

Studi Numerik Karakterisasi Aliran 3 Dimensi Multifase (Gas-Solid) pada *Gravity settling chamber* dengan Variasi Kecepatan *Inlet* dan Diameter Partikel pada Aliran *Dilute Phase*

Adi Mochammad Isa'i dan Wawan Aries Widodo

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: wawanaries@me. its. ac. id

Abstrak—Kegiatan pemilahan pada aktivitas produksi merupakan salah satu kegiatan yang banyak dilakukan pada dunia industri. Penggunaan *gravity settling chamber* merupakan teknologi pemilahan partikel yang paling sederhana dan murah. Maka dalam perancangan suatu *gravity settling chamber* perlu diketahui parameter yang mempengaruhi kinerja dari alat tersebut. Analisa karakteristik aliran pada *gravity settling chamber* dilakukan dengan metode simulasi numerik menggunakan persamaan Eularian-Lagrangian. Sebuah aliran multifase udara dan partikel abu terbang batu bara (*fly ash*) berdiameter 100 μm mengalir melalui sebuah *gravity settling chamber* dengan variasi diameter hidrolis saluran inlet sebesar 1/3 1/5 dan 1/7 kali dari diameter hidrolis ruang pengendap dengan laju kapasitas aliran yang sama. Selain divariasikan kecepatan inlet aliran, juga dilakukan variasi distribusi diameter dengan ukuran partikel kurang dari 50 μm , ukuran 50 -100 μm dan ukuran 100-200 μm . Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah semakin kecil ukuran diameter partikel maka akan efisiensi partikel yang ditangkap oleh *gravity settling chamber* semakin rendah. Ukuran partikel tidak berpengaruh terhadap posisi jatuh dari partikel tersebut. Semakin besar kecepatan inlet tidak memiliki hubungan dengan efisiensi penangkapan partikel. *Pressure drop* yang terjadi akan semakin besar sebanding dengan rasio perbandingan diameter hidrolis inlet dan ruang pengendapan, serta jumlah dan posisi *secondary flow* berperan signifikan pada efisiensi penangkapan partikel.

Kata Kunci—Aliran multifase gas-solid, *gravity settling chamber*, diameter partikel.

I. PENDAHULUAN

TEKNOLOGI pemilahan merupakan suatu kegiatan yang banyak dilakukan dalam dunia industri. Tujuan dari pemilahan ini pun bermacam-macam mulai dari dilakukan dalam rangka melakukan sortir suatu produk sebelum dikemas maupun dilepas ke lingkungan seperti pada perangkat pengendali polusi. Tipe alat pemisah debu dari gas (*gas – solid separator*) yang paling sederhana adalah tipe *gravity settling chamber*. *Gravity settling chamber* merupakan peralatan pemisah gas-solid dengan menggunakan gaya gravitasi sebagai mekanisme pemisahan utamanya. Setiap partikel atau titik massa memiliki kecepatan terminal yakni kecepatan dimana titik massa tersebut akan mencapai kondisi setimbang antara gaya gravitasi, gaya gesek udara dan gaya ke atas dari partikel tersebut. Pada tipe *gravity settling*

chamber kecepatan aliran gas dari boiler akan diturunkan hingga mencapai kecepatan terminalnya. Penurunan kecepatan tersebut terjadi akibat dari perubahan luas penampang aliran secara mendadak pada suatu ruang. Geometri ruang yang tepat akan mampu memisahkan partikel debu dari gas dengan lebih efektif dan efisien.

Aliran multi fase adalah aliran yang terjadi dimana lebih dari satu fase material yang mengalir. Aliran tersebut bisa terdiri dari campuran fase likuid-gas, gas-solid, likuid-solid maupun gabungan ketiga fase tersebut [1]. Aliran yang terdiri dari partikel berfase gas dan solid didalamnya memiliki tipe aliran yang berbeda. Aliran yang memiliki fase gas dan solid yang mengalir diklasifikasikan atas aliran bertipe *dense phase* dan *dilute phase*. Dalam penentuan dan pendefinisian tipe aliran tersebut masih terdapat beberapa penafsiran khususnya untuk pendefinisian tipe *dense phase*. Tapi secara umum penentuan tipe dari aliran gas-solid yang terjadi sebagai acuan dalam penentuan analisa aliran bersifat dilute, maka *solid loading ratio* (ϕ) pada persamaan (1) dari partikel yang terbawa fase gas terhadap massa fase gas tersebut haruslah kurang dari 15 [2].

