

## Kaji Numerik Aliran *Jet-Swirling* Pada Saluran Annulus Menggunakan Metode Volume Hingga

Nazaruddin Sinaga

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jalan Prof. Soedharto, SH, Tembalang, Semarang 50275, Telpon +62247460059  
E-mail: nazarsinaga@undip.ac.id

### Abstrak

Pada saat ini proses pembakaran dituntut lebih efisien dengan emisi gas buang yang lebih bersih. Salah satu teknik yang dapat diterapkan adalah menggunakan aliran *swirling*, baik sebelum maupun di dalam ruang bakar. Pada penelitian ini dikaji tentang kemampuan metoda komputasi numerik, menggunakan metoda volume hingga dengan bantuan paket program FLUENT, untuk memprediksi efek bilangan *swirling* terhadap intensitas turbulensi serta kecepatan aksial dan tangensial di dalam saluran berbentuk annulus. Hasil perhitungan divalidasi dengan hasil yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Selanjutnya dilakukan simulasi pengaruh bilangan *swirling* terhadap ketiga parameter tersebut, yaitu dengan nilai  $S = 0; 0,4; 0,7; 1$  dan  $1,2$ . Pada penelitian ini model geometri yang digunakan adalah sama dengan geometri pada literatur. Fluida yang digunakan yaitu campuran n-Oktan ( $C_8H_{18}$ ) dan udara, pada kecepatan masuk konstan  $25,5$  m/s. Model turbulensi yang digunakan dalam perhitungan ini adalah k- $\epsilon$  standar. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa hasil perhitungan yang dilakukan memberikan hasil yang cukup valid dibandingkan dengan hasil literatur. Selanjutnya dihasilkan bahwa dengan meningkatnya bilangan *swirl* maka akan meningkatkan intensitas turbulensi dan kecepatan tangensial secara signifikan, sehingga akan meningkatkan efek pencampuran. Hasil penelitian ini tentunya sangat bermanfaat digunakan dalam merancang saluran dan ruang bakar.

**Kata kunci:** *annulus*, intensitas turbulensi, metoda numerik, *swirling*, volume hingga

### 1. Pendahuluan

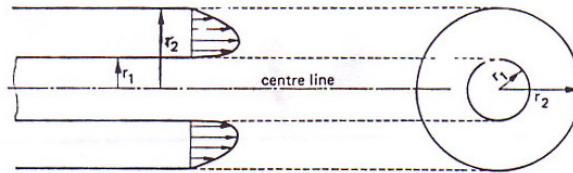
Kebutuhan terhadap proses pembakaran yang sempurna merupakan kajian yang menarik untuk dibicarakan dan dikembangkan. Hal ini karena semakin berkembangnya pengetahuan tentang sistem pembakaran serta makin banyaknya parameter prestasi yang diketahui mempengaruhi prestasi pembakaran. Begitu juga dengan analisa aliran fluida pada saluran masuk sebelum pembakaran dengan berbagai macam bentuk geometri yang berbeda sudah banyak dilakukan, diantaranya dengan metoda teoritik dan eksperimental. Jika geometri sistem yang dianalisa tidak sederhana, maka cara teoritik akan menemui kesukaran dalam menyelesaikannya. Untuk mengatasi kendala tersebut maka metoda numerik merupakan salah satu solusi alternatif dalam analisis dinamika aliran. Metode komputasi numerik dipercaya dapat memprediksi sesuatu dengan lebih cepat dan mudah serta biaya yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan metoda eksperimental. Disamping itu metoda numerik juga dapat mengatasi kendala geometri yang rumit dan syarat-syarat batas yang merupakan penghambat metoda analitik.

Kajian aliran *swirling* sudah cukup banyak dipelajari, baik secara ekperimental maupun secara numerik. Hal ini karena aliran *swirling* ini cukup banyak pemanfaatannya dalam aplikasi teknik, diantaranya untuk pemanfaatan dalam analisis dan perancangan sistem pembakaran. Mekanisme aliran ini dapat meningkatkan homogenitas pencampuran bahan bakar dengan udara, meningkatkan kualitas pembakaran karena meningkatnya kualitas pencampuran bahan bakar dan udara akibat meningkatnya intensitas turbulensi dan kecepatan tangensial aliran. Hal inilah yang melatar belakangi penulis tertarik untuk mengkaji lebih jauh efek aliran *swirling jet* dalam saluran lurus menggunakan annulus untuk meningkatkan pencampuran (*mixing*) bahan bakar n-octane ( $C_8H_{18}$ ) dan udara.

