q) = \dot{Q}_{gs} \qquad (6)$$

II. HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah simulasi komputer dengan progam Fluent 6.3.2 didukung dengan Gambit 6.2 sebagai proses dalam penentuan dimensi dan kondisi awal (*boundary condition*). Berikut gambar 1 merupakan gambar skematik dari pemodelan yang akan dilakukan.



Gambar 1 Skematik benda uji pemodelan

Simulasi prilaku fluidisasi akan dilakukan dalam dua-dimensi (2D). Model *Eulerian multiphase* digunakan untuk analisis, domain komputasi 2D *discretized* menggunakan sel-sel persegi panjang (*Quad*), juga dilakukan dalam waktu langkah 0,001s dengan 20 iterasi perlangkah waktu. CFD mengganti

persamaan-persamaan diferensial parsial dari kontinuitas, momentum, dan energi dengan persamaan- persamaan aljabar, yang merupakan pendekatan dari persoalan yang asalnya kontinum (memiliki jumlah sel tak terhingga) menjadi model yang diskrit (jumlah sel terhingga). Parameter yang akan digunakan dalam simulasi dapat dilihat dalam tabel berikut :

Tabel 1 Setting parameter awal pada masing-masing fase.

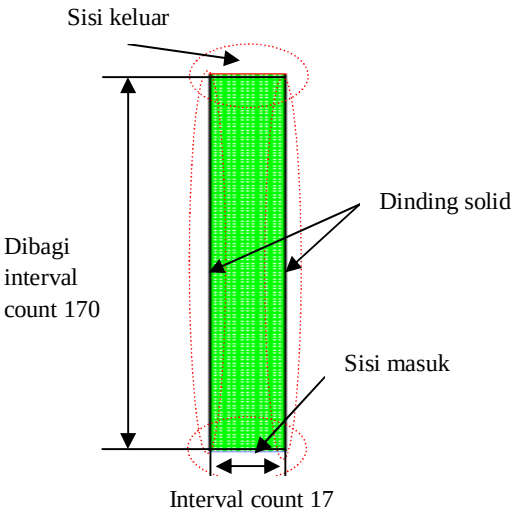
Simbol	Diskripsi	Nilai
ρ_{s2}	Berat jenis *sewage sludge*	310.48 kg/m^3
ρ_g	Berat jenis udara	1.225 kg/m^3
d_s	Diameter partikel rata-rata	0.5, 0.6, 0.7 *mm*
D	Diameter *bed*	5 cm
H_1	Tinggi *bed*	50 cm
H_0	Tinggi hamparan	10 cm
U_g	Kecepatan *superficial*	0.05, 0.10, 0.15m/s

Tabel 2 Processing pada simulasi

No	Parameter		Identifikasi
1	*Model*	*Solver*	*Pressure based/Unsteady*
		Multiphase	*Eulerian*
		Energy	*Alktif*
2	*Material*	*Air*	*Primary Phase*
		Solids	*Secondary Phase*
3	*Bondary Condition*	*Air*	*Velocity Inlet*
		Solid	*Wall*
4	*Operating condition*	*Gravity*	*-9.81 m/s*
5	*Iteration*	*Time step*	*0.001s*
		Iterastion Per Time Step	*20*
		Convergen	*10^{-3}*

2.1. *Preprocessor.*

Merupakan langkah pertama dalam membangun dan menganalisis sebuah model CFD, teknisnya adalah membuat model dalam paket CAD (*Computer Aided Design*), membuat mesh yang cocok/sesuai, kemudian menerapkan kondisi batas dan sifat-sifat fluidanya. Pemodelan dibuat dengan dua dimensi dilanjutkan proses *meshing* menggunakan *interval count* = 17 untuk arah horizontal dan 170 arah vertikal. Total *mesh face* yang dihasilkan disepanjang arah vertikal maupun horizontal adalah sebanyak 2.890 *quadrilateral cells*, seperti yang ditunjukkan gambar 2.



