

PENGARUH MASSA JENIS PARTIKEL DAN KETINGGIAN PARTIKEL TERHADAP FENOMENA FLUIDISASI DALAM FLUIDIZED BED DENGAN MENGGUNAKAN CFD

Rosyida Permatasari, Feliks Handrianus, Christina Eni

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti
Jl. Kyai Tapa 1, Jakarta, Indonesia

Email: prosyida@gmail.com feliks.han@gmail.com enimesin@gmail.com

Abstrak -- Kecepatan minimum dan tekanan statis partikel merupakan fenomena yang penting dalam desain fluidized bed. Fenomena-fenomena tersebut dipengaruhi oleh banyak faktor dalam fluidized bed, diantaranya massa jenis dan tinggi partikel di dalam fluidized bed. Penelitian ini menggunakan beberapa massa jenis partikel dan rasio ketinggian partikel terhadap diameter fluidized bed (H/D) dengan menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD). Partikel yang digunakan adalah partikel jenis Geldart B yaitu glass beads ($\rho=2600 \text{ kg/m}^3$), ground walnut shell ($\rho=1200 \text{ kg/m}^3$) dan ground corn cob ($\rho=800 \text{ kg/m}^3$), sedangkan rasio ketinggian partikel yang digunakan yaitu 0,5; 1; 1,5; 2 dan 2,5. Hasil penelitian menunjukkan bahwa massa jenis partikel berbanding lurus dengan kecepatan minimum fluidisasi dan ketinggian partikel tidak mempengaruhi kecepatan minimum fluidisasi.

Kata kunci: Fluidisasi, kecepatan minimum, massa jenis partikel, ketinggian partikel, CFD

Abstract -- Minimum velocity and static pressure of the particles are important phenomenon in the design of fluidized bed. This phenomenon is influenced by many factors including particle density and particle height in the fluidized bed. This research uses different particle density and the ratio of the height of the particle and bed diameter of fluidized bed (H / D) using Computational Fluid Dynamics (CFD). The particles used are particles with a kind of Geldart B are glass beads ($\rho = 2600 \text{ kg / m}^3$), ground walnut shell ($\rho = 1200 \text{ kg / m}^3$) and ground corn cob ($\rho = 800 \text{ kg / m}^3$), while the ratio of height of the particles used 0.5; 1; 1.5; 2 and 2.5. . The results showed that the density of the particle is proportional to the minimum fluidization velocity but H/D ratios do not affect the minimum velocity of fluidization.

Keywords: Fluidization, minimum velocity, particle density, particle height, CFD

PENDAHULUAN

Penggunaan dari fluidized bed banyak ditemukan pada berbagai aplikasi industri termasuk industri mineral, kimia, minyak tanah, dan farmasi. Tetapi pengetahuan akan fenomena yang terjadi di dalam fluidized bed masih belum sepenuhnya dipahami (Escudero dan Heindel, 2011). Hasil yang optimal dari fluidized bed bergantung kepada parameter-parameter tertentu dari fluidized bed (Escudero dan Heindel, 2011). Diantaranya kecepatan minimum fluidisasi dari fluidized bed serta tekanan dari fluidized bed. Pada penelitian ini, akan ditunjukkan pengaruh dari massa jenis partikel serta ketinggian partikel di dalam bed terhadap kecepatan minimum fluidisasi.

Computational Fluid Dynamic (CFD) merupakan salah satu metode rekayasa yang digunakan untuk mengetahui parameter-parameter pada fluidized bed. CFD secara numerik membantu penggunaannya untuk mengamati pergerakan fluida pada suatu ruang

tertentu, salah satunya yaitu fluidized bed (Tripathy *et. al.*, 2016).

Pemodelan CFD yang digunakan pada penelitian ini yaitu Eulerian-Eulerian. Pemodelan Eulerian-Eulerian biasanya diaplikasikan ke pemodelan CFD pada sistem multifasa. Model Eulerian-Eulerian disebut juga dengan model aliran granular. Granular Flow Models (GFM) berbasis rangkaian kesatuan dan lebih sesuai untuk simulasi besar dan kompleks pada reaktor fluidized bed yang terdiri dari jutaan solid partikel.