### 2. Dasar teori

#### 2.1 Aliran laminar melalui annulus berpenampang lingkaran

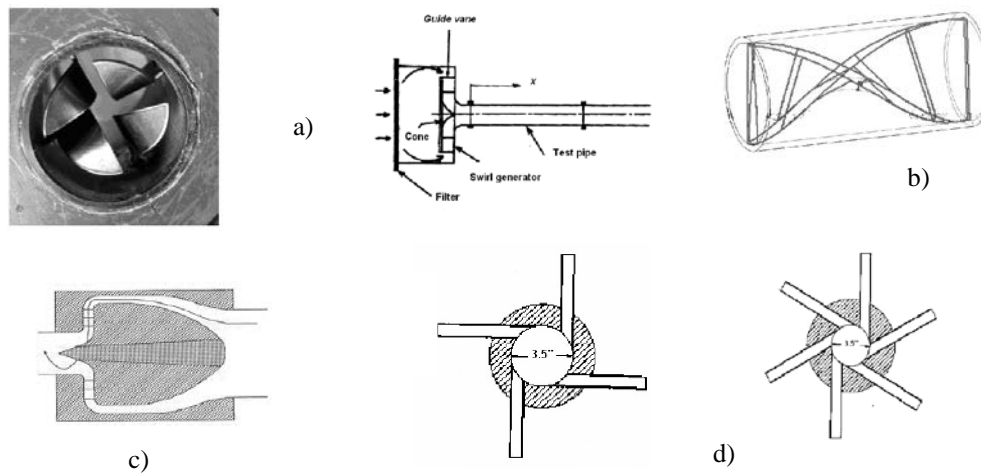
Aliran yang terjadi melalui annulus adalah aliran fluida yang dibatasi oleh permukaan padat yaitu diantara dua pipa konsentris dengan radius  $r_1$  (radius pipa annulus) dan  $r_2$  (radius pipa luar). Aliran melalui annulus ini mirip dengan aliran di dalam pipa, perbedaannya terletak pada sebuah annulus atau pipa pejal yang diletakkan di tengah-tengah sumbu sebuah pipa dengan diameter yang lebih besar dibandingkan diameter annulus itu sendiri (lihat Gambar 1). Aliran melalui annulus dengan luas permukaan konstan dikatakan *fully developed* jika bentuk profil kecepatannya sama pada berbagai penampang [1]. Aliran *fully developed* mudah dianalisis karena satu dimensi, dimana kecepatan bervariasi hanya terhadap jarak pipa dari sumbu pipa.



**Gambar 1.** Aliran laminar inkompresibel di dalam annulus [2]

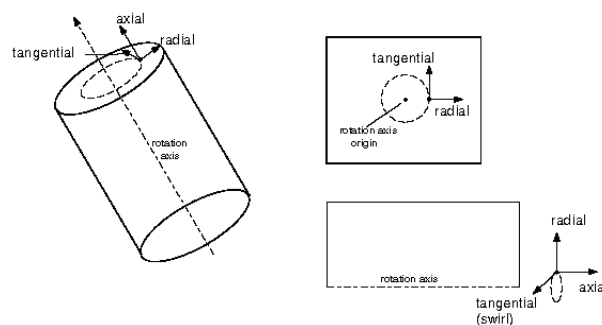
**2.2 Aliran Swirling**

Penerapan aliran *swirling* banyak digunakan dalam bidang teknik, seperti dalam sistem pembakaran turbin gas, motor bakar, *cyclone*, *burner* industri, *boiler* dan lain-lain. Pada sistem pembakaran turbin gas digunakan dengan tujuan untuk meningkatkan efisiensi pencampuran bahan bakar dengan udara, meningkatkan intensitas pembakaran dan menstabilkan nyala api, dengan memanfaatkan zona yang masih dipengaruhi putaran (*internal recirculation zone*) [3]. Gerakan *swirling* pada saluran inlet biasanya dihasilkan dengan menggunakan pengarah (*vane guide*), *inlet tangential flow injection*, *rotating pipe* (pipa rotasi) ataupun dengan generator *swirler* lainnya seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Beberapa macam generator swirl: (a) Fixed vanes, (b) Twisted tape, (c) Propeller type, (d) Tangential injection [4]

Komponen kecepatan koordinat silinder pada 3D, 2D dan domain aksi-simetri serta arah kecepatan untuk masing-masing kecepatan ditunjukkan dalam Gambar 3. Dalam koordinat tersebut, kecepatan swirl adalah ekuivalen dengan kecepatan arah tangensial, yaitu kecepatan yang berputar arah tangensial dalam sistem koordinat silinder.



**Gambar 3.** Komponen kecepatan silindris pada domain aksisimetri 2D dan 3D [5]

Parameter bilangan *swirl*, *S*, dinyatakan dengan persamaan berikut [6] :

$$S = \left( \int_0^R \rho u w r^2 dr \right) / \left( R \int_0^R \rho u^2 r dr \right) \tag{1}$$

dimana *u* dan *w* adalah kecepatan axial dan kecepatan azimuthal, *r* adalah radius/jarak, *ρ* adalah densitas fluida, *R* dan *R* adalah radius outlet jet. Bilangan swirl *S* didefinisikan sebagai rasio flux momentum angular dengan flux momentum

axial. Bilangan S dalam simulasi ini diberikan pada saat mendefinisikan kondisi batas pada sisi inlet. Dalam penelitian ini bilangan swirl ditetapkan dengan nilai 0; 0,4; 0,7; 1 dan 1,2.

**2.3 Intensitas turbulент**

Intensitas turbulент *I* didefinisikan sebagai rasio antara kecepatan fluktuasi dengan kecepatan aliran rata-rata, dan dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$I = \frac{(u')^2}{u_{avg}} \tag{2}$$

Pada aliran swirling, dimana alirannya memuat komponen kecepatan tangensial (azimuthal) dengan nilai  $V_t \neq 0$ , sering dikaitkan pengaruhnya dengan peningkatan kecepatan fluktuasi kecepatan *u'* [4]. Sehingga dengan adanya kecepatan ini akan meningkatkan intensitas turbulensi sebagai akibat dari peningkatan fluktuasi kecepatan *u'*.