Gambar 2 *Meshing*

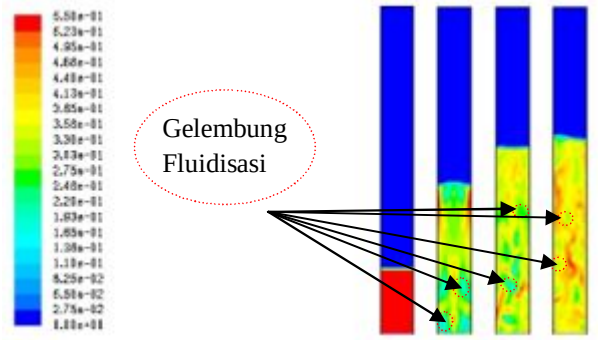
Selanjutnya masuk pada tahap penentuan *boundary condition.* Penentuan kondisi batas dari penampang reaktor meliputi: pada bagian bawah diasumsikan sebagai *velocity inlet* (sisi masuk) dari fluida udara, *wall* pada tiap sisi bagian samping dan *pressure outle*t (sisi keluar) pada bagian atas dan mengkondisikan keadaaan di dalam *mesh face* adalah fluida. Untuk *initial condition*, diasumsikan dinding bersifat adiabatik, fase gas tidak terjadi *slip* sepanjang dinding sedangkan untuk fase padat memungkinkan untuk terjadinya kontak yang merujuk pada persamaan koefisien *drag Syamlal.*

2.2. *Solver*

Ialah proses menghitung kondisi-kondisi yang diterapkan pada saat *preprocessing.* Untuk pemodelan fluidisasi menggunakan hamparan *sewage sludge* pada kondisi tidak *steady* (*non-steady state*), model Eularian multiphase digunakan. Eularian granular model digunakan untuk proses interasi fase gas dan butiran padat pada pemodelan fluidisasi. Model ini memungkinkan pengolahan persoalan pada dua fase berbeda di dalam satu *control volume* dalam *grid*. Fase butiran diasumsikan memiliki diameter yang seragam dan fase padat-gas secara individu akan diselesaikan dengan persamaan massa dan momentum. Langkah waktu iterasi ialah 0.001 detik dengan jumlah langkah waktu 3000, shingga dalam hasilnya akan mendapatkan dari detik ke-0 sampai dengan detik ke-3.

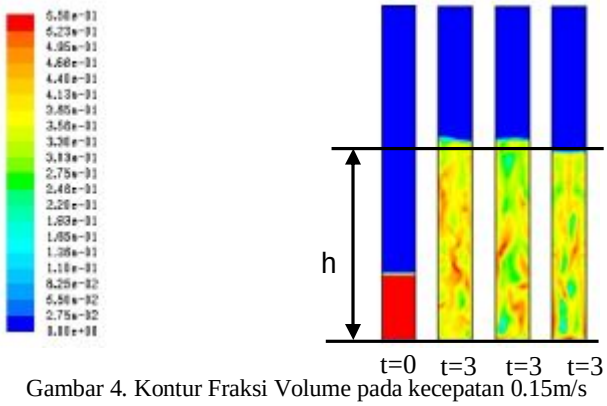
2.3. *Postprocessor*

Merupakan langkah terakhir dalam analisis CFD. Hal yang dilakukan pada langkah ini adalah mengorganisasi dan menginterprestasi data hasil simulasi CFD yang bisa berupa gambar, kurva, dan animasi.



Gambar 3. Kontur Fraksi Volume pada detik ke 1-3 diameter 0.5mm dengan kecepatan 0.15m/s

Gambar 3 menunjukkan perubahan tinggi hamparan pada diameter partikel 0.5mm dengan kecepatan superficial 0.15m/s. Memperlihatkan perubahan ketinggian bed dari detik ke 1 sampai detik ke 3, hal ini disebabkan oleh kecepatan superficial yang masuk melalui sisi masuk memerlukan waktu untuk mensuspensi bed material yang terdapat dalam bed. Karakterisitik diameter gelembung yang diperlihatkan dalam kontur t=3 lebih kecil dibandingkan dengan t=1 dan t=2 namun memiliki tinggi hamparan yang lebih tinggi. Pada t=1 fluidisasi yang terjadi lebih didominan oleh gas, pada t=2 gelembung fluidisasi lebih kecil dari t=1, beberapa didominasi dengan gas dan beberapa campuran gas dan partikel padat dan t=3 gelembung fluidisasi yang terjadi lebih didominasi oleh partikel padat terlihat dari kontur warna yang lebih didominasi warna kuning.