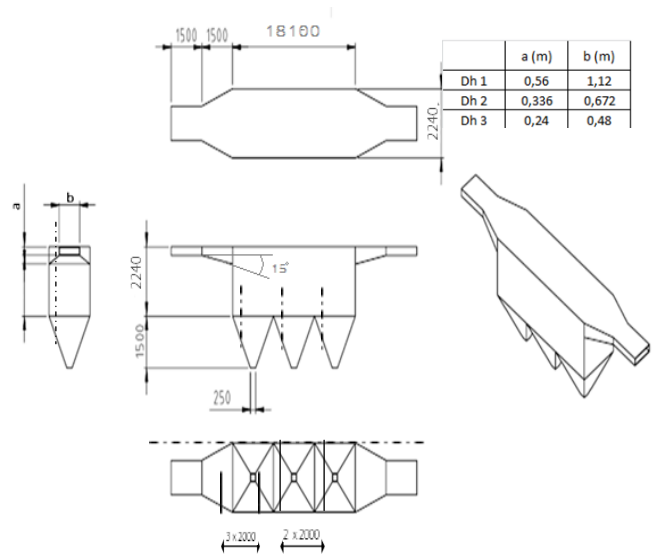
$$\phi = \frac{\dot{m}_p (\text{tons} / \text{jam})}{3,6 \dot{m}_a (\text{kg} / \text{s})} \quad (1)$$

aliran maka aliran tersebut bisa dikategorikan pada tipe *dense phase*.

Penelitian sebelumnya tentang *gravity settling chamber* dilakukan oleh Kolaitis dan Founti [3] melakukan penelitian terhadap *gravity settling chamber* secara numeric dengan memvariasikan distribusi partikel dan kecepatan *inlet* fase gas (besar kapasitas aliran berbeda). Dari penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa semakin kecil diameter partikel yang dipisahkan dan semakin besar kecepatan *inlet* aliran maka semakin kecil pula efisiensi penangkapan *gravity settling chamber*. Selain itu Ko [4] melakukan penelitian mengenai sudut *diffuser inlet* sebesar 5°, 9° dan 15° terhadap karakter aliran multiphase secara numerik. Dari variasi sudut yang dilakukan bahwasannya semakin kecil sudut partikel maka separasi aliran akan terjadi semakin awal. Kemudian Shaban [5] melakukan modifikasi saluran *inlet* dari *gravity settling chamber* dimana dari analisa numerik yang dilakukan menunjukkan bahwa menambah panjang saluran *inlet* maka efisiensi penangkapan partikel akan semakin meningkat.

II. METODE PENELITIAN

Gravity settling chamber dalam penelitian ini didesain untuk memisahkan partikel abu terbang (fly ash) berdiameter minimal 100 μm dengan densitas partikel sebesar 650 kg/m³. Pada penelitian dilakukan 2 variasi yaitu distribusi diameter partikel yang dipisahkan dan geometri saluran inlet pada kapasitas laju aliran yang sama sebesar 5 m³/s. Variasi diameter partikel (d_p) yang dipisahkan adalah sebesar kurang dari 50μm, 50-100 μm dan 100-200 μm. Sedangkan untuk variasi geometri saluran inlet dilakukan dengan acuan besar diametr hidrolis saluran inlet terhadap diameter hidrolis settling chamber (Dh) sebesar 1/3 Dh (Dh1), 1/5 Dh (Dh 2) dan 1/7 Dh (Dh 3). Secara keseluruhan desain yang dibuat dengan metode mengacu pada Theodore [6] ditunjukkan pada Gambar 1.



