

Submitted : 29 May

Revised : 5 June

Accepted : 19 June

ANALISA PENGARUH GEOMETRI TINGGI KONIS DAN DIAMETER HIDRAULIK ASH HOPPER TERHADAP KINERJA SIKLON PERSEGI MENGGUNAKAN METODA CFD (COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC)

Novi Sylvia^{1*}, Maryana², Elwina³, Yazid Bindar⁴

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh

²Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh

³Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Lhokseumawe

⁴Departemen sistem energi dan proses, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Bandung

*Email: nxsylvia@gmail.com

Abstrak

Artikel ini memaparkan hasil penelitian yang diperoleh melalui aplikasi dinamika fluida komputasi (*Computational Fluida Dynamic, CFD*) untuk mensimulasi medan alir di dalam siklon persegi. Perangkat lunak Gambit digunakan sebagai pre-processor untuk menggambar konfigurasi, diskritisasi, dan pendefinisian kondisi batas siklon. Panjang sisi siklon yang digunakan 0,2 m menyesuaikan dengan diameter siklon silinder Lapple, dengan kondisi operasi ditentukan pada laju alir gas sebesar $0,1\text{m}^3/\text{s}$ sementara beban partikel dalam laju alir gas sebesar $0,01\text{kg}/\text{m}^3$. Perangkat lunak CFD FLUENT 6.2.16 digunakan untuk simulasi medan alir dan dinamika partikel dalam siklon. Model turbulensi dalam katagori Reynolds Averaged Navier Stokes (RANS) yang diuji Reynolds Stress Model (RSM). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh geometri dengan bervariasi perbandingan tinggi konis L_c/a 1,75; 2,0; 2,25 dan perbandingan diameter hidraulik ash hopper B/a 0,1; 0,125; 0,15 pada siklon persegi terhadap kinerja siklon persegi. Kinerja siklon dikaji melalui efisiensi dan penurunan tekanan. Hasil penelitian ini diperoleh efisiensi tertinggi yaitu 90,35% dengan kecepatan alir umpan 20 m/s dan nilai kehilangan tekanan terendah (Pressure Drop) 13747,044 Pa dengan kecepatan alir umpan 5 m/s pada siklon persegi yang mempunyai perbandingan tinggi konis L_c/a 2,25 dan perbandingan diameter hidraulik ash hopper B/a 0,15

Kata Kunci: Dinamika Fluida Komputasi, Efisiensi, Geometri Siklon, Penurunan Tekanan, Siklon Persegi

Abstract

This article presents the results of research obtained through the application of computational fluid dynamics (Computational Fluid Dynamics, CFD) to simulate the flow field in the cyclone square. Gambit software was used as a pre-processor to draw configuration, discretization, and defining the boundary conditions cyclones. The cyclone side length of 0.2 m was used to adjust the diameter of the cylinder Lapple cyclone, with the operating conditions specified on the gas flow rate of $0,1\text{m}^3/\text{s}$ while the load of particles in a gas flow rate of $0,01\text{kg}/\text{m}^3$. 6.2.16 FLUENT CFD software was used for simulation of the flow field and particle dynamics in the cyclone. Model turbulence in the category of Reynolds averaged Navier Stokes (RANS) were tested Reynolds Stress Model (RSM). The purpose of this study was to determine the influence of geometry with a high conical vary the ratio L_c/a 1.75; 2.0; 2.25 and comparisons diameter hidraulik ash hopper B/a of 0.1; 0.125; 0.15 on the and performance cyclone square. Cyclone performance assessed through efficiency and pressure drop. The results of this study showed that the highest efficiency of 90.35% with a feed flow rate of 20 m/s and the lowest pressure loss value (Pressure Drop) 13747.044 Pa with a flow rate of feed 5 m/s on a square cyclones that had comparison high conical L_c/a 2.25 and ash hopper hydraulic diameter ratio B/a 0.15.

Keywords: Computational Fluid Dynamics, Efficiency, Cyclone Geometry, Pressure Drop, Square Cyclone.

