

Studi Numerik Pengaruh Variasi Jumlah Saluran Masuk Pressure Swirl Atomizer Terhadap Karakteristik Spray

Purnami

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jl. Mayjend Haryono No. 167, Malang, 65145, Indonesia
E-mail: purnami.ftub@ub.ac.id

Abstract

This research was conducted to determine the effect of inlet channel number on the spray characteristics of the pressure swirl atomizer using numerical methods. The observed spray characteristics were spray cone angle and discharge coefficient. Pressure swirl atomizer is a nozzle that can atomize fluid using vortex fluid in the mixing chamber, the magnitude of the vortex fluid is affected by the tangential velocity component of fluid at the nozzle inlet. Number of nozzle inlet was varied at 1, 2 and 4 channel. Total surface area of the inlet was kept constant of 1.76 mm² for all variation. The fluid used in this study were diesel and Reynolds number was varying at 2000, 2500, 3000, 3500 and 4000. The result show that with the increasing of inlet channel number at a fixed Reynolds number will generate spray with larger spray cone angle. This is due to tangential velocity component and swirling flow in mixing chamber increase with the increase of inlet channel number. This phenomena result higher spray cone angle. Discharge coefficient also increase with the increase of inlet channel number. This condition show that losses inside nozzle with 4 inlet channel number is smaller than that with less inlet channel number.

Keywords: Pressure swirl atomizer, Spray characteristics, Amount of inlet channel, Numerical method.

PENDAHULUAN

Penggunaan *pressure swirl atomizer* diantaranya pada bidang pengecatan *pressure swirl atomizer* digunakan untuk mengontrol laju aliran dan atomisasi, serta dapat menghasilkan variasi pelapisan (*coating*) yang berbeda. Atomisasi yang baik terjadi pada laju aliran yang rendah terutama untuk *finishing* permukaan. Pada bidang pembakaran *pressure swirl atomizer* digunakan untuk mengontrol laju bahan bakar menuju ruang bakar. Dalam hal ini diperlukan *atomizer* yang menghasilkan *droplet* yang berukuran kecil, serta terdistribusi merata dalam ruang bakar. Dari contoh aplikasi penggunaan *pressure swirl atomizer* diatas, dapat dipahami bahwa dalam aplikasi penggunaan *pressure swirl atomizer* pada alat-alat tersebut memerlukan karakteristik *spray* tertentu dari *pressure swirl atomizer*, diantaranya adalah sudut *spray* dan *discharge coefficient*.

Pressure swirl atomizer adalah salah satu jenis nosel yang memanfaatkan komponen tangensial dari kecepatan masuk

fluida dalam mengatomisasi fluida. Bagian-bagian inti dari *pressure swirl atomizer* meliputi saluran masuk fluida, *swirl chamber*, dan *orifice*. Saluran masuk fluida berfungsi untuk masuknya fluida ke dalam *swirl chamber*. Fluida masuk nosel mempunyai komponen kecepatan tangensial. Pada studi numerik kali ini akan digunakan nosel dengan saluran masuk berjumlah 1, 2 dan 4. *Swirl chamber* berfungsi sebagai tempat berpusarnya fluida. Pusaran fluida merupakan ciri khas dari *pressure swirl atomizer*. Pusaran fluida ini disebabkan oleh komponen kecepatan tangensial fluida. Semakin besar komponen kecepatan tangensialnya semakin besar pusaran yang terjadi. Jika pusaran ini cukup besar akan terbentuk *air core*. *Air core* adalah ruang kosong yang berisi udara yang terletak pada bagian tengah *swirl chamber*. *Orifice* berfungsi sebagai tempat keluarnya fluida dari *pressure swirl atomizer*.

Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh jumlah saluran masuk terhadap karakteristik *spray* pada *pressure swirl atomizer* dengan menggunakan metode

numerik. Simulasi dilakukan dengan menggunakan program Fluent yang terdapat dalam ANSYS 13 workbench, yang berbasis pada metode *finite volume method*.