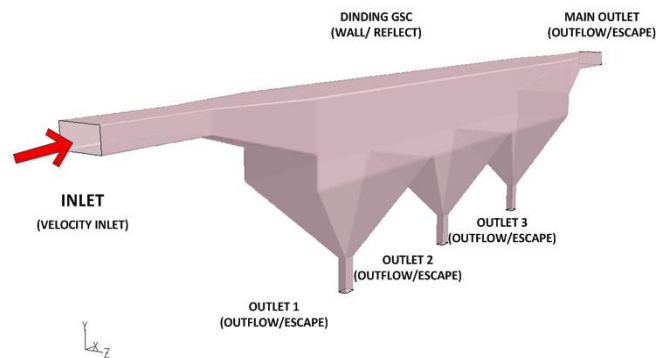
Gambar 1. Geometri gravity settling chamber.

A. Metode Numerik

Penelitian numerik dilakukan dengan menggunakan metode Computational Fluid Dynamics (CFD) dalam penyusunan model persamaan dan melakukan diskritisasi (meshing) pada geometri gravity settling chamber yang sudah dibuat. Prosedur yang dilakukan pada penelitian numerik terbagi menjadi dua tahap yaitu:

1. Pre-processing

Tahap pre-processing merupakan tahap permodelan geometri dan dimensi dari gravity settling chamber kemudian dilanjutkan dengan proses meshing dengan kerapatan mesh tidak homogen untuk mendapatkan nilai aspect ratio yang baik. Kondisi batas yang digunakan adalah inlet adalah velocity inlet. Kondisi batas semua outlet adalah outflow/escape, dan kondisi batas untuk dinding adalah wall /reflect seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Boundary conditions permodelan.

2. Processing

Tahap simulasi numerik dilakukan dengan persamaan Eularian-Lagrangian untuk menentukan trayektoori partikel dan model turbulensi Realizable k-ε. Dalam penelitian ini gaya-gaya lain selain gaya gravitasi diabaikan seperti gaya Shaffman dan gaya interaksi partikel yang lain. Sehingga persamaan yang digunakan adalah seperti pada persamaan (2).

$$\frac{du_p}{dt} = F_d(v - v_p) + \frac{g(\rho_p - \rho)}{\rho} \quad (2)$$

Simulasi diasumsikan dilakukan pada tekanan 1 atm dan pengaruh gravitasi ke arah sumbu y negatif sebesar 9,8 m/s². Proses pemberian nilai dari boundary condition yaitu pada daerah inlet dengan nilai kecepatan ditentukan seperti pada Tabel 1. Sedangkan outlet adalah outflow/escape yang diasumsikan langsung bersinggungan dengan kondisi atmosfer. Wall/reflect merupakan batasan semua dinding gravity settling chamber.

Pada Tabel 2 dijelaskan parameter partikel yang mengalir kedalam gravity settling chamber, dimana dengan menggunakan persamaan (1) didapatkan nilai solid loading ratio bernilai 6. Sehingga aliran bisa dianalisa sebagai dilute phase flow.

Tabel 1. Kecepatan inlet udara.

Parameter laju aliran inlet	Kecepatan (m/s)
Laju aliran udara 1 (Dh 1)	8
Laju aliran udara 2 (Dh 2)	20,4
Laju aliran udara 3 (Dh 3)	40

Tabel 2. Parameter aliran partikel solid.

Aliran Partikel		
Diameter	velocity (m/s)	mass flow rate (kg/s)
1-50 μm	5	30
50-100 μm	5	30
100-200 μm	5	30

Solusi yang digunakan dalam simulasi ini adalah second order upwind untuk momentum dan turbulence dan first order untuk tekanan, sedangkan SIMPLE coupling solution dipilih untuk simulasi ini. Langkah berikutnya adalah initialize yang merupakan perhitungan awal untuk memudahkan dalam mendapatkan hasil yang konvergen pada tahap iterasi dihitung dari inlet. Kriteria konvergensi ditetapkan sebesar 10⁻³, artinya

proses iterasi dinyatakan telah konvergen setelah residualnya mencapai harga lebih kecil daripada 10^{-3} atau besar *mass flux inlet* dan *outlet* kurang dari 10^{-3} .