**3. Metoda perhitungan numerik**

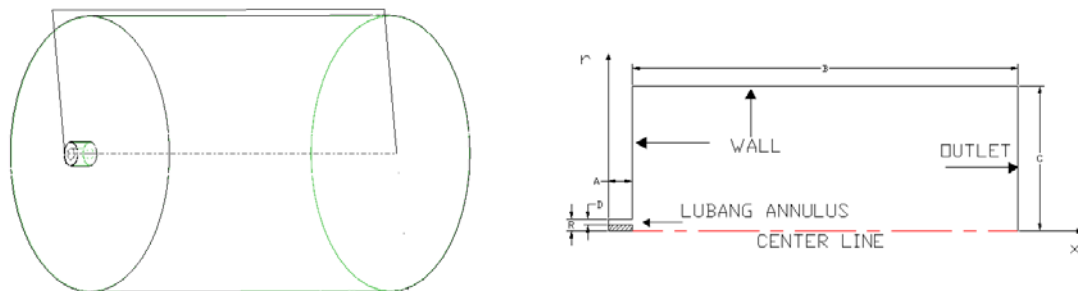
**3.1 Computational Fluid Dynamic (CFD)**

Selain pengujian terowongan angin atau yang sering disebut dengan *Eksperimental Fluid Dynamics* (EFD), *Computational Fluid Dynamics* (CFD) adalah suatu metoda yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah aliran fluida, perpindahan panas dan fenomena yang terkait dengan reaksi kimia, dengan menggunakan perangkat lunak pada komputer. FLUENT merupakan paket program komputer yang ditulis dalam bahasa pemrograman C untuk memodelkan aliran fluida dan perpindahan panas dalam geometri yang kompleks [5]. Piranti lunak ini memberikan fleksibilitas mesh yang lengkap, memecahkan masalah aliran dengan mesh yang tidak terstruktur, yang dapat dihasilkan dengan cara yang relatif mudah pada geometri yang kompleks. Piranti ini juga dapat memperhalus atau memperkasar grid (adapsi grid) berdasarkan solusi aliran yang dihasilkan. Kemampuan adaptasi grid ini berguna untuk memprediksi medan aliran dalam daerah dengan gradien yang besar, seperti lapisan geser bebas dan lapisan batas. Paket program ini juga dilengkapi dengan aplikasi penunjang untuk menggambar geometri dan generasi mesh.

**3.2 Proses simulasi**

**3.2.1 Deskripsi masalah**

Simulasi ini dibatasi pada model sebuah saluran lurus berdiameter *D* dengan sebuah annulus berdiameter *d*, yang memiliki outlet berupa aliran jet. Model aliran seperti ini banyak dipelajari dalam mekanika fluida, misalnya dalam mempelajari sistem pembakaran bahan bakar. Domain geometri dan kondisi batas yang digunakan dalam simulasi ini ditunjukkan pada Gambar 4, sedangkan pada Tabel 1 diperlihatkan dimensinya. Pada simulasi ini sebuah silinder pejal tunggal berdiameter *d* = 50 mm ditempatkan dalam saluran lurus yang didalamnya mengalir fluida campuran n-octana dan udara, dengan aliran yang diasumsikan *fully developed*.



**Gambar 4.** Domain geometri dan kondisi batas sistem annulus

**Tabel 1.** Parameter Geometri

Parameter	Range Modeled
A: panjang annulus	100 mm
B: panjang jet outlet	1600 mm
C: lebar jet outlet	600 mm
D: lebar saluran annulus	25 mm
R: radius jet outlet	50 mm

**3.2.2 Sifat fluida dan aliran**

Bilangan Reynold (*Re*) dihitung berdasarkan panjang saluran, *L*, dimana  $L = 2 (r_2 - r_1)$  dan kecepatan aliran *V*. Dalam simulasi ini bilangan Reynold ditetapkan berdasarkan data yang diperoleh dari jurnal yang digunakan sebagai acuan untuk memvalidasinya, yaitu  $Re = 81500$ .

$$Re = \frac{\rho VL}{\mu} = \frac{VL}{\nu} \tag{3}$$

Sifat-sifat fluida yang digunakan adalah konstan dengan nilai sebagai berikut:

- V = Kecepatan fluida masuk = 25,5 m/s
- $\mu$  = viskositas absolut fluida =  $1,9035 \cdot 10^{-5}$  kg/m-s
- cp = panas jenis pada tekanan konstan = 1039,2 J/Kg.K
- k = konduktivitas termal = 0.024425 W/m.K
- $\sigma$  = difusivitas massa =  $1.5648 \cdot 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s

### 3.2.3 Simulasi Fluent

Simulasi awal ini didasarkan pada original mesh. Adapun jumlah sel dan nodalnya diperlihatkan pada Tabel 2. Model solusi yang digunakan dalam perhitungan menggunakan metode solusi seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

**Tabel 2.** Jumlah sel, grid dan nodal

Jumlah sel (cells)	Jumlah face	Jumlah nodal (Nodes)
226200	453.400	227.201

**Tabel 3.** Model solusi yang digunakan

<i>Solver</i>	<i>Segregated</i>
<i>Space</i>	<i>Axisimmetric Swirl</i>
<i>Calculation Method</i>	<i>Steady</i>
<i>Viscous Model</i>	<i>k-ε Standard</i>
<i>Near Wall Treatment</i>	<i>Standard Wall Function</i>
<i>Discretization: Pressure</i>	<i>Standard</i>