1. PENDAHULUAN

Siklon merupakan salah satu peralatan yang paling umum digunakan untuk mengendalikan emisi debu dari aliran gas pada proses industri. Meskipun perkembangan rekayasa saat ini telah memungkinkan untuk mengaplikasikan siklon, misalnya sebagai pengering dan reaktor, namun aplikasi utama siklon tetap pada bidang pengendalian pencemaran udara di mana efisiensi yang tinggi diperlukan untuk memenuhi peraturan yang diterapkan. Dibandingkan dengan alat pengendali polusi udara yang lain, siklon lebih disukai karena kesederhanaan dari desainnya, tidak mahal, biaya pemeliharaan rendah, dan kemampuan beradaptasi untuk berbagai kondisi operasi seperti pada suhu dan tekanan tinggi. Meskipun siklon sering digunakan sebagai tempat akhir pengumpulan di mana partikel yang berukuran besar ingin dipisahkan, siklon juga umum digunakan sebagai pra-pembersih sebagai kolektor yang lebih efisien seperti elektrostatis presipitator, *scrubber* atau kain saringan (Swamee dkk, 2009).

Siklon memiliki empat bagian utama yaitu; pemasukan (inlet), badan siklon, sistem pengeluaran debu, dan outlet, yang kesemuanya mempengaruhi efisiensi siklon. Prinsip pemisahan siklon cukup sederhana yaitu aliran campuran gas-padatan diarahkan ke siklon melalui pemasukan di bagian atas. Badan siklon yang berbentuk silinder menyebabkan partikel berputar, sehingga mendorong partikel bertabrakan dengan dinding silinder. Gas terus menyusuri badan siklon hingga ke bagian kerucut, yang memiliki kecepatan rotasi gas yang cukup untuk membuat partikel tetap bertabrakan dengan dinding siklon. Di bagian bawah kerucut, gas merubah arah dari bawah ke atas. Pusaran yang naik memasuki tabung disebut *vortex finder* dan keluar dari siklon. Sementara itu, kumpulan partikulat jatuh ke dalam *hopper*, dimana secara berkala akan dipindahkan.

Siklon merupakan bagian terpenting pada alat *circulating fluidized bed* (CFB) yang memiliki efek yang besar terhadap efisiensi pembakaran, laju sirkulasi dan efisiensi desulfurisasi oleh sirkulasi partikel-padatan dalam furnace. Kinerja kerja siklon merupakan hal yang kritis pada keamanan boiler dan tingkat ekonomis. Susunan dan struktur siklon mempengaruhi susunan boiler secara keseluruhan (Roufi dkk, 2009).

Kinerja utama siklon dinilai dari efisiensi pengumpulan dan penurunan tekanan. Terlepas dari desain dan operasi yang sederhana, namun perilaku aliran dan dinamika partikel dalam siklon cukup rumit. Hal ini memerlukan model matematis yang efisien untuk memberikan prediksi yang akurat mengenai efisiensi dan penurunan tekanan di dalam siklon baik untuk tujuan desain maupun untuk kebutuhan operasi siklon. Banyak peneliti telah mengembangkan model-model semi-empiris untuk memprediksi efisiensi pengumpulan dan penurunan tekanan dalam siklon silinder. Dalam hal ini, Leith (1990) telah meringkas sejumlah model, termasuk yang dikembangkan oleh peneliti terdahulu. Stairmand (1951), Barth (1956), Lapple dan Shepherd

(1939), Lapple (1951), Leith dan Licht (1972). Model empiris dikembangkan berdasarkan data geometri siklon tertentu, seperti penelitian tentang analisa pengaruh tangensial *inlet* (Avci dan Karagoz, 2005), sementara Hsu dkk (2014) sudah melakukan eksperimen tentang peningkatan kinerja desain siklon Stairmand dengan menganalisa pengaruh tinggi konis, diameter konis dan siklon tanpa konis. Hasilnya menunjukkan bahwa proporsi tinggi konis ditingkatkan dari 60 mm menjadi 70 mm dan diameter konis dikecilkan dari 9 mm menjadi 4 mm dapat meningkatkan faktor kualitas dari siklon tersebut.