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Performa Gravity settling chamber Terhadap Variasi Distribusi Partikel.

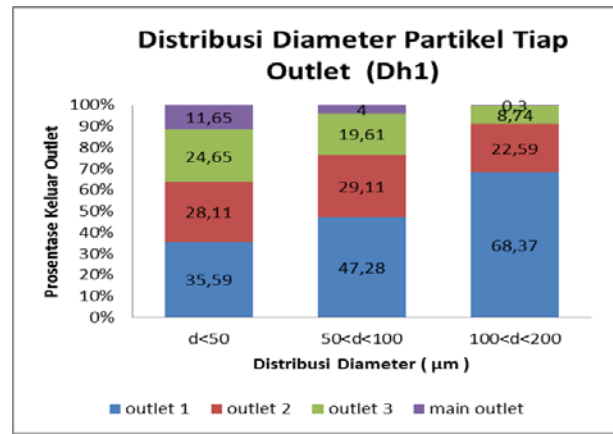
Dari jumlah partikel yang melewati masing- masing outlet beserta distribusi diameter yang melewatinya ditampilkan pada histogram pada Gambar 2. Pada Gambar 2 terlihat bahwa pada partikel dengan distribusi diameter antara 100-200 μm partikel paling banyak keluar melewati *outlet* 1 dan paling sedikit keluar melalui *main outlet*. hasil yang menunjukkan bahwa partikel dengan distribusi diameter tersebut telah lebih banyak jatuh ke ketiga penampung (*outlet*) dan sedikit sangat keluar melalui *main outlet* mengindikasikan efisiensi penangkapan partikel sangat baik yakni 99,7 %. Dari simulasi distribusi partikel *fly ash* berdiameter kurang dari 100 μm menunjukkan tren efisiensi penangkapan partikel menurun seiring bertambah kecilnya partikel yang dipisahkan.

B. Performa Gravity settling chamber Terhadap Variasi Diameter Hidrolis.

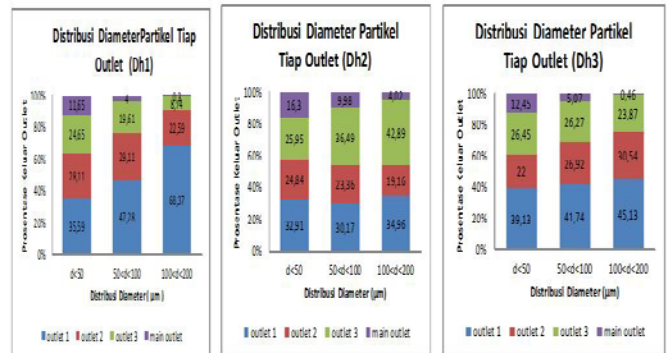
1. Variasi Diameter Hidrolis Terhadap Distribusi Partikel Yang Melewati Tiap Outlet.

Dengan kapasitas laju aliran yang sama, maka perbedaan ukuran geometri saluran *inlet* tersebut akan menyebabkan laju aliran pada masing-masing saluran *inlet* akan menjadi berbeda, sehingga variasi geometri saluran *inlet* ini merupakan juga variasi dari kecepatan *inlet* aliran fluida. Pada Gambar 4 ditampilkan data kuantitatif efisiensi penangkapan partikel dari tiap variasi saluran *inlet*.