Penelitian David Escudero dan Theodore J. Heindel menyatakan bahwa kecepatan minimum fluidisasi didapatkan dari tinggi bed untuk tiga jenis partikel yang diuji (*glass beads*, *ground walnut shell*, dan *ground corn cob*) dan *glass beads*, *ground walnut shell* dan *ground corn cob* memiliki massa jenis yang berbeda dan massa jenis tersebut berbanding lurus dengan kecepatan minimum fluidisasi. Pada percobaan ini *glass beads* yang memiliki massa jenis tertinggi memiliki kecepatan minimum tertinggi di

antara yang lainnya (Escudero dan Heindel, 2011).

Penelitian D. Geldart pada jurnal yang berjudul "The Effect of Particle Size and Size Distribution on the Behaviour of Gas-Fluidized beds" menyatakan bahwa untuk partikel berukuran diameter $40\mu\text{m} < d < 500\mu\text{m}$ dan massa jenis $1,4\text{g/cm}^3 < \rho < 4\text{g/cm}^3$, ukuran *bubble* (gelembung) bergantung kepada ukuran partikel dan distribusi ukuran partikel dan ukuran *bubble* (gelembung) pada chamber bergantung pada jarak antara distributor udara (Geldart, 1972).

Kecepatan minimum fluidisasi (V_0) adalah kecepatan superficial fluida minimum dimana fluidisasi mulai terjadi (Satrio, 2008). Kecepatan minimum fluidisasi dapat dihitung dari persamaan untuk partikel bulat yaitu (Gidaspow, 1994):

$$\frac{1.75 \left(\frac{d_s U_{mf} \rho_g}{\mu_g} \right)^2}{\epsilon_{s,max}^3} + \frac{150(1-\epsilon_{mf}) \left(\frac{d_s U_{mf} \rho_g}{\mu_g} \right)}{\epsilon_{s,max}^3} \quad (1)$$

$$= \frac{d_s^3 \rho_g (\rho_s - \rho_g) g}{\mu_g^2} \quad (2)$$

$$\frac{150\mu(1-\epsilon_M) dp pg}{\Phi s^2 dp^2 \epsilon_M^3} U_M + \frac{1}{\epsilon_M^3} \frac{1.75 dp pg}{\Phi s Dp} V_{oM} = g(\rho_p - \rho) \quad (2)$$

METODOLOGI PENELITIAN

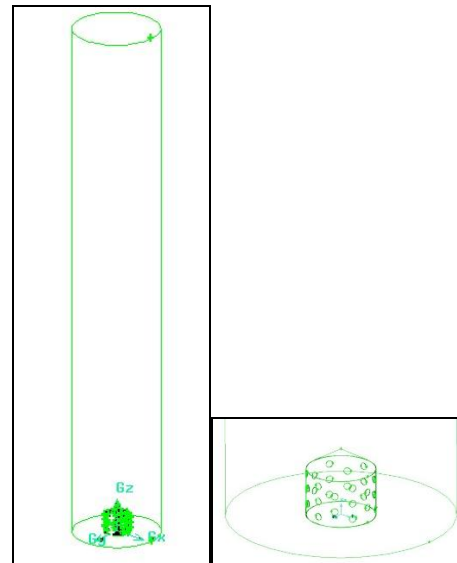
Penelitian ini menggunakan ANSYS FLUENT sebagai software untuk menganalisa dinamika fluida dan GAMBIT sebagai software untuk membangun geometri dari *fluidized bed*.

Dimensi dari fluidized bed yang digunakan, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 1, memiliki tinggi chamber 2 m, diameter chamber sebesar 164 mm, tinggi distributor udara 10 cm, diameter distributor udara 50 mm dan besar pori distributor udara 5 mm berjumlah 30 buah dengan masing-masing 6 buah pori pada setiap baris.

Partikel yang digunakan berjenis geldart B diperlihatkan pada Tabel 1, yaitu *glass beads*, *ground walnut shell* dan *ground corncob* dengan massa jenis masing-masing 2600, 1200 dan 800 kg/m^3 secara berurutan (Escudero dan Heindel, 2011), sedangkan ketinggian partikel yaitu dengan menggunakan rasio antara ketinggian partikel terhadap diameter sebesar H/D 0.5, 1, 1.5, 2, dan 2.5 dari dasar bed. Ukuran diameter partikel yang akan digunakan sama yaitu 500 μm .

Tabel 1. Partikel Fluidized Bed

Jenis partikel	Tipe partikel	Massa jenis partikel (kg/m^3)
<i>Glass beads</i>	Geldart B	2600
<i>Ground walnut shell</i>	Geldart B	1200
<i>Ground corncob</i>	Geldart B	800



Gambar 1. Geometri Fluidized Bed

Tabel 2 memperlihatkan parameter-parameter yang digunakan dalam simulasi CFD (Cloete *et al.*, 2014).