Persamaan atur yang digunakan untuk mensimulasikan aliran fluida dalam nosel meliputi persamaan kontinuitas seperti pada Persamaan (1) dan persamaan momentum. Seperti pada Persamaan-persamaan (2), (3) dan (4) untuk masing-masing sumbu r, θ dan z.

$$\frac{1}{r} \frac{\partial r v_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \tag{1}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v_r}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial r}(v_r^2) + \frac{\partial}{\partial z}(v_z v_r) + \frac{v_r^2 - v_\theta^2}{r} = -\frac{\partial p}{\partial r} + \\ \frac{2}{Re} \frac{\partial}{\partial r} \left(\mu_{eff} \frac{\partial v_r}{\partial r} \right) + \frac{2}{Re} \frac{\mu_{eff}}{r} \left(\frac{\partial v_r}{\partial r} - \frac{v_r}{r} \right) + \\ \frac{1}{Re} \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \mu_{eff} \left(\frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{\partial v_r}{\partial z} \right) \right\} \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v_\theta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial r}(v_r v_\theta) + \frac{\partial}{\partial z}(v_z v_\theta) + \frac{2 v_r v_\theta}{r} = \\ \frac{1}{Re} \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left\{ r^2 \mu_{eff} \left(\frac{\partial v_\theta}{\partial r} + \frac{v_\theta}{z} \right) \right\} + \frac{1}{Re} \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_{eff} \frac{\partial v_\theta}{\partial z} \right) \end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v_z}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial r}(v_r v_z) + \frac{\partial}{\partial z}(v_z^2) + \frac{v_r v_z}{r} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \\ \frac{1}{Re} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left\{ r \mu_{eff} \left(\frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{\partial v_r}{\partial z} \right) \right\} + \frac{2}{Re} \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_{eff} \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) \end{aligned} \tag{4}$$

Dimana $p_1 = p + \frac{2}{3}(k)$, $\mu_{eff} = 1 + \mu_t$, $\mu_t = c_\mu Re k^2 / \varepsilon$. Energi kinetik turbulensi dapat dihitung menggunakan Persamaan (5).

$$\begin{aligned} \frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial r}(v_r k) + \frac{\partial}{\partial z}(v_z k) + \frac{v_r k}{r} = \\ \frac{1}{Re} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial r} \right) + \frac{1}{Re} \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial z} \right) + \\ \frac{1}{Re} \mu_t \left[2 \left(\left(\frac{\partial v_r}{\partial r} \right)^2 + \left(\frac{v_r}{r} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_z}{\partial z} \right)^2 \right) + \left(\frac{\partial v_\theta}{\partial r} \frac{v_\theta}{r} \right)^2 + \right. \\ \left. \left(\frac{\partial v_r}{\partial z} \frac{\partial v_z}{\partial r} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_\theta}{\partial z} \right)^2 \right] - \varepsilon \end{aligned} \tag{5}$$

Sedangkan disipasi kinetik turbulensi dapat dihitung menggunakan Persamaan (6).

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial r}(v_r \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial z}(v_z \varepsilon) + \frac{v_r \varepsilon}{r} = \frac{1}{Re} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial r} \right) + \\ \frac{1}{Re} \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) + \frac{1}{Re} c_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} \mu_t \left[2 \left(\left(\frac{\partial v_r}{\partial r} \right)^2 + \left(\frac{v_r}{r} \right)^2 + \right. \right. \end{aligned}$$

$$\left. \left(\frac{\partial v_z}{\partial z} \right)^2 \right) + \left(\frac{\partial v_\theta}{\partial r} \frac{v_\theta}{r} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_r}{\partial z} \frac{\partial v_z}{\partial r} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_\theta}{\partial z} \right)^2 \right] - c_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k} \tag{6}$$

Dengan Re = bilangan *Reynolds* pada sisi masuk nosel $c_\mu = 0,009$, $\sigma_k = 1,0$, $\sigma_\varepsilon = 1,3$, $c_{1\varepsilon} = 1,44$, $c_{2\varepsilon} = 1,92$

Persamaan atur tersebut diatas diselesaikan dengan kondisi batas yang sesuai. Jenis kondisi batas yang digunakan yang diterapkan pada saluran masuk, keluar dan dinding.