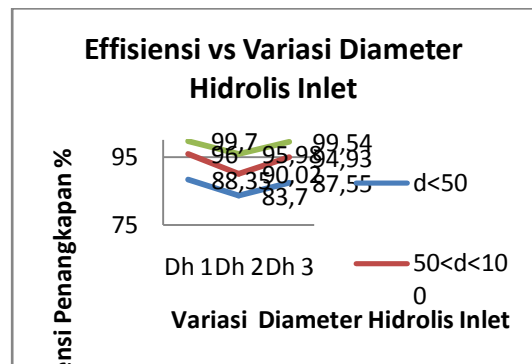
Pada Gambar 4 dari kesemua variasi diameter hidrolis saluran *inlet* mempunyai tren yang sama bahwa semakin besar ukuran diameter maka efisiensi penangkapan partikel akan semakin besar. Kesimpulan tersebut diketahui dari prosentase partikel yang melalui saluran *outlet* utama (*main outlet*). semakin kecil jumlah partikel yang melewati saluran *main outlet* maka semakin tinggi efisiensi penangkapan partikel oleh *gravity settling chamber*. Dari hasil pada Gambar 4 di atas dalam memisahkan partikel dengan ukuran lebih dari 100 μm , diameter hidrolis 1 memiliki efisiensi penangkapan sebesar 99,7 %, kemudian untuk diameter hidrolis 3 dan 2 masing-masing sebesar 96,98 % dan 99,54%. Pada variasi diameter hidrolis 2 terjadi fenomena semakin kecil diameter partikel tidak berhubungan lurus dengan posisi jatuh partikelnya. Fenomena tersebut dimungkinkan terjadi karena adanya *secondary flow* di dalam ruang pengendap dimana hubungan besar diameter partikel terhadap posisi jatuhnya tidak dapat diperoleh dari perhitungan analitis dengan persamaan yang ada. Dari fenomena ini dapat juga disimpulkan bahwa posisi jatuh dari partikel dengan diameter tertentu tidak dapat dipastikan dengan hanya dari perhitungan analitis biasa namun perlu dilakukan uji simulasi numerik maupun eksperimen.



Gambar. 3. Gravitik ditribusi diameter melalui tiap outlet.



Gambar. 4. Distribusi diameter partikel tiap variasi saluran inlet.

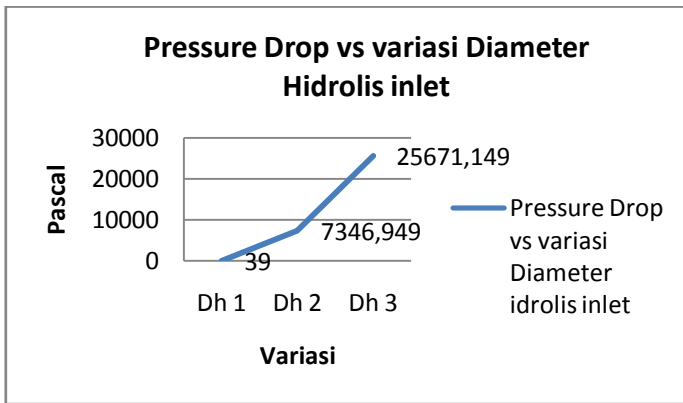


Gambar 5. Gravitik efisiensi penangkapan partikel tiap variasi diameter hidrolis.

2. Variasi Diameter Hidrolis Terhadap Performa Penangkapan Partikel Dan Penurunan Tekanan.

Proses penangkapan partikel pada ruang pengendap dilakukan perlambatan tiba-tiba pada gerakan partikel. Perlambatan tiba-tiba tersebut berpengaruh terhadap terjadinya *pressure drop* pada aliran.

Dari Gambar 5 didapatkan hasil bahwa efisiensi penangkapan terbesar diperoleh dari variasi diameter hidrolis 1 , kemudian diameter hidrolis 3 dan terakhir diameter hidrolis 2. Variasi diameter hidrolis yang dimaksudkan sebagai parameter variasi kecepatan pada kapasitas aliran gas-solid, menunjukkan hasil bahwa hubungan antara kecepatan *inlet* dengan efisiensi penangkapan tidak menunjukkan hubungan yang signifikan.

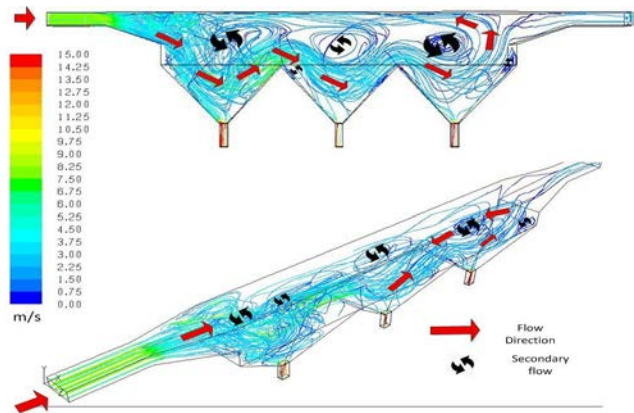


Gambar. 6. Grafikk penurunan tekanan pada tiap variasi.