### 3.2.4 Proses Adapsi

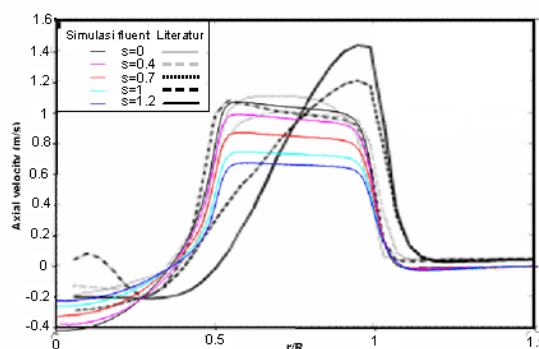
Proses adaptasi grid dilakukan dengan memanfaatkan fasilitas yang disediakan oleh FLUENT. Tujuan dari proses ini adalah untuk mendapatkan grid independen, dimana hasil simulasi tidak tergantung dari jumlah grid. Seluruh proses adaptasi dalam simulasi ini dilakukan dengan cara memperhalus sel-sel yang dekat annulus, inlet, inlet dan outlet. Pada Tabel 4 ditunjukkan jumlah grid yang dihasilkan dari setiap proses adaptasi.

**Tabel 4.** Jumlah grid hasil proses adaptasi

Proses adaptasi	Jumlah sel	Jumlah muka	Jumlah nodal
original	226.200	453.400	227.201
1	229.263	460.550	231.288
5	241.395	484.814	243.420
10	256.290	514.604	258.315
15	270.738	543.489	272.752
20	284.853	571.719	286.867

### 3.2.5 Validasi hasil simulasi

Dari hasil simulasi yang dilakukan terhadap kasus pada literatur [6] yang digunakan sebagai bahan untuk memvalidasi, maka didapatkan perbandingan antara hasil simulasi dan hasil yang ada pada literatur tersebut, dengan memvariasikan nilai bilangan *swirling*, S.



**Gambar 5.** Perbandingan hasil simulasi dan literatur

Pada Gambar 5 diperlihatkan perbandingan kecepatan axial pada  $x = 0,11$  m antara hasil simulasi yang dilakukan, dengan menggunakan model turbulensi k-ε standar, dengan hasil literatur yang menerapkan model *Large*

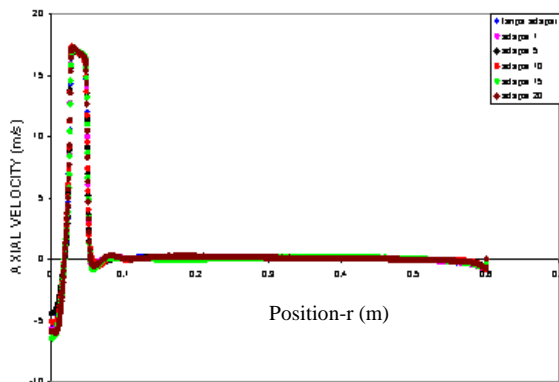
*Eddy Simulation (LES)* yang dilakukan oleh M. Garcia Villalba dan J. Frochlich [6]. Dari gambar tersebut terlihat perbedaan yang cukup besar pada hasil simulasi untuk bilangan  $S = 1$  dan  $S = 1,2$ . Perbedaan besar terlihat pada kecepatan axial di daerah *wake*, namun setelah daerah tersebut untuk semua nilai  $S$  memperlihatkan adanya kecenderungan kesamaan profil kecepatan. Perbedaan yang tidak begitu besar diperlihatkan pada simulasi dengan nilai  $S = 0$  dan  $S = 0,4$  yang hampir memiliki profil kecepatan sama. Hasil simulasi ini secara umum dianggap masih kurang memuaskan, sehingga perlu dilakukan langkah-langkah penghalusan grid dengan melakukan proses adaptasi.

Gambar 6 memperlihatkan perbandingan kecepatan axial dari proses adaptasi yang dilakukan pada simulasi dengan bilangan  $S = 1,2$  dan posisi  $x = 0,11$ . Dari gambar tersebut terlihat bahwa hasil simulasi pada variasi adaptasi yang dilakukan menunjukkan hasil yang mirip. Hasil yang agak berbeda ditunjukkan pada daerah *wake* yaitu di dekat annulus dan sumbu (*centerline*), seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Namun secara keseluruhan simulasi menunjukkan kecenderungan kesamaan profil kecepatan. Dari gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa hasil simulasi yang dilakukan memenuhi syarat grid independen, yaitu hasil simulasi yang tidak tergantung dari jumlah grid. Berikut ini adalah beberapa perhitungan tingkat penyimpangan relatif (*relative error*) yang dilakukan pada beberapa daerah/segmen yang diamati secara acak untuk data-data hasil simulasi kecepatan axial, mass flow dan intensitas turbulensi. Perhitungan tingkat penyimpangan relatif (*relative error*) dilakukan dengan persamaan sebagai berikut:

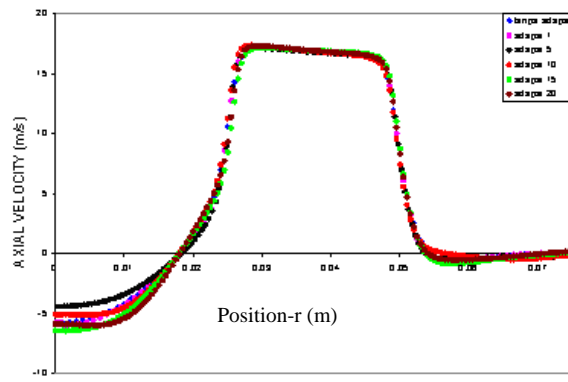
$$RE = \text{Relative Error} = \left| \frac{X_n - X_{\text{non-adaptasi}}}{X_{\text{non-adaptasi}}} \right| \times 100\% \tag{4}$$

dimana:

- $X_n$  = data hasil simulasi adaptasi ke- $n$
- $X_{\text{non-adaptasi}}$  = data hasil simulasi tanpa dilakukan proses adaptasi



**Gambar 7.** Perbandingan kecepatan axial hasil adaptasi



**Gambar 6.** Kecepatan axial di daerah *wake*

Pada Tabel 5 diperlihatkan nilai penyimpangan relatif (RE) untuk kecepatan aksial, laju aliran massa (mass flow) dan intensitas turbulensi dari berbagai tingkat adaptasi yang dilakukan. Dari hasil perhitungan penyimpangan relatif kecepatan axial rata-rata yang dilakukan dalam simulasi diperoleh hasil dimana untuk segmen  $x = 0,11$  tingkat penyimpangan terbesar terjadi pada adaptasi-1 sebesar 2,55 %, sedangkan untuk segmen  $x = 0,25$  tingkat penyimpangan terbesar terjadi pada adaptasi-10 dan 20 sebesar 0,10 %. Dari hasil perhitungan tingkat penyimpangan relatif mass flow yang dilakukan dalam simulasi diperoleh hasil untuk segmen  $x = 0,25$  tingkat penyimpangan terbesar terjadi pada adaptasi-20 sebesar 15,59 % sedangkan untuk segmen  $x = 1,5$  tingkat penyimpangan terbesar terjadi pada adaptasi-15 sebesar 17,99 %. Begitu pula dengan nilai penyimpangan intensitas turbulensi yang relatif kecil. Hasil ini memperlihatkan bahwa tingkat penyimpangan relatif dari simulasi yang dilakukan adalah sangat kecil, sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil simulasi yang dilakukan adalah grid independen, yaitu hasil simulasi tidak tergantung dari jumlah grid yang digunakan.

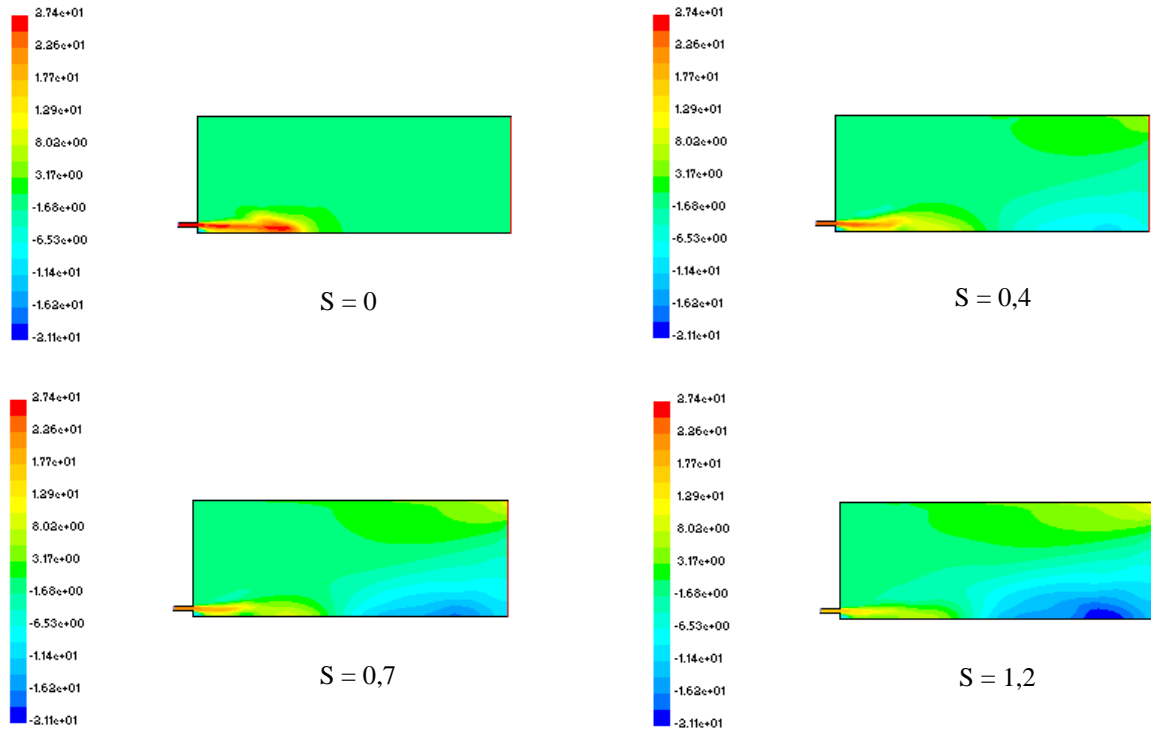
**Tabel 5.** Prosentase Relatif Error (RE) hasil simulasi terhadap proses adaptasi

Adaptasi	RE Kec. Axial pada $x = 0,11$	RE Kec. Axial pada $x = 0,25$	RE Mas Flow pada $x = 0,11$	RE Mas Flow pada $x = 0,25$	RE Intensitas Turbulen pada $x = 0,11$	RE Intensitas Turbulen pada $x = 0,25$
No adaptasi	0	0	0	0	0	0
Adaptasi-1	2,55	0,04	2,55	0,04	0,40	0,57
Adaptasi-5	0,73	0,01	0,73	0,01	0,86	1,76
Adaptasi-10	0,69	0,10	0,69	0,10	5,47	4,36
Adaptasi-15	0,62	0,02	0,63	0,01	11,89	17,99
Adaptasi-20	0,65	0,10	0,65	0,10	15,59	9,83