- Saluran masuk
 $V_r = 0$, $V_\theta = 4,4$, $V_z = 0$
- Saluran keluar
 $P_{out} = P_{ATM} = 0$
- Dinding
 $V_r = V_\theta = V_z = 0$

Karakteristik *spray* yang diamati adalah sudut *spray* dan *discharge coefficient*. Persamaan (7) digunakan untuk menghitung sudut *spray* dan *Discharge Coefficient* dapat dihitung menggunakan Persamaan (8).

$$\theta = 2 \cos^{-1} \left(\frac{V_z}{\sqrt{(V_z^2 + V_r^2 + V_\theta^2)}} \right) \tag{7}$$

Dengan:

$$\begin{aligned} V_z &= \frac{4Q}{\pi(d_o^2 - d_a^2)} \\ V_r &= \frac{\int_0^{r_o} r V_{ze} V_{re} dr}{\int_0^{r_o} r V_{ze} dr} \\ V_\theta &= \frac{\int_0^{r_o} r V_{ze} V_{\theta e} dr}{\int_0^{r_o} r V_{ze} dr} \end{aligned}$$

Dimana,

- θ = sudut *spray* (°)
- V = kecepatan fluida (m/s)
- Q = debit fluida (m³/s)
- d_o = diameter orifice (m)

$$C_d = \frac{Q}{A_o \left(\frac{2\Delta p}{\rho^l} \right)^{\frac{1}{2}}} \tag{7}$$

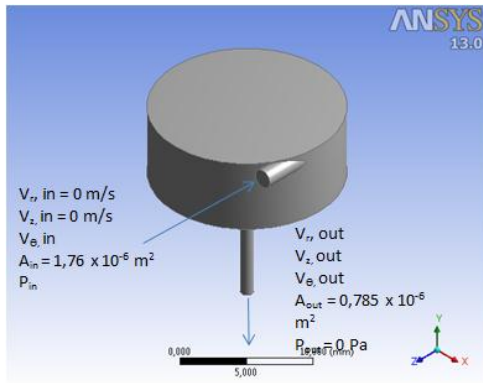
Dengan:

- Q = debit fluida (m³/s)

- A_0 = luas penampang *orifice* (m^2)
- p = Perbedaan tekanan fluida antara sisi masuk dan keluar nosel (N/m^2)
- ρ = Densitas fluida (kg/m^3)

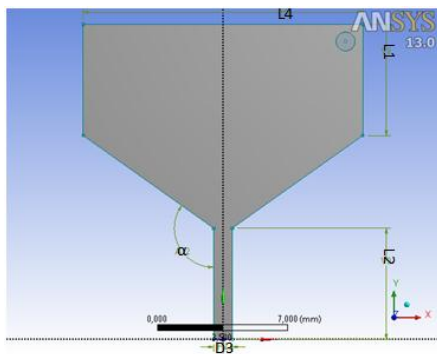
METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan menggunakan metode numerik. Dalam studi numerik kali ini yang disimulasikan adalah aliran fluida di dalam *pressure swirl atomizer* yang di tunjukkan pada gambar 1.