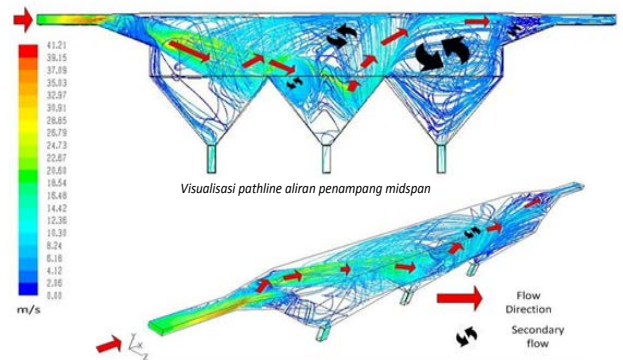
Menurut Kolaitis & Founti [2], terjadinya resirkulasi aliran (*secondary flow*) akan membantu dalam peningkatan penangkapan partikel pada *gravity settling chamber*. Semakin banyak *secondary flow* yang terbentuk akan memerangkap partikel hingga partikel tersebut kehilangan sejumlah energi kemudian partikel tersebut akan jatuh karena efek dari gaya gravitasi. Namun perlu diketahui juga semakin banyak terbentuk *secondary flow* pada suatu aliran akan meningkatkan *pressure drop*.

Pada Gambar 6 ditampilkan data kuantitatif besar penurunan tekanan pada masing-masing variasi diameter hidrolis *inlet*. Pada gravik yang ditampilkan pada Gambar 5 menunjukkan bahwa semakin kecil diameter hidrolis dari saluran *inlet* maka semakin besar penurunan tekanan yang terjadi. Dengan membandingkan hasil pada Gambar 5 dan 6 diperoleh fenomena bahwa peningkatan efisiensi penangkapan partikel tidak berbanding lurus dengan penurunan tekanan yang terjadi.

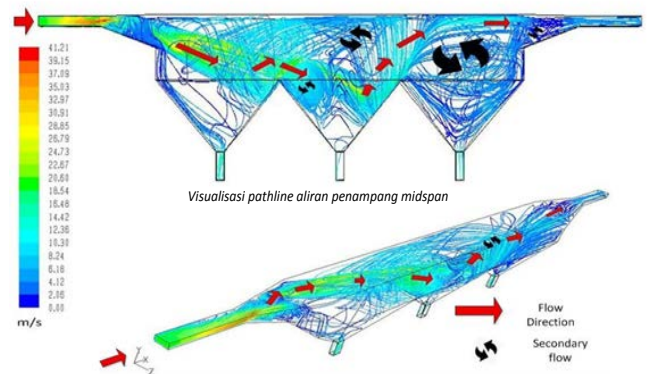
Adanya ketidaklinieran hubungan antara efisiensi penangkapan partikel dengan penurunan tekanan di jelaskan pada Gambar 7. Dari visualisasi aliran pada gambar 7 terlihat adanya perbedaan jumlah *secondary flow* pada tiap variasi diameter hidrolis. Dari penelitian Kolaitis & Founti [1] menyebutkan bahwa banyaknya *secondary flow* yang terbentuk akan menambah efisiensi partikel, tetapi dari visualisasi pada gambar 5, 6 dan 7 didapatkan bahwa meskipun *secondary flow* pada variasi diameter hidrolis 1 terlihat tidak sebanyak pada diameter hidrolis 2 dan 3 namun efisiensi penangkapan partikel paling tinggi. Kemudian pada diameter hidrolis 2 terlihat bahwa posisi dari *secondary flow* menyebabkan aliran seakan 'diantar' keluar *main outlet* sehingga menyebabkan efisiensi penangkapan partikel paling rendah. Dari penelitian ini dapat memberikan koreksi bahwa pernyataan hasil penelitian dari Kolaitis & Founti [3] perlu ditambah dengan pernyataan bahwasannya posisi dari *secondary flow* pada tiap daerah pada *gravity settling chamber* akan menentukan bentuk *streamline* aliran dimana konfigurasi titik *secondary flow* yang timbul akan menentukan apakah *streamline* aliran cenderung 'diantar' keluar menuju *main outlet* ataukah akan menyebabkan terjadinya *backflow* sehingga partikel akan terperangkap di dalam *gravity settling chamber* dan akibat penurunan energi yang dialami partikel, partikel akan jatuh ke dalam *hopper* karena efek gaya gravitasi sehingga efisiensi penangkapan partikel dapat lebih optimal.