**4. Analisa hasil simulasi**

**4.1 Kontur kecepatan axial pada variasi bilangan swirl s**

Dari Gambar 8 dapat diamati bahwa pada bilangan S yang lebih kecil memiliki sebaran kecepatan axial maksimum yang lebih tinggi dan luas pada daerah dekat inlet annulus. Dengan S yang makin besar, pada daerah sekitar *centerline* terjadi perluasan zona dimana kecepatan axialnya minimum. Untuk S = 1,2 memiliki kecepatan *axial* yang relatif terkecil dibanding yang lainnya. Hal ini terjadi karena untuk simulasi dengan bilangan swirling 1,2 komponen input kecepatan terbesarnya adalah aliran *swirl* atau kecepatan tangensial.



**Gambar 8.** Kontur kecepatan *axial* pada variasi bilangan *swirl*

**4.2 Kecepatan axial lokal pada variasi bilangan swirl s**

Pada Tabel 6 dapat dilihat bahwa penerapan bilangan swirl S yang makin besar menyebabkan penurunan kecepatan axial rata-rata pada setiap segmen yang diamati. Sehingga dari simulasi yang dilakukan, kecepatan rata-rata terbesar terjadi pada simulasi S = 0. Adapun pada Tabel 7 ditunjukkan lokasi segmen yang diamati untuk mengetahui nilai kecepatan axial rata-rata tersebut.

**Tabel 6.** Posisi kecepatan *axial* maksimum

Posisi x (m)	Kecepatan Maximum (m/s)	Posisi r (m)	Bilangan S
0,11	27,35	0,029	0
0,25	25,37	0,0285	0
0,5	26,31	0,0205	0
0,75	5,60	0,0005	0,4
1	4,55	0,5965	1,2
1,5	7,81	0,5945	1,2

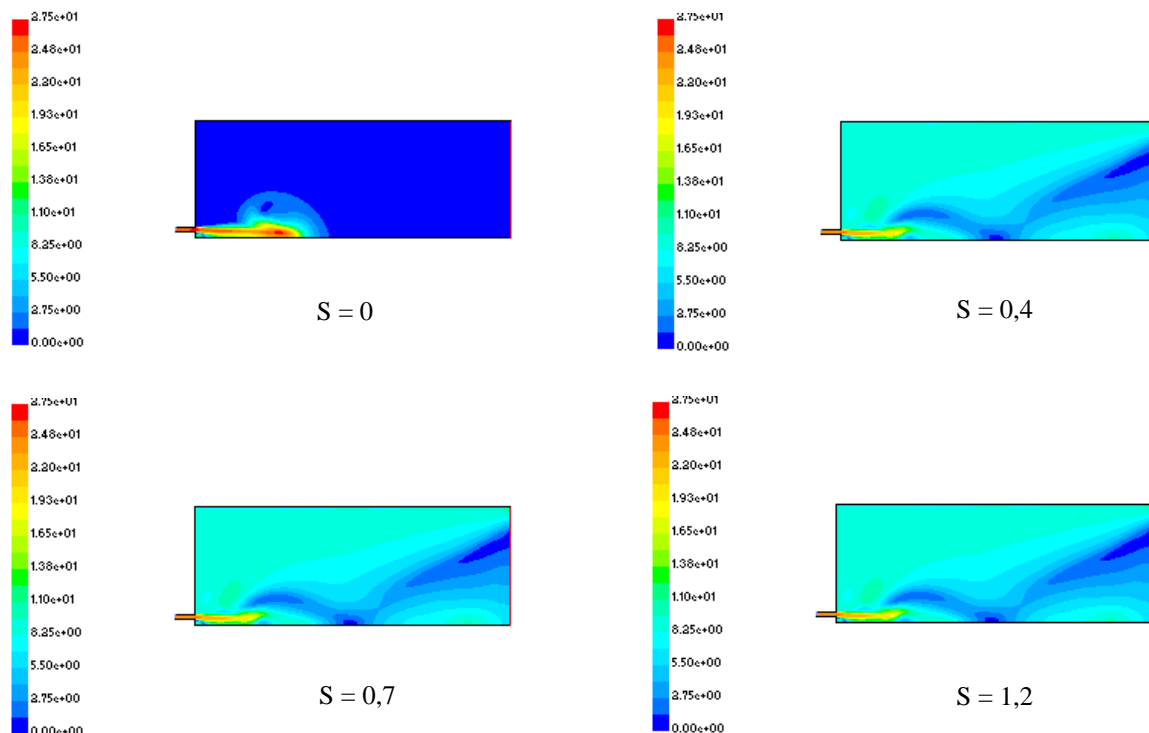
**Tabel 7.** Segmen pengamatan nilai kecepatan axial

Bil. S	Segmen-x yang diamati					
	0,11	0,25	0,5	0,75	1	1,5
S = 0	0.932	1.854	2.719	0.411	0.157	0.130
S = 0,4	0.888	1.443	1.244	0.593	-0.668	-2.041
S = 0,7	0.796	1.201	0.692	0.035	-1.821	-3.362
S = 1	0.701	0.903	0.366	-0.544	-2.577	-4.161
S = 1,2	0.701	0.707	0.098	-1.027	-3.047	-4.576

**4.3 Kontur nilai kecepatan pada variasi bilangan swirl**

Dari Gambar 9 terlihat bahwa, untuk S = 0 nilai kecepatan yang besar terkonsentrasi pada daerah dekat inlet annulus saja. Dengan peningkatan nilai bilangan S maka konsentrasi pada daerah tersebut makin berkurang, namun

terdistribusi pada daerah outlet. Hal ini terjadi karena untuk  $S = 0$  tidak ada kecepatan inlet yang menyebar kearah tangensial karena nilai kecepatan swirl adalah nol. Oleh karena itu, dengan adanya nilai bilangan swirl pada sisi inlet maka kondisi awal aliran telah memiliki kecepatan dalam arah tangensial.