Tabel 2. Parameter Penelitian

Simbol	Deskripsi	Nilai	Keterangan
ρ_g	Massa jenis gas	1.255 kg/m^3	Pada kondisi udara ambient
d_s	Diameter partikel	500-600 μm	Tiga ukuran partikel
e_{ss}	Koefisien restitusi	0.9	Nilai tetapan
$\epsilon_{s,max}$	Fraksi volum padatan maksimum	0.61	Syamlal et al.
ϕ	Sudut gesekan internal	25°	Johnson dan Jackson
D_t	Diameter chamber	164 mm	Nilai tetapan
H_1	Tinggi chamber	2000 mm	Nilai tetapan
H_0	Tinggi awal partikel pada bed	82, 164, 246, 328, 410 mm	Nilai tetapan
U_g	Kecepatan awal gas	1 m/s	
	Kondisi batas masuk	Kecepatan	
	Kondisi batas keluar	Aliran keluar	
Δ_t	Langkah waktu	0.01 s	Ditentukan
	Maksimal perulangan	20	Ditentukan
	Kriteria konvergensi	10^{-3}	Ditentukan

DISKUSI DAN ANALISA

Massa jenis partikel merupakan salah satu faktor yang berpengaruh dalam fluidisasi. Penelitian ini menggunakan tiga buah partikel sebagai variabel untuk menentukan pengaruh

dari massa jenis pada *fluidized bed* yaitu *glass beads*, *ground walnut shell*, dan *ground corncob*.

Kecepatan minimum fluidisasi tercapai ketika tekanan dari *fluidized bed* cenderung stabil. Puncak titik dari tekanan yang labil menuju ke stabil dikatakan sebagai kecepatan minimum fluidisasi (Gidaspow, 1994). Persamaan teoritis dari hubungan massa jenis dengan kecepatan minimum fluidisasi dapat dilihat pada Persamaan (1).

Pada Tabel 3, *ground corncob* sebagai partikel yang memiliki massa jenis terkecil selalu memiliki kecepatan minimum fluidisasi yang terendah dibandingkan partikel lainnya yang bermassa jenis lebih besar. Sedangkan *glass beads* yang memiliki massa jenis terbesar diantara lainnya memiliki kecepatan minimum fluidisasi terbesar diantara yang lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa massa jenis dari partikel berbanding lurus terhadap kecepatan minimum fluidisasi (U_{mf}). Pernyataan ini serupa dengan persamaan yang dikemukakan oleh Sabri Ergun (Gidaspow, 1994) pada Persamaan (2). Hasil pada Tabel 1 yang dituangkan pada Gambar 2 terlihat bahwa rasio ketinggian partikel dengan diameter *fluidized bed* (H/D) tidak mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kecepatan minimum fluidisasi.

Gambar 3 sampai dengan 5 menunjukkan kondisi dari *fluidized bed* pada detik 1-5 dengan time step sebesar 0,01s. Kondisi dari gambar dipisahkan dan dibedakan berdasarkan fraksi volum dari masing-masing partikel. Sampel gambar diambil pada ketinggian partikel 164mm.

Glass beads pada Gambar 3 yang memiliki massa jenis terbesar menunjukkan bahwa pada