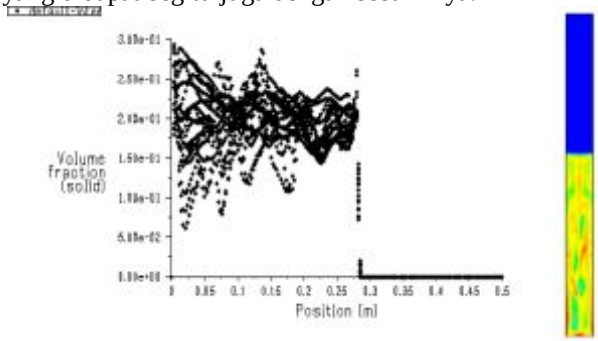
Gambar 4. Kontur Fraksi Volume pada kecepatan 0.15m/s detik ke 3 dengan diameter partikel 0.5, 0.6, 0.7mm

Gambar 4 memperlihatkan adanya fenomena lebih rendahnya tinggi hamparan pada diameter partikel yang lebih besar. Hal ini disebabkan oleh jumlah gelembung yang terbentuk pada diameter partikel yang lebih tinggi lebih sedikit dan memiliki diameter gelembung yang lebih besar. Hal ini didukung dengan rumus tinggi hamparan.

(7)

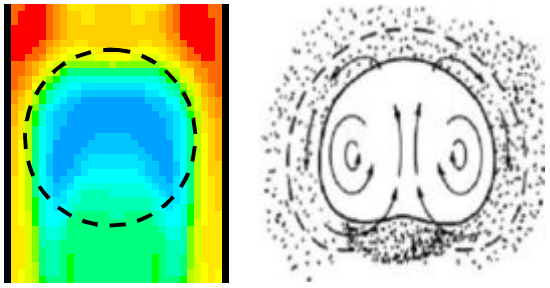
(8)

Dari rumus 7 di atas menunjukan peran dari diameter gelembung memiliki peran yang vital dalam tinggi hamparan yang terjadi. Semakin besar diameter partikel maka semakin rendah ketinggian hamparan yang didapat begitu juga dengan sebaliknya.



Gambar 5 Tinggi hamparan pada Kecepatan 0.15m/s dengan diameter 0.7mm detik yang ke 3

Pada gambar 5 menunjukan tinggi hamparan pada detik yang ke 3 yaitu sebesar 0.258m, dimana fraksi volume solid yang terbentuk lebih banyak pada ketinggian 0m sampai dengan 0.25m, menunjukan partikel padat lebih terkonsentrasi diantara ketinggian tersebut.



Gambar 6 (a) Gelembung fraksi ruang kosong pada kecepatan 0.15m/s dengan diameter 0.7mm, (b) *Clouded Bubble* (Kunii dan Levenspiel, 1991)

Clouded Bubble juga terbentuk pada salah satu kecepatan 0.15m/s dengan diameter partikel 0.7mm. Hal ini disebabkan oleh adanya ruang kosong pada saat gelembung fluidisasi terjadi dimana ada perputaran di dalam gelembung/ruang hampa pada material bed seperti yang diperlihatkan dalam gambar 6.

III. SIMPULAN

Dengan dilakukan simulasi fluidisasi dengan 3 kecepatan superfisial dan diameter partikel, didapatkan selain densiti, kecepatan fluidisasi dan diameter partikel hamparan memiliki pengaruh dalam pembentukan karakteristik gelembung fluidisasi yang terjadi. Semakin kecil ukuran diameter partikel maka semakin tinggi hamparannya (H) dan semakin banyaknya gelembung fluidisasi yang terbentuk.