**Gambar 9.** Kontur nilai kecepatan (*magnitude*) pada variasi bilangan *swirl*

**4.4 Nilai kecepatan lokal pada variasi bilangan swirl**

Dari Tabel 8 dapat diamati bahwa pemberian bilangan swirl  $S$  yang makin besar akan menyebabkan peningkatan kecepatan axial rata-rata pada setiap segmen yang diamati. Sehingga berdasarkan simulasi yang dilakukan, kecepatan rata-rata maksimum terjadi pada simulasi dengan nilai bilangan  $S = 1,2$ . Hal ini terjadi karena pada penerapan bilangan swirl  $S$  pada velocity inlet menyebabkan pola aliran yang terjadi memiliki aliran fluida dengan arah tangensial yang mampu meningkatkan *magnitude* kecepatan. Adapun pada Tabel 9 ditunjukkan lokasi segmen yang diamati untuk mengetahui nilai kecepatan axial rata-rata tersebut.

**Tabel 8.** Posisi nilai kecepatan maksimum

Posisi x (m)	Kecepatan Maximum (m/s)	Posisi r (m)	Bilangan S
0,11	27,47	0,028	0
0,25	25,37	0,0285	0
0,5	26,31	0,0205	0
0,75	18,69	0,5425	1,2
1	18,50	0,5545	1,2
1,5	19,95	0	1,2

**Tabel 9.** Segmen yang diamati untuk mengetahui nilai kecepatan axial

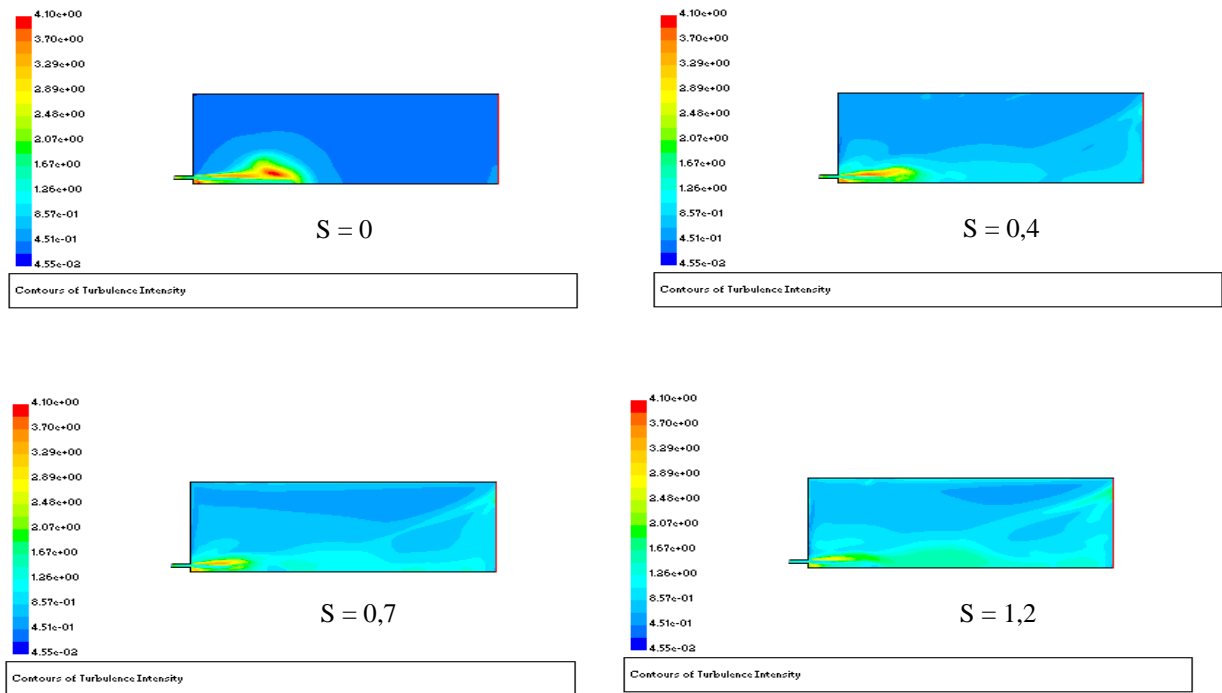
Bil. S	Segmen-x yang diamati					
	0,11	0,25	0,5	0,75	1	1,5
S = 0	1.671	2.086	3.539	0.578	0.169	0.130
S = 0,4	9.568	9.860	7.697	7.198	6.819	5.405
S = 0,7	13.306	13.186	11.714	10.373	9.693	8.057
S = 1	15.661	15.304	14.500	12.39	11.345	9.734
S = 1,2	16.491	16.152	15.456	12.998	11.727	10.436

**4.5 Kontur intensitas turbulensi pada variasi bilangan swirl**

Pada Gambar 10 ditunjukkan bahwa pada simulasi dengan  $S = 0$ , intensitas turbulensi yang terjadi pada area outlet, setelah melalui annulus, terkonsentrasi pada zona di sekitar posisi outlet annulus. Namun pada daerah yang jauh dari outlet annulus, intensitas turbulensi yang terjadi sangat kecil dibandingkan dengan intensitas turbulensi yang terjadi pada daerah tersebut. Sedangkan pada simulasi yang dilakukan dengan memberikan bilangan swirl menunjukkan efek



peningkatan intensitas turbulensi pada area outlet setelah melalui annulus. Peningkatan intensitas turbulensi ini adalah sebagai akibat dari efek kecepatan aliran swirl yang diterapkan pada pada sisi inlet [4].