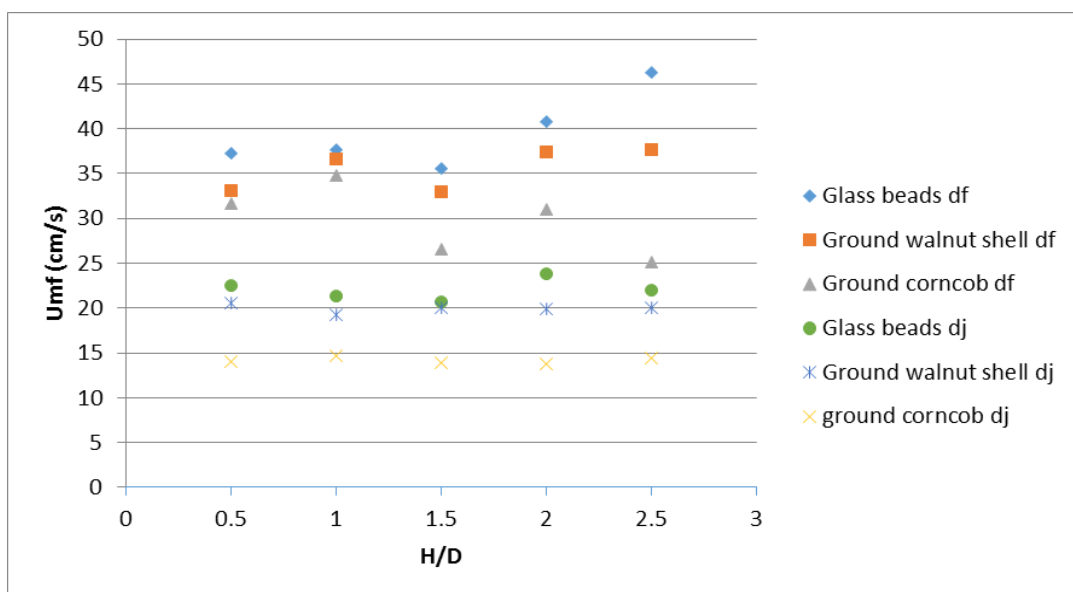
detik ke-3, partikel partikel *glass beads* sudah terekspansi ke atas. Fenomena pada detik ke-3 ini disebut dengan fenomena incipient fluidization dimana keadaan tersebut tercapai kecepatan minimum fluidisasi.

Tabel 3. Kecepatan Minimum Fluidisasi

Material	H/D	U_{mf} (m/s)	U_{mf} (cm/s) df*	U_{mf} (cm/s) dj*
<i>Glass beads</i>	0.5	0.372256	37.2256	22.5
	1	0.3767	37.67	21.3
	1.5	0.356	35.6	20.7
	2	0.408	40.8	23.8
	2.5	0.462801	46.2801	22
<i>Ground walnut shell</i>	0.5	0.3315	33.15	20.6
	1	0.348378	36.6852	19.2
	1.5	0.329905	32.9905	20.1
	2	0.3735	37.35	19.9
	2.5	0.376393	37.6393	20.1
<i>Ground corncob</i>	0.5	0.316837	31.6837	14
	1	0.366852	34.8378	14.7
	1.5	0.265804	26.5804	13.9
	2	0.309529	30.9529	13.8
	2.5	0.251415	25.1415	14.4

Sedangkan pada Gambar 4 fenomena incipient fluidization tercapai pada detik ke-4, dimana sudah ada partikel dari *ground walnut shell* yang sudah terekspansi ke atas. Pada detik ke-5 menunjukkan bahwa partikel sudah terekspansi ke atas dengan baik.

Sedangkan pada Gambar 5, pada detik ke-3 dan ke-4 partikel *ground corncob* belum terfluidisasi. Barulah pada detik ke-5 partikel baru mulai sedikit terekspansi ke atas atau mencapai kecepatan minimum fluidisasinya.



Gambar 2. Fungsi Ketinggian Partikel terhadap Kecepatan Minimum Fluidisasi

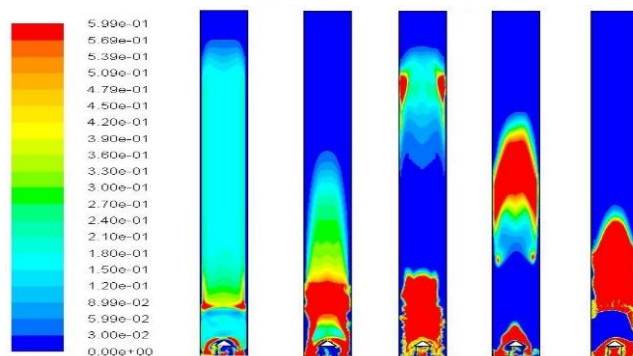
Dari analisa Gambar 3 sampai dengan Gambar 5 yang memiliki massa jenis yang berbeda-beda pada setiap partikel *fluidized bed*, *glass beads* pada Gambar 3 yang memiliki massa jenis terbesar ($\rho=2600 \text{ kg/m}^3$) merupakan partikel yang paling cepat terfluidisasi dibandingkan dengan partikel lainnya.