DAFTAR PUSTAKA

[1.] Amit Kumar., 2008. *CFD Modeling of Gas-Liquid-Solid Fluidized Bed*. Department of Chemical Engineering National Institute of Technology Rourkela-769008,Orissa

[2.] A. Sahoo dan G. K. Roy. 2008. *Mixing Characteristics of Irregular Binaries in a Promoted Gas-Solid Fluidized Bed: A Mathematical Model* Canadian Journal of Chemical Engineering, 86 (1): 53-61

[3.] Badan Statistik Provinsi Bali. *Jumlah Hotel Non Bintang dan Berbintang*.[online] Tersedia dari: http//WWW.bali.bps.go.id,[diunduh 10 Februari 2012]

[4.] Basu Prabir, Fraser Scott A., 1991. *Circulating Fluidized Bed Boilers and Design and Operations*. Hainemann, USA

[5.] Chutima Dechsiri, 2004. *Particle Transport in Fluidized Beds Experiments and Stochastic Models*. Mathematics and Natural Sciences at the University of Groningen

[6.] Hong II Cho, dkk. 2000. *Axial Gas Dipersion in a Fluidized Bed of Polythylene Particles*. Korean J. Chem Eng. 17(3), 292-298

[7.] Kai Zhang, Jiyu Zhang, Biiang Zhang. 2001. *CFD Model of Dense Gas-solid Systems in Jetting Fluidized Beds.* Institute of Coal Chemistry, Chinese Academy of Sciences, P.O.Box 165, Taiyuan 030001, P. R . China

[8.] Kunii dan Levenspiel, 1991. *Fluidization Engineering*, Second Edition, Butterworth-Heinemann 313 Washington Street Newton, MA 02158-1626.

[9.] K. Savolainen dan R. Karvinen. *Particle Mixing in Gas-Solid Bubling Bed*. Department of Energy and Process Engineering Tampere University of Technology, Finland, Kai.Savolainen@tut.fi, +358 40 8490882

[10.] L.M. Armstrong, S. Gu dan K.H. Luo. 2010. *Study of Wall-to-Bed Heat Transfer In a Bubling Fluidized Bed Using the Kinetic Theory of Granular flow*. International Journal of Heat and Mass Transfer 53, 4949-4959

[11.] Mahdi Hamzehei, Hassan Rahimzadeh, Goodarz Ahmadi. 2010. *Studies Of Gas Velocity And Particles Size Effects On Fluidized Bed Hydrodinamics With CFD Modelling And Experimental Investigation*. Department of Mechanical Engineering Islamic Azad University Ahwaz Branch, Ahwaz, Iran

[12.] McCabe Warren L, Smith. Julian C., Harriot Peter. Alih Bahasa Jasfi E., 1987. *Operasi Teknik Kimia*, Edisi Keempat, Jilid 1. Penerbit: Erlangga, Jakarta

[13.] M.J.V. Goldschmidt, J.A.M. Kuipers, W.P.M. van Swaaij. 2000. *Hydrodynamic Modeling of dense gas-fluidised beds using the kinetic theory of granular flow: effect of coefficient of restitution on bed dynamics*. Accepted for presentation at ISCRE 16, September 10-13, 2000, Cracow, Poland and publication in Chem. Engng Sci.

[14.] P. Kosobucki, A. Chmarzyński, B. Buszewski. 2000. *Sewage Sludge Composting*. Polish Journal of Environmental Studies Vol. 9, No. 4, 243-248.

[15.] Putu Gede Raga Sedana, 2011. *Karakteristik Fluidisasi dan Perpindahan Panas Bahan Bakar Sewage Sludge Perhotelan*, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Progam Non Reguler, Universitas Udayana

[16.] S. Kallio, M. Gulden, A. Hermason., 2009. *Experimental study and CFD Simulation of a 2D Circulating Fluidized Bed*. Proceedings of the 20th International Conference on Fluidized Bed Combustion, hal. 818

[17.] S.M. Tasirin, S.K. Kamarudin dan A.M.A. Hweage. 2008. *Mixing Behavior of Binary Polymer Particles in Bubbling Fluidized Bed*. Journal of Physical Science, Vol. 19(1), 13–29

[18.] Willem Godlieb, Niels G. Deen dan J.A.M. Kuipers. 2007. *A Discrete Particle Simulation Study of Solids Mixing in a Pressurized Fluidized Bed.* ECI Conference on The 12th International Conference on Fluidization - New Horizons in Fluidization Engineering, Hal. 92