

SIMULASI EFEK *TURBO CYCLONE* TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN UDARA PADA SALURAN UDARA SEPEDA MOTOR 4 TAK 100 CC MENGUNAKAN *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS*

Muchammad¹⁾

Abstract

Turbo Cyclone is one of additional devices for internal combustion engine, which can be used to create swirling flows in air channel. Swirling flow has abilities to improve fuel/air mixing efficiency, increasing combustion intensity and stabilizing the combustion flame and also rising the flame propagation speed so the complete combustion can be achieved. Turbo Cyclone installation will affect its air flow characteristics, e.g. turbulence intensity and pressure drop. The blade design has a great effect to the magnitude of turbulence intensity and pressure drop. The CFD simulation shows that turbo cyclone installation does have effect to the turbulence intensity and pressure drop. Further analysis with blade design variation results that the wider blade angle the bigger its turbulence intensity and pressure drop. Turbo Cyclone with its no-hole blades also has more contribution in rising those two parameters than Turbo Cyclone with holes on its blades. In this case model 7 has the largest turbulence intensity and pressure drop at all air inlet velocity, 105,32 Pa and 1,52 at air inlet 6,099 m/s, 570,45 Pa and 3,62 at air inlet 14,52 m/s, also 937,73 Pa and 4,64 at air inlet 18,634 m/s.

Keyword : Turbo Cyclone, swirling flows, flow characteristic, blade design variation, turbulence intensity and pressure drop.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Semakin menipisnya persediaan dan naiknya harga bahan bakar telah membuat banyak orang semakin kreatif dalam berupaya untuk mencari bahan bakar alternatif dan meningkatkan efisiensi pembakaran pada kendaraan bermotor. Permasalahan ini menjadi suatu hal yang menarik untuk dibicarakan dan dikembangkan karena semakin berkembangnya pengetahuan tentang motor bakar serta semakin banyaknya parameter prestasi yang diketahui yang dapat mempengaruhi kinerja motor bakar. Maka kemudian muncul berbagai teknologi baru, antara lain ditemukannya mobil hybrid, mobil elektrik, penggunaan sistem injeksi pada mesin bensin, sistem pengapian yang semakin cerdas, sampai penggunaan bahan bakar alternatif seperti bio-diesel dan bio-gasoline. Upaya dalam meningkatkan efisiensi motor bakar dengan memperbaiki proses pembakaran yang terjadi dalam ruang bakar juga dilakukan oleh Sei Y Kim melalui alat temuannya yang disebut dengan *Turbo Cyclone*.

Turbo Cyclone adalah alat tambahan yang digunakan pada *internal combustion engine* yang berfungsi untuk membuat aliran udara yang akan masuk ke dalam karburator dan silinder ruang bakar menjadi berputar/*swirling*. *Turbo Cyclone* ini mirip *swirl fan* yang sudu-sudunya tidak berputar (*fixed Vane*) dan ditempatkan pada saluran udara masuk dan atau pada *intake manifold*. Berputarnya aliran udara

akan memperbaiki tingkat efisiensi pencampuran bahan bakar dengan udara (*fuel/air mixing*), meningkatkan intensitas pembakaran dan menstabilkan nyala api pembakaran dengan memanfaatkan zona yang masih dipengaruhi perputaran (*internal recirculation zone*) [Ping Wang, 2005] serta dapat memperbaiki kecepatan propagasi api sehingga pembakaran yang sempurna dapat dicapai [Sei Y. Kim, 1988].

Berdasarkan perhitungan dan pengukuran yang dilakukan oleh *Korea National Industry Research Institute* [1988], ketika perangkat ini dipasang pada saluran udara, tingkat CO dapat diturunkan 17% - 20% pada saat kecepatan mesin idle, daya mesin meningkat 8% - 11%, penghematan bahan bakar 4% - 6% dan kadar NOx berkurang hingga 8% serta *knocking* mesin berkurang hingga 5% tergantung pada desain sudunya.

Pemasangan *Turbo Cyclone* menyebabkan adanya perubahan karakteristik aliran udara. Antara lain yaitu timbulnya *pressure drop* dan turbulensi. Tujuan dari tulisan ini adalah untuk mencari variasi *Turbo Cyclone* pada saluran udara yang paling optimal. Sedangkan variasi yang dilakukan adalah variasi kemiringan sudu *Turbo Cyclone*.

Tujuan Penulisan

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui karakteristik aliran udara dalam saluran udara dalam hal ini *pressure drop* dan turbulensinya.
2. Mengetahui efek yang terjadi akibat pemasangan *Turbo Cyclone* pada saluran udara terhadap karakteristik aliran udara.
3. Mampu menentukan model terbaik dari *turbo cyclone* yang dapat menghasilkan penurunan tekanan paling kecil dan aliran udara yang semakin turbulen.

¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin FT-UNDIP

Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, pemodelan dan pembahasan dibatasi pada beberapa hal berikut:

1. Pola aliran yang diamati terletak di dalam saluran udara dari *air inlet* di saringan udara sampai ke karburator. Saluran udara ini berbentuk pipa *elbow* berlubang dengan diameter 30 mm yang terdapat pada sepeda motor *Honda Astrea Grand*.
2. *Turbo Cyclone* yang dipakai adalah model IM-43. Pemodelan *Turbo Cyclone* dilakukan penyederhanaan, yaitu mengabaikan celah di tengah, bentuk sudu dianggap benar-benar seragam. Aliran fluida yang mengalir melalui saluran udara dianggap inkompresibel, turbulen dan *steady state*.

DASAR TEORI

Fluida sebagai Kontinum

Fluida adalah zat yang terdeformasi secara *continue* karena dikenakan gaya atau tegangan geser. Proses deformasi secara *continue* tersebut disebut sebagai mengalir. Dengan demikian fluida dikatakan sebagai zat yang dapat mengalir.

Pada umumnya sangatlah mungkin untuk menggambarkan satu sampel fluida secara dinamik dari susunan molekuler individual. Tetapi secara prakteknya sangatlah sulit karena banyaknya jumlah molekul yang terkait. Pada berbagai kasus prakteknya, dimungkinkan untuk mengabaikan molekuler alami dari zat dan mengasumsikan zat tersebut adalah *continue*. Hal inilah yang disebut sebagai hipotesa kontinum (*continuum hypothesis*) yang dapat diterapkan pada kedua zat padat ataupun fluida. Dengan hipotesa kontinum dapat dinyatakan bahwa struktur molekuler adalah sangat kecil relatif terhadap dimensi yang terkait pada permasalahan dari praktek sehingga kita dapat mengabaikannya [Gerhart, 1985].

Klasifikasi Aliran Fluida

Dengan memakai hipotesa kontinum, dapat digambarkan fluida dengan *properties*-nya, yang mewakili karakteristik rata-rata struktur molekuler. Aliran fluida dapat diklasifikasikan seperti yang terlihat pada Gambar .1.