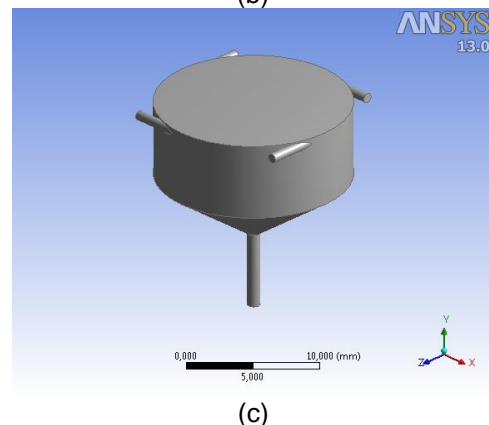
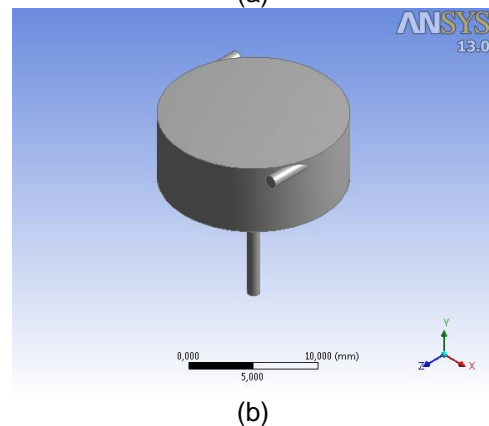
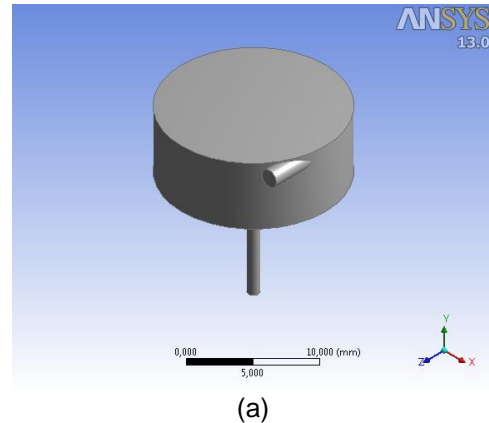
Gambar 1. Aliran fluida dalam *pressure swirl atomizer*

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah jumlah saluran masuk nosel. Jumlah saluran masuk divariasikan sebanyak 1, 2 dan 4 seperti ditunjukkan pada gambar 3. Sudut *spray* dan *discharge coefficient* sebagai variabel terikat. Sedangkan variabel kontrol yang digunakan adalah jumlah luas permukaan saluran masuk sebesar $1,76 \text{ mm}^2$ dan bilangan *Reynolds* fluida yang memasuki *swirl chamber* yaitu sebesar 2000, 2500, 3000, 3500 dan 4000.



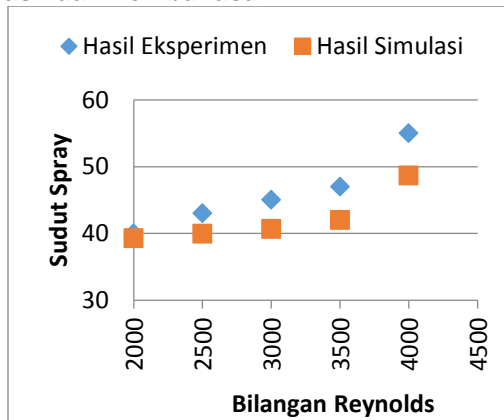
Gambar 2. Bagian *twin fluid atomizer*

Detail ukuran dan bagian-bagian *pressure swirl nozzle* ditunjukkan pada gambar 2. Fluida akan menuju *swirl chamber* melalui saluran masuk. *Swirl chamber* memiliki diameter L4 15 mm dan tinggi L1 6 mm dengan sudut α sebesar 36° . Fluida lalu akan mengalir menuju *orifice* dengan panjang L2 6 mm dan diameter L3 1 mm.



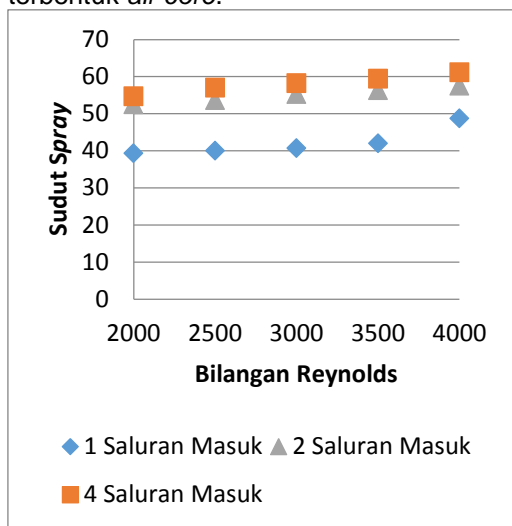
Gambar 3. Variasi nosel dengan jumlah saluran masuk (a) 1 saluran masuk (b) 2 saluran masuk (c) 4 saluran masuk