(A)



(B)



(C)

Gambar 7. (A) Visualisasi *pathline* aliran pada variasi diameter hidrolis 1. (B) Visualisasi *pathline* aliran pada variasi diameter hidrolis 2. (C) Visualisasi *pathline* aliran pada variasi diameter hidrolis 3.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan pada penelitian variasi diameter partikel dan kecepatan *inlet* kepada unjuk kerja *gravity settling chamber* didapatkan kesimpulan bahwa semakin besar ukuran dari diameter partikel maka efisiensi penangkapan oleh *gravity settling chamber* akan semakin rendah. Posisi jatuh partikel dengan diameter tertentu tidak dapat ditentukan secara analitis namun harus dilakukan uji simulasi maupun eksperimen untuk mengetahui distribusi posisi jatuh partikel terhadap ukuran diameter partikel. Kecepatan *inlet* tidak berhubungan langsung terhadap efisiensi penangkapan partikel pada kapasitas aliran yang

sama. Semakin besar rasio penampang *inlet* dan *settling chamber* maka *pressure drop* akan semakin besar. Efisiensi penangkapan partikel di dalam *gravity settling chamber* selain dipengaruhi efek banyaknya *secondary flow* yang terjadi pada aliran juga dipengaruhi oleh posisi terjadinya *secondary flow*. Posisi *secondary flow* tersebut berpengaruh besar terhadap bentuk *streamline* aliran di dalam *gravity settling chamber*.

DAFTAR SIMBOL

ϕ	: <i>solids loading ratio</i>
\dot{m}_p	: Laju aliran massa partikel solid (ton/jam)
\dot{m}_a	: Laju alir massa fluida (kg/s)
F_d	: Gaya <i>drag</i> partikel (N)
g	: percepatan gravitasi (m/s^2)
v_t	: kecepatan terminal partikel (m/s)
d_p	: Diameter partikel (m)
ρ	: Densitas fluida (kg/m^3)
ρ_p	: Densitas partikel (kg/m^3)
A_p	: Luas proyeksi partikel (m^2)
m_p	: Massa partikel (kg)

v	: Kecepatan aliran fluida di dalam <i>gravity settling chamber</i> (m/s)
u_p	: Kecepatan Partikel (m/s)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Perry, Robert H and Green, Don w. 1999 "*Chemical Engineer's Handbook*". New York: Mc Graw Hill Inc.
- [2] Mills, David. 2004. "*Pneumatic Conveying Design Guide*". Oxford : Elsevier Butterworth-Heinemann
- [3] Dionysios I. Kolaitis, and Maria A. Founti. Modelling of gas-particle flow in industrial classification chambers for design optimization. *Powder Technology* 125 (2002) 298 – 305.
- [4] T. H, Ko. Numerical Study on three-dimensional isothermal solid-gas flow and deposition process in a deposition chamber. *International communications in heat and mass transfer* 33 (2006) 601-609.
- [5] S. Shaaban. Numerical Optimization and Experimental investigation of the aerodynamic performance of a three stage gas solid separator, *Chemical Engineering Research and Design* 89(2011) 29-38.
- [6] Theodore, Louis. 2008. "*Air Pollution Control Equipments and Calculations*". New York: John Willey & Sons, Inc.