Meskipun mayoritas model empiris dikembangkan berdasarkan data eksperimen terhadap geometri siklon tertentu, kesalahan substansial antara prediksi dan data yang diukur dalam efisiensi siklon adalah bukti karena penggunaan asumsi yang berbeda terhadap kondisi geometri. Sebagai konsekuensinya, penggunaan model semi-empiris memiliki keterbatasan dalam memprediksi kinerja siklon. Karena itu, metode numerik diusulkan untuk pemodelan medan aliran dan dinamika partikel dalam siklon silinder untuk tujuan memprediksi efisiensi pengumpulan dan penurunan tekanan

Setelah kajian pertama simulasi siklon secara numerik oleh Boysan dkk (1982), mulai muncul sejumlah penelitian secara numerik menggunakan teknik dinamika fluida komputasi terhadap kinerja siklon. Gimbin dkk (2004) juga melakukan penelitian mengenai pengaruh dimensi, temperatur, densitas partikel, kecepatan masuk terhadap efisiensi pengumpulan siklon silinder. Roufi dkk (2008) melakukan simulasi dan optimasi vortex finder pada siklon konvensional menggunakan CFD.

Pada tahun 2009, Roufi dkk melakukan penelitian dengan mengkaji dua jenis siklon yang berbeda geometrinya secara CFD. Hasilnya menunjukkan bahwa perbandingan antara penurunan tekanan dari siklon persegi yang diperoleh dalam penelitian ini dengan persamaan empiris yang diberikan dalam literatur untuk siklon konvensional, menunjukkan bahwa penurunan tekanan dalam siklon persegi lebih kecil dari pada siklon konvensional. Shafikhani dkk (2011) melakukan penelitian terhadap siklon persegi dan siklon silinder secara numerik. Hasilnya menunjukkan bahwa penurunan tekanan berdasarkan peningkatan laju alir pada siklon persegi lebih kecil jika dibandingkan dengan siklon silinder. Sementara efisiensi berpengaruh terhadap laju alir. Semakin tinggi laju alir maka efisiensinya semakin tinggi. Hal ini berlaku pada kedua jenis siklon. Untuk itu siklon persegi bisa menjadi pilihan untuk laju alir yang tinggi.

Walaupun banyak usaha secara numerik dilakukan terhadap siklon konvensional namun kajian secara numerik pada siklon persegi masih sedikit. Untuk menjawab hal ini, penelitian ini memfokuskan kepada modifikasi badan siklon dari silinder menjadi bentuk persegi karna selama ini siklon yang banyak digunakan di industri berbentuk silinder. Secara umum tujuan penelitian ini mengkaji pengaruh parameter geometri terhadap kinerja siklon persegi

secara Dinamika komputasional Fluida ditinjau dari medan alir, efisiensi pengumpulan dan penurunan tekanan.

2. MODEL NUMERIK

Model Reynolds Stress (RSM) merupakan model turbulensi yang paling teliti, dalam katagori RANS. RSM memodelkan persamaan Navier-Stokes (Reynolds-average) dengan menyelesaikan persamaan perpindahan untuk tegangan Reynolds bersama-sama dengan persamaan laju disipasi. Karena RSM menghitung efek dari kurva garis alir, pusaran, putaran, dan perubahan tiba-tiba pada aliran dengan lebih teliti daripada model dengan satu dan dua persamaan, maka RSM dapat memberikan prediksi yang lebih akurat untuk aliran yang kompleks. Persamaan perpindahan untuk stress diturunkan dari persamaan Navier-Stokes, yang hasilnya ditunjukkan pada persamaan 1. Dari persamaan tersebut terlihat bahwa ada suku yang tidak dapat diselesaikan, sehingga harus dimodelkan. Informasi yang lebih rinci mengenai model ini dapat dirujuk kepada Launder dkk (1975).