Berikutnya diikuti oleh *ground walnut shell* ($\rho=1200 \text{ kg/m}^3$) yang memiliki massa jenis diantara *glass beads* dan *ground corncob*. *Ground corncob* ($\rho=800 \text{ kg/m}^3$) yang memiliki massa jenis terendah diantara lainnya, memiliki waktu fluidisasi yang paling panjang diantara

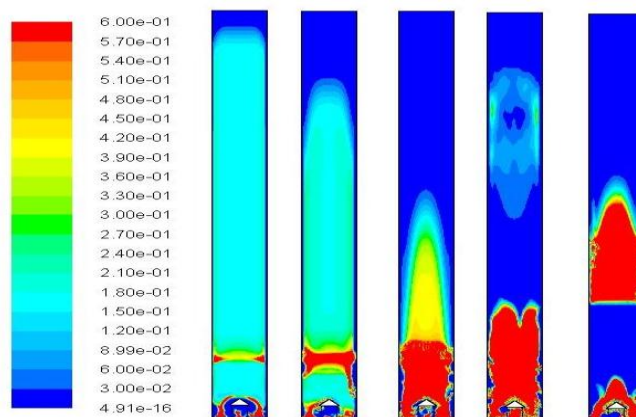
partikel lainnya yang memiliki massa jenis diatasnya.

Hal ini berkaitan dengan kecepatan minimum fluidisasi dari partikel terhadap massa jenis, dimana partikel dengan massa jenis tertinggi yaitu *glass beads* memiliki kecepatan minimum fluidisasi tertinggi.

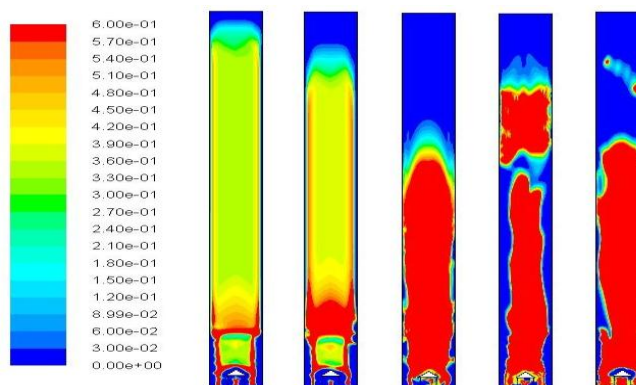
Sehingga partikel *glass beads* mempunyai waktu fluidisasi yang lebih singkat dibandingkan dengan yang lainnya. Waktu terlama oleh *ground corncob* disebabkan oleh kecepatan minimum fluidisasinya yang kecil.



Gambar 3. Kontur *Glass beads* (1-5 detik)



Gambar 4. Kontur *ground walnut* (1-5 detik)



Gambar 5. Kontur *ground corncob* (1-5 detik)

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *glass beads* yang memiliki massa jenis yang besar memiliki kecepatan minimum fluidisasi terbesar diantara yang lainnya. *Ground corncob* yang memiliki massa jenis yang terendah memiliki kecepatan minimum fluidisasi terendah pada setiap ketinggian masing-masing.

Selain itu, *glass beads* yang memiliki massa jenis partikel terbesar menunjukkan waktu fluidisasi tercepat diantara lainnya diikuti oleh *ground walnut shell* dan *ground corncob* secara berurutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Cloete, Schalk., Johansen, Stein Tore., Amini, Shahriar. *Grid independence behaviour of fluidized bed reactor simulations using the Two Fluid Model: Effect of particle size*. NTNU Department of Energy and Process Technology, Trondheim, Norway. 2014.
- Escudero, D., & J. Heindel, T. Bed Height and Partikel Density Effects on Fluidized bed Hydrodynamic. *Chemical Engineering Science*. 2011; 66: 3648-3655. <http://dx.doi.org/j.ces.2011.04.036>
- Geldart, D. The Effect of Particle Size and Size Distribution on the Behavior of Gas-Fluidized beds. *Powder Technology*. 1972; 6 (4): 201-215. [http://dx.doi.org/10.1016/0032-5910\(72\)83014-6](http://dx.doi.org/10.1016/0032-5910(72)83014-6)
- Gidaspow, Dimitri. *Multiphase Flow and Fluidization*. Chicago: Academic Press Inc. 1994.
- Satrio, Agus M. *Fluidisasi*. Modul Operasi Laboratorium Teknik Kimia. Cilegon: Universitas Sultan Ageng. 2008.
- Tripathy, A., Bagchi, S., Biswal, S.K. and Meikap, B. C. Study of particle hydrodynamics and misplacement in liquid-solid fluidized bed separator. *Chemical Engineering Research and Design*. 2017; 117: 520-532. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cherd.2016.11.009>