Gambar 10. Kontur intensitas turbulensi pada variasi bilangan *swirl*

4.6 Intensitas turbulensi lokal pada variasi bilangan *swirl* s

Dari Tabel 10 dapat diketahui bahwa penerapan bilangan swirl S yang makin besar menyebabkan peningkatan intensitas turbulen rata-rata pada daerah yang jauh dari outlet annulus. Pada daerah tersebut juga memiliki karakter pola intensitas turbulen yang makin meningkat dengan meningkatnya bilangan S pada sisi inlet. Dari pengamatan terhadap kontur dan profil intensitas turbulensi lokal dapat diketahui bahwa, dengan menerapkan aliran swirl pada sisi inlet akan meningkatkan nilai intensitas turbulensi, dibandingkan dengan tanpa menerapkan aliran swirl. Pada aplikasi sistem pembakaran sebuah motor bakar, kondisi ini dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan daya maupun efisiensi pembakaran yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena proses pencampuran antara udara dengan bahan bakar akan lebih efektif akibat adanya komponen kecepatan tangensial yang memiliki intensitas turbulensi yang tinggi [3].

Tabel 10. Posisi intensitas turbulensi maksimum

Posisi x (m)	intensitas turbulensi	Posisi r (m)	Bilangan S
0,11	3,97	0,0505	0,4
0,25	3,84	0,0495	0,4
0,5	3,99	0,0695	0,4
0,75	1,64	0,0635	1,2
1	1,52	0,0405	1,2
1,5	1,41	0,0205	1,2

Tabel 11. Segmen yang diamati untuk mengetahui nilai kecepatan axial

Bil. S	Segmen-x yang diamati					
	0,11	0,25	0,5	0,75	1	1,5
S = 0	0.561	0.667	0.434	0.474	0.437	0.436
S = 0,4	0.775	0.938	1.147	0.719	0.701	0.722
S = 0,7	0.858	0.998	0.854	0.837	0.824	0.859
S = 1	0.891	1.029	0.796	0.942	0.917	0.948
S = 1,2	0.890	1.016	0.949	0.986	0.943	0.979

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini dihasilkan kesimpulan umum bahwa untuk mengamati aliran swirling untuk keperluan berbagai aplikasi, dapat dilakukan dengan hasil yang cukup memuaskan dengan menggunakan metoda komputasi numerik. Oleh karena itu, perancangan suatu sistem pembakaran akan menjadi lebih mudah, murah dan cepat dilakukan sebelum melakukan pembuatan protipe dan melakukan uji eksperimental. Selain itu, hasil penelitian ini



juga dapat digunakan untuk melakukan perancangan alat pembangkit aliran swirling yang ditempatkan pada bagian sebelum masuk ke ruang bakar. Adapun kesimpulan lain yang diperoleh dari penelitian ini diantaranya adalah:

- 1) Terjadi penurunan kecepatan axial campuran n oktan-udara pada daerah aliran jet dekat outlet annulus dengan penerapan bilangan swirl  $S$  yang semakin besar pada velocity inlet.
- 2) Penerapan bilangan swirl  $S$  pada velocity inlet mampu meningkatkan *magnitude* kecepatan rata-rata campuran n oktan-udara. Dimana dari hasil simulasi diperoleh adanya hubungan penerapan bilangan swirl  $S$  yang semakin besar mampu meningkatkan *magnitude* kecepatan rata-rata pada setiap segmen yang diamati.
- 3) Kualitas pembakaran bahan bakar dapat ditingkatkan dengan menerapkan aliran swirl pada inlet velocity yang mampu meningkatkan intensitas turbulensi, yang selanjutnya dapat meningkatkan tingkat efisiensi pencampuran bahan bakar dengan udara, sehingga proses pembakaran menjadi lebih baik.

#### Referensi

- [1] White, Frank M, *Fluid Mechanics*, 7<sup>th</sup> ed., McGraw-Hill, New York, 2011.
- [2] Round, G F and V.K Garg, *Application Of Fluid Dynamics*, Edward Arnold Publisher, Ltd., London, 1986.
- [3] Wang, Ping, *Large Eddy Simulation of Turbulent Swirling Flows and Turbulent Premixed Combustion*, University of Karlsruhe, Germany, 2005
- [4] Islek, Akay A., *The Impact Of Swirl in Turbulent Pipe*, Georgia Institute Of Technology , 2004.
- [5] Tutorial FLUENT, Fluent Inc, 2013.
- [6] Villalba , M. García and J. Fröhlich Ernest, *On The Sensitivity Of A Free Annular Swirling Jet To The Level Of Swirl And A Pilot Jet*, University of Karlsruhe, Germany, 2005