Untuk aliran fluida yang stabil dan incompressible dalam siklon, berikut persamaan kontinuitas dan Reynolds-rata Navier-Stokes untuk aliran gas yang bekerja:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \tag{1}$$

$$\rho u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j^2} + \frac{\partial R_{ij}}{\partial x_j} \tag{2}$$

dimana $R_{ij} = -\rho u_i' u_j'$, adalah stres Reynolds, yang mewakilipengaruh fluktuasi turbulen pada aliran fluida. u dan P adalah kecepatan dan tekanan rata-rata. Subskrip, $i, j = 1, 2, \text{ dan } 3$, menunjukkan komponen dalam sistem koordinat Cartesian. Aliran padatan-gas pada siklon adalah aliran berputar yang sangat kuat dan dapat disimulasikan secara numeric dengan Reynolds Stres Model (RSM) yang dianggap sesuai sebagai model turbulen untuk simulasi aliran siklon (Hoekstra dkk, 1999). Pada RSM, persamaan transportasi ditulis sebagai :

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \overline{u_i u_j}) + \frac{\partial}{\partial x_k} (\rho u_k \overline{u_i u_j}) = D_{ij} + P_{ij} + \Pi_{ij} + \varepsilon_{ij} + S \tag{3}$$

$$D_{ij} = -\frac{\partial}{\partial x_k} (\rho \overline{u_i u_j u_k} + \overline{p} u_j \delta_{ik} - \overline{p} u_j \delta_{jk} - \mu \frac{\partial}{\partial x_k} \overline{u_i u_j}) \tag{4}$$

dimana $D_{ij}, P_{ij}, \Pi_{ij}, \varepsilon_{ij}$ dan S didefinisikan oleh persamaan berikut

$$P_{ij} = -\rho \left[\overline{u_i u_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_k} + \overline{u_i u_k} \frac{\partial u_i}{\partial x_k} \right] \tag{5}$$

$$\Pi_{ij} = p \left(\frac{\partial \overline{u_i'}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u_j'}}{\partial x_i} \right) \tag{6}$$

$$\varepsilon_{ij} = -2\mu \frac{\partial \overline{u_i'}}{\partial x_k} \frac{\partial \overline{u_j'}}{\partial x_k} \tag{7}$$

Karena konsentrasi partikel padatan sangat kecil dalam siklon, interaksi antarpartikel diabaikan. Dengan tidak adanya difusi, gerakan masing-masingpartikel dapat langsung dihitung dengan menggunakan persamaan gerak, hanya mempertimbangkan *Drag force* hidrodinamik. Hal ini diasumsikan bahwa setiap partikel bulat dan tidak berputar, interaksi partikel dapat diabaikan dan partikel tidak mempengaruhi aliran fluida.

$$\rho_p \frac{d\overline{u_p}}{dt} = \frac{3}{4} \frac{\rho}{d_p} C_D |\overline{u} - \overline{u_p}| (\overline{u} - \overline{u_p}) \tag{8}$$

$$C_D = \begin{cases} \frac{24}{Re}, Re \leq 1 \\ \frac{24 (1+0.15Re^{0.687})}{Re}, 1 < Re \leq 1000 \\ 0.44, Re > 1000 \end{cases} \tag{9}$$

Salah satu karakterisasi partikel padatan dapat ditinjau dari distribusi ukuran partikel. Berbagai metoda digunakan untuk menyajikan distribusi ukuran partikel. Salah satunya adalah distribusi *Rosin-Rammler* seperti yang ditunjukkan persamaan 10.

$$R = e^{-\left(\frac{D}{D_n}\right)^n} \tag{10}$$

dimana: $R = \%$ partikel yang tertahan pada ukuran D , $D =$ ukuran partikel (mm), $D_n =$ diameter rata-rata, dan $n =$ konstanta distribusi ukuran. Sementara Trajektori partikel dihitung dengan persamaan 11.

$$\frac{dx}{dt} = u_p \tag{11}$$

3. KALKULASI NUMERIK

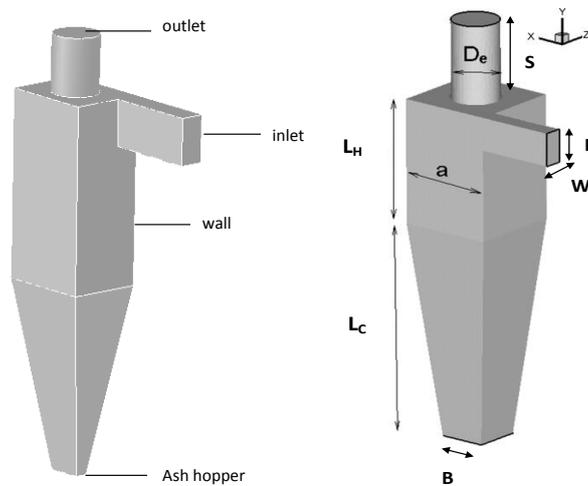
Persamaan-persamaan yang ditampilkan pada model-model turbulen di atas diselesaikan secara numerik menggunakan perangkat lunak CFD komersial FLUENT 6.2.16 (FLUENT Inc, 2005). Metoda volume kontrol digunakan untuk mendiskritisasi persamaan perpindahan. Algoritma SIMPLE digunakan untuk menyelesaikan gabungan tekanan-kecepatan dan skema interpolasi order satu dan order dua masing-masing digunakan untuk kalkulasi energi kinetik turbulen dan momentum. Aliran-aliran di dalam siklon dianggap berlangsung secara steady. Kalkulasi numerik dijalankan dengan akurasi 10^{-3} untuk parameter medan alir.

3.1 Domain Komputasi dan Kondisi Batas

Geometri dan kondisi batas siklon digambarkan menggunakan perangkat lunak Gambit. Dimensi geometri siklon yang dikaji merupakan model siklon persegi menyesuaikan dengan data siklon silinder

Lapple. Geometri siklon ditunjukkan pada gambar 1 beserta perbandingan geometrinya pada tabel 1.

Sementara data material yang digunakan tertera pada tabel 2 sesuai dengan data eksperimen Wang (2005).



Gambar 1. Geometri Siklon Persegi

Tabel 1. Geometri siklon yang digunakan ($a=0.2m$)

Parameters	Values
W/a	0.25
H/a	0.5
De/a	0.5
S/a	0.625
L_H/a	2.0
L_c/a	2.0
B/a	0.25

Tabel 2. Data Material yang digunakan

Parameters	Values
Temperatur aliran udara	25 °C
Min. diameter partikel	5 μm
Max. diameter partikel	200 μm
Spread parameter	0.806
Densitas Abu	3320 kg/m ³
Densitas Udara	1,225kg/m ³

3.2 Simulasi Siklon Dengan Perangkat Lunak FLUENT

Kalkulasi medan alir dilakukan menggunakan FLUENT 6.2.16 dengan menggunakan model turbulensi RSM. Semua konstanta menggunakan ketetapan (default) tanpa melakukan perubahan. Kalkulasi dilakukan menggunakan Laptop dengan RAM 2,00 GB yang memiliki kecepatan 2,13 Ghz. Lama perhitungan sangat tergantung pada model turbulensi yang digunakan tapi secara umum untuk setiap run berkisar antara 4 sampai 24 jam.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh geometri terhadap Efisiensi

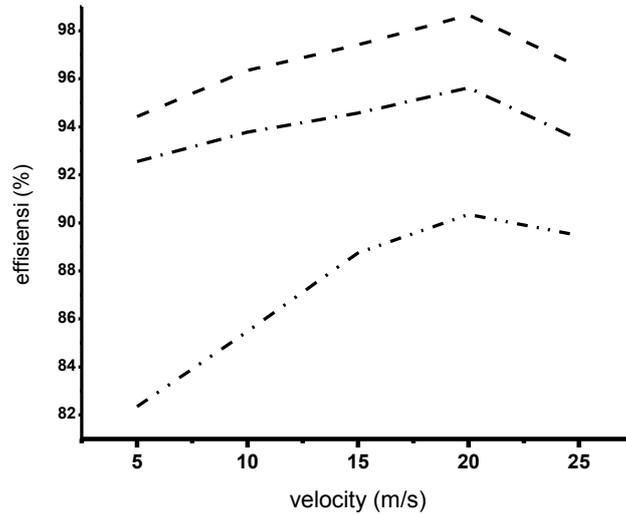
Geometri panjang konis L_c/a sangat berpengaruh terhadap efisiensi dan penurunan tekanan, seperti pada eksperimen Hsu dkk (2014) yang mengkaji

pengaruh konis. Hasilnya menunjukkan bahwa proporsi tinggi konis ditingkatkan dari 60 mm menjadi 70 mm dan diameter konis dikecilkan dari 9 mm menjadi 4 mm dapat meningkatkan faktor kualitas dari siklon tersebut. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2 penelitian ini.

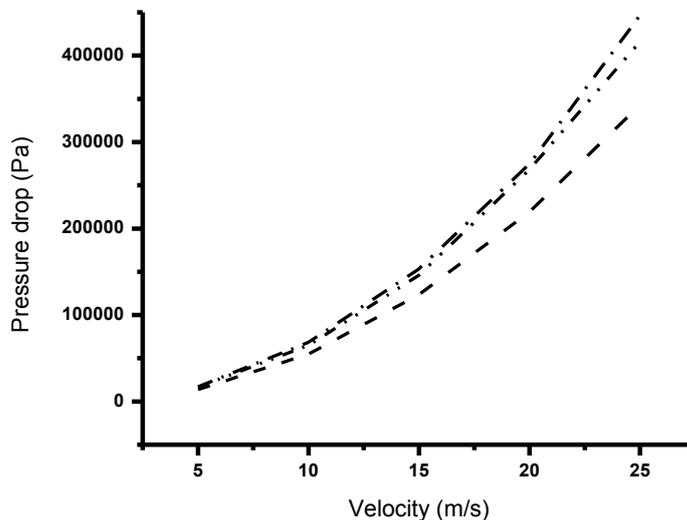
Perbedaan efisiensi yang didapat dari variasi tinggi konis dan diameter hidraulik ash hopper yang berbeda pada siklon persegi. Untuk perbandingan tinggi konis L_c/a 1,75 dan diameter hidraulik ash hopper B/a 0,1 diperoleh nilai efisiensi tertinggi pada kecepatan alir umpan masuk 20m/s yaitu 68,79%, dan nilai efisiensi terendah pada kecepatan alir umpan masuk 5m/s yaitu 63,64%. Untuk perbandingan tinggi konis L_c/a 2,0 dan diameter hidraulik ash hopper B/a 0,125 diperoleh nilai efisiensi tertinggi pada kecepatan alir umpan masuk 20m/s yaitu 80,34%, dan

nilai efisiensi terendah pada kecepatan alir umpan masuk 5m/s yaitu 71,24%. Dan untuk perbandingan tinggi konis L_c/a 2,25 dan diameter hidraulik ash hopper B/a 0,15 diperoleh nilai efisiensi tertinggi yaitu 90,35% pada kecepatan alir umpan masuk 20m/s, dan nilai efisiensi terendahnya 82,35% pada kecepatan alir umpan masuk 5m/s. Dari keseluruhan hasil di atas diperoleh efisiensi tertinggi yaitu 90,35%

pada siklon dengan perbandingan tinggi konis L_c/a 2,25 dan diameter hidraulik ash hopper B/a 0,15. Hal ini membuktikan dengan semakin tingginya konis partikel akan terlempar ke arah luar dan membentur dinding yang disebabkan oleh gaya sentrifugal dan gaya inersia sehingga partikel bergerak turun ke dasar siklon. Dan gas yang masuk bersama partikel akan balik dan bergerak ke atas dalam bentuk spiral.



Gambar 2. Prediksi efisiensi pada variasi tinggi konis siklon persegi (garis; -- L_c/a 2.25 B/a 0,15; - · - L_c/a 2.0 B/a 0,125; - - - L_c/a 1.75 B/a 0,1;)



Gambar 3. Prediksi Pressure Drop pada variasi tinggi konis siklon persegi (garis; -- L_c/a 2.25 B/a 0,15; - · - L_c/a 2.0 B/a 0,125; - - - L_c/a 1.75 B/a 0,1;)

4.2 Kehilangan Tekanan(*Pressure Drop*)

Kehilangan tekanan(*Pressure Drop*) merupakan parameter penting yang harus diperhatikan pada siklon. Semakin besarnya kehilangan tekanan yang terjadi pada siklon maka semakin besar energi yang dibutuhkan untuk siklon tersebut sehingga tidak efisien digunakan di dalam industri kalau ditinjau secara ekonomi. Hasil perhitungan untuk *pressure drop* dengan variasi tinggi konis dan diameter hidraulik ash hopper ditunjukkan pada gambar 3.

Perbedaan *pressure drop* yang didapat dari variasi tinggi konis dan diameter hidraulik ash hopper yang berbeda pada siklon persegi. *Pressure drop* yang terjadi pada siklon persegi juga akan semakin meningkat dengan meningkatnya kecepatan alir umpan masuk dan tekanan *statis* pada siklon persegi. Untuk perbandingan tinggi konis L_c/a 1.75 dan diameter ash hopper B/a 0,1 diperoleh nilai *pressure drop* terendah pada kecepatan alir umpan masuk 5m/s yaitu 16506,863 Pa, dan nilai *pressure drop* tertinggi pada kecepatan alir umpan masuk 25m/s yaitu 416152,11 Pa. Untuk perbandingan tinggi konis L_c/a 2,0 dan diameter hidraulik ash hopper B/a 0,125 diperoleh nilai *pressure drop* terendah pada kecepatan alir umpan masuk 5m/s yaitu 17106,266 Pa, dan nilai *pressure drop* tertinggi pada kecepatan alir umpan masuk 25m/s yaitu 446382,03 Pa. Dan untuk perbandingan tinggi konis L_c/a 2,25 dan diameter hidraulik ash hopper B/a 0,15 diperoleh nilai *pressure drop* terendah yaitu 13747,044 Pa pada kecepatan alir umpan masuk 5m/s, dan nilai *pressure drop* tertingginya 342871,21Pa pada kecepatan alir umpan masuk 25m/s. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan ukuran tinggi konis dan diameter hidraulik ash hopper mengakibatkan terjadinya perbedaan *pressure drop* yang diperoleh. Dari data keseluruhan yang diperoleh, nilai *pressure drop* yang terendah terdapat pada siklon dengan perbandingan ukuran tinggi konis L_c/a 2,25 yaitu 13747,044 Pa. *Pressure drop* yang terjadi pada siklon persegi juga akan semakin meningkat dengan meningkatnya kecepatan alir umpan masuk dan tekanan *statis* pada siklon persegi.

5. SIMPULAN

Dari penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan:

1. Efisiensi pengumpulan tertinggi diperoleh dari siklon persegi dengan perbandingan tinggi konis L_c/a 2.25 diameter hidraulik ash hopper B/a 0,15 yaitu 90,35% dengan kecepatan alir umpan 20m/s.
2. Kehilangan tekanan(*Preassure Drop*) terendah pada siklon persegi yaitu 13747,044 Pa dengan kecepatan alir umpan 5m/s yang terdapat pada siklon dengan perbandingan tinggi konis L_c/a 2.25 dan diameter hidraulik ash hopper B/a 0,15.
3. Tinggi konis dan diameter hidraulik ash hopper yang berbeda pada siklon persegi menyebabkan tinggi-rendahnya nilai efisiensi pengumpulan dan *pressure drop* yang diperoleh.

6. NOTASI

H	= tinggi inlet siklon (m)
W	= lebar inlet siklon (m)
B	= diameter outlet debu keluar (m)
a	= diameter badan siklon (m)
De	= diameter outlet gas (m)
L_h	= Tinggi badan silinder siklon (m)
L_c	= Tinggi konis (m)
S	= Panjang saluran outlet siklon (m)
CD	= drag coefficient
D_p	= diameter particle, m
D_{ij}	= tegangan difusi
P_{ij}	= produksi <i>shear</i>
P	= Pressure, Pa
ΔP	= total pressure drop, Pa
Re	= Reynolds number,
R_{ij}	= Reynolds stress
S	= source term
u, v, w	= kecepatan rata-rata komponen dalam arah
x, y, z, ms^{-1}	
u'	= Kecepatan fluktuasi, ms^{-1}
u_p	= kecepatan partikel rata-rata, ms^{-1}
\vec{u}_{in}	= kecepatan rata-rata inlet, ms^{-1}
\vec{u}	= gas velocity vector, ms^{-1}
\vec{u}_p	= vector kecepatan particle, ms^{-1}
x, y, z	= koordinates, m
μ	= viskositas dinamik fluida, $kg\ m^{-1}\ s^{-1}$
ρ	= gas density, $kg\ m^{-3}$
ρ_p	= densitas particle, $kg\ m^{-3}$
ε_{ij}	= <i>dissipation term</i>
δ	= <i>Kronecker factor</i>
ξ	= <i>friksifrication factor</i>
Π_{ij}	= <i>pressure-strain term</i>

7. DAFTAR PUSTAKA

- Avcı, A.; Karagoz, I., Modelling of the Pressure Drop in Tangential Inlet Cyclone Separators, *Aerosol Science and Technology*, 2005, 39, 857-865.
- Barth, W.; Design and layout of the cyclone separator on the basis of new investigations," *Brenn.Warme Kraft*, 1956, vol. 8, 1-9.
- Boysan, F.; Ayers, W.H.; Swithenbank, J.A., Fundamental mathematical modeling approach to cyclone design, *Trans IChemE*, 1982, 60, 222-230.
- Chia-Wei Hsu; Sheng-Hsiu Huang; Chih-Wei Lin; Ta-Chih Hsiao; Wen-Yinn Lin; Chih-Chieh Chen., An Experimental Study on Performance Improvement of the Stairmand Cyclone Design, *Aerosol and Air Quality Research*, 2014, 14, 1003-1016
- FLUENT 6.2.16, User's Guide. FLUENT Incorporated, 2005.
- Gimbun, J.; Choong, T.; Fakhurul-Razi, A.; Chuah, T.G., Prediction of the effect of dimension, particle density, temperature, and inlet velocity on cyclone collection efficiency, *Jurnal Teknologi*, 2004, 40, 37-50.
- Lapple, C.E., Process uses many collector types, *Chem.Eng*, 1951, 58, 144-151

- Lauder, B.E.; Reece, G.J.; Rodi, W., Progress in the development of a Reynolds stress turbulent closure, *J. Fluid Mech*, 1975, 68, 537-538.
- Leith, D.; Licht, W., The collection efficiency of cyclone type particle collectors, *AIChE Symp*, 1972, 68, 196-206.
- Leith, D., Cyclone performance and optimization. Technical Report, Department of Environmental Sciences and Engineering, University of North Carolina. Chapel Hill, USA, 1990.
- Raoufi, A.; Shams, M.; Farzaneh, M.; Ebrahimi, R., Numerical simulation and optimization of fluid flow in cyclone vortex finder, *Chemical Engineering and Processing*, 2008, 47, 128-137.
- Raoufi, A.; Shams, M.; Kanani, H., CFD analysis of flow field in square cyclones, *Powder Technology*, 2009, 191, 349-357.
- Shepherd, C.B.; Lapple, C.E., Air pollution control: a design approach. In: C.D Cooper, F.C. Alley (Eds.), *Cyclones*, second ed., Woveland Press Inc., Illinois, 1939, 127-139.
- Stairmand, The design and performance of cyclone separators, *Trans IChemE*, 1951, 29, 356-383.
- Swamee, P.K.; Aggarwal, N.; Bhobhiya, K., Optimum design of cyclone separator, *AIChE*, 2009, 55, 2279-2283.
- Wang, B.; Xu, D.L.; Xiao, G.X.; Yu, A.B., Numerical study of gas-solid flow in a Siklon, *Appl. Math. Model*, 2005, 30, 1326-1342.
- Safikhani, H.; Shams, M.; Dashti, S., Numerical simulation of square cyclones in small sizes, *Advanced Powder Technology*, 2011, 22, 359-365.