Hasil dan Pembahasan



Gambar 4. Validasi grafik hubungan antara sudut *spray* dengan bilangan *Reynolds*

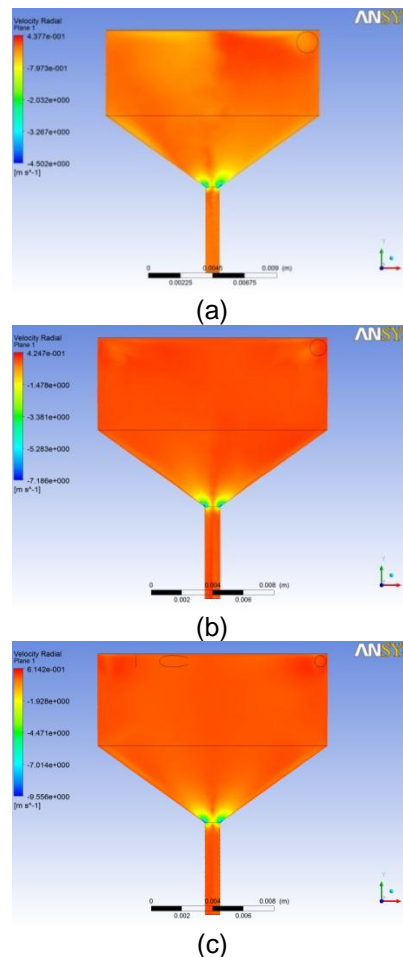
Gambar 4 diatas merupakan grafik hubungan antara sudut *spray* dengan bilangan *Reynolds* hasil eksperimen dan hasil simulasi yang digunakan untuk memvalidasi program. Galat yang ditentukan agar validasi diterima adalah 10%. Tren grafik dari hasil simulasi dengan hasil eksperimen sama. Namun besarnya *error* mulai dari bilangan *Reynolds* 2500 sampai 4000 semakin besar. Pada rentang bilangan *Reynolds* tersebut terbentuk *air core*.



Gambar 5. Grafik hubungan antara sudut *spray* dengan bilangan *Reynolds*

Gambar 5 merupakan grafik hubungan sudut *spray* dengan bilangan *Reynolds* hasil simulasi pada nosel dengan jumlah saluran masuk 1, 2 dan 4. Dari grafik diatas terlihat

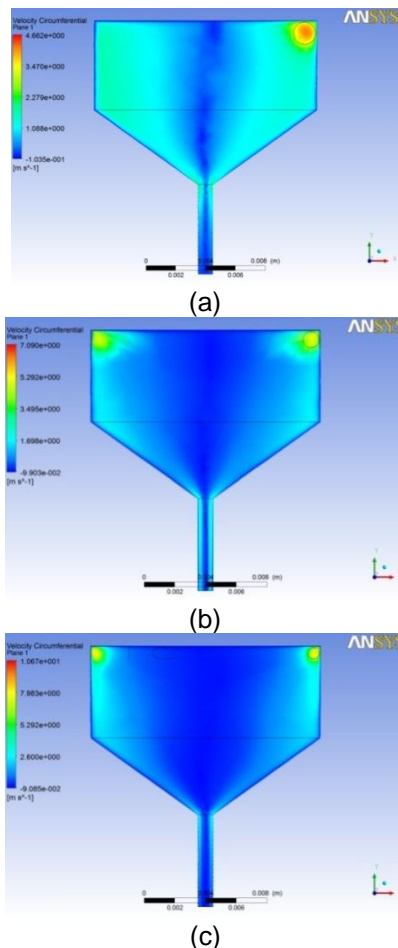
bahwa semakin banyak jumlah saluran masuk dengan bilangan *Reynolds* yang sama, sudut *spray* semakin besar. Hal ini dikarenakan dengan bilangan *Reynolds* yang sama dan jumlah saluran masuk yang semakin banyak mengakibatkan pusaran fluida pada *swirl chamber* akan semakin kuat. Kuatnya pusaran fluida mengakibatkan komponen kecepatan radial fluida keluar dari nosel semakin besar. Besarnya komponen kecepatan radial fluida keluar nosel akan mengakibatkan sudut *spray* semakin besar dengan semakin bertambahnya jumlah saluran masuk.



Gambar 6. Kontur komponen kecepatan radial pada $Re = 2000$ pada nosel dengan (a) 1 saluran masuk (b) 2 saluran masuk (c) 4 saluran masuk

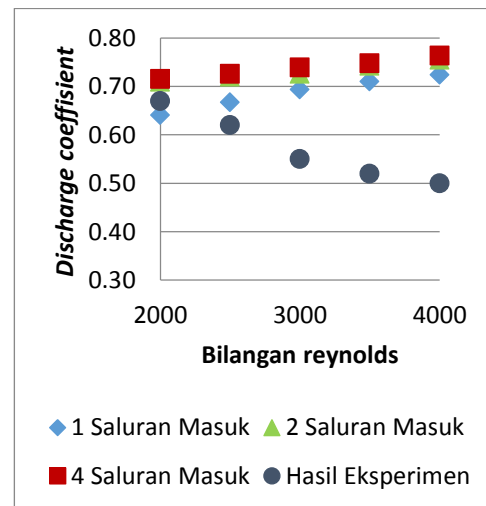
Gambar 6 diatas adalah gambar kontur komponen kecepatan radial. Dari gambar

diatas dapat dilihat dengan semakin bertambahnya jumlah saluran masuk maka komponen kecepatan radial akan semakin besar. Besarnya komponen kecepatan radial dikarenakan semakin banyak saluran masuk maka pusaran fluida pada *swirl chamber* akan semakin kuat. Kuatnya pusaran fluida akan mengakibatkan komponen kecepatan radial fluida keluar nosel semakin besar sehingga sudut *spray* yang terbentuk akan semakin besar dengan semakin bertambahnya saluran masuk fluida. Hal ini didukung dengan hasil simulasi pada gambar 6 diatas. Pada gambar (a) tampak warna dari kontur lebih terang dari gambar (b) dan (c). Disamping itu skala pada ketiga gambar semakin meningkat dengan bertambahnya jumlah saluran masuk.



Gambar 7. Kontur komponen kecepatan tangensial pada Re= 2000 pada nosel dengan (a) 1 saluran masuk (b) 2 saluran masuk (c) 4 saluran masuk

Gambar 7 diatas adalah gambar kontur komponen kecepatan tangensial. Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa pusaran fluida lebih besar pada variasi saluran masuk berjumlah 4. Warna biru di *swirl chamber* memiliki nilai minus. Tanda minus pada komponen kecepatan tangensial menunjukkan arah putaran berlawanan dengan arah jarum jam. Sedangkan tanda positif berarti searah dengan arah jarum jam. Kontur komponen kecepatan tangensial pada nosel dengan 1 saluran masuk menunjukkan besarnya kecepatan yang melawan arah jarum jam lebih besar dari pada variasi yang lain



Gambar 8. Grafik hubungan bilangan Reynolds dengan *discharge coefficient*

Gambar 8 merupakan grafik hubungan *discharge coefficient* terhadap bilangan *Reynolds* dengan variasi jumlah saluran masuk 1,2 dan 4. Semakin besar bilangan *Reynolds* dengan jumlah saluran masuk yang sama idealnya akan diperoleh besarnya *discharge coefficient* yang semakin kecil. Pada gambar diatas terlihat dengan semakin banyak saluran masuk maka nilai *discharge coefficient* semakin besar. Hal ini merupakan penyimpangan hasil simulasi bila dibandingkan dengan hasil eksperimen. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa semakin besar bilangan *Reynolds* maka *discharge coefficient* akan semakin kecil. Hal ini dikarenakan pada hasil eksperimen terdapat *air core* di *swirl chamber*. Sedangkan analisa numerik yang dilakukan tidak mensimulasikan *air core*. *Air core* adalah ruang kosong berisi

udara pada tengah-tengah *swirl chamber*. *Air core* akan mengakibatkan saluran keluar pada *orifice* sedikit tersumbat. Penyumbatan ini terjadi karena sebagian saluran *orifice* ditempati udara, sehingga saluran tempat fluida cair menjadi semakin kecil. Hal ini mengakibatkan *losses* menjadi besar dan *discharge coefficient* menjadi kecil.

Dari gambar diatas juga terlihat bahwa dengan semakin banyak jumlah saluran masuk harga *discharge coefficient* menjadi semakin kecil. Dari gambar 8 diatas tampak bahwa *discharge coefficient* pada nosel dengan saluran masuk berjumlah 4 memiliki *discharge coefficient* lebih besar dari pada jumlah saluran masuk yang lain. Jika dicermati menggunakan gambar 7 maka terlihat bahwa pada nosel dengan 4 saluran masuk, komponen kecepatan tangensial fluida dengan arah yang berlawanan memiliki besaran yang lebih kecil dari pada variasi yang lain. Hal ini akan mengakibatkan *losses* pada nosel dengan 4 saluran masuk menjadi lebih kecil sehingga *discharge coefficient* pada variasi ini menjadi besar. Jika dilihat pada nosel dengan 1 saluran masuk besarnya komponen kecepatan tangensial yang berlawanan lebih besar dari pada variasi yang lain. Hal ini akan mengakibatkan *losses* pada nosel ini menjadi lebih besar sehingga harga *discharge coefficient* pada nosel dengan 1 saluran masuk akan lebih kecil dari pada nosel dengan 4 saluran masuk. Untuk nosel dengan 2 saluran masuk, besarnya komponen tangensial yang berlawanan hampir sama dengan nosel dengan 4 saluran masuk namun memiliki harga yang lebih kecil.

KESIMPULAN

1. *Pressure swirl nozzle* dengan saluran masuk berjumlah 4 menghasilkan sudut *spray* terbesar yaitu 55° pada bilangan *Reynolds* 2000
2. *Pressure swirl nozzle* dengan saluran masuk berjumlah 4 memiliki harga *discharge coefficient* terbesar yaitu 0,72 pada bilangan *Reynolds* 2000.
3. Metode numerik dapat mensimulasikan sudut *spray* pada *pressure swirl atomizer*, tetapi penyimpangannya akan menjadi besar ketika dalam eksperimen terbentuk *air core*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih yang banyak disampaikan kepada saudara Lilis Yulianti dan Dicsy Yuda P

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Datta A. dan Som S.K. (2000). *Numerical prediction of air core diameter, coefficient of discharge and spray cone angle of a swirl spray pressure nozzle*; *Jurnal of Heat and Fluid Flow*, 412,419
- [2] Halder M.R., Dash S.K. dan Som S.K. (2002) *Initiation of air core in a simplex nozzle and the effects of operating and geometrical parameters on its shape and size*; *Jurnal of Experimental thermal and fluid science*,871,878
- [3] Halder M.R., Dash S.K. dan Som S.K. (2004). *A numerical and experimental investigation on the coefficients of discharge and the spray cone angle of a solid cone swirl nozzle* ; *Jurnal of Experimental thermal and fluid science*, 299,305
- [4] Lee E.J., Oh S.Y., Kim H.Y., James S.C dan Yoon S.S. (2010) *Measuring air core characteristics of a pressure-swirl atomizer via a transparent acrylic nozzle at various Reynolds numbers*; *Jurnal of Experimental thermal and fluid science*, 1475,1483
- [5] Ridwan (1992) *Mekanika Fluida Dasar (Seri Diktat Kuliah)*. Jakarta: Gunadarma
- [6] Streeter, V.L., Wylie, E.B., (1993) *Mwchanics of Fluid : Fifth Edition*, Mc Graw Hill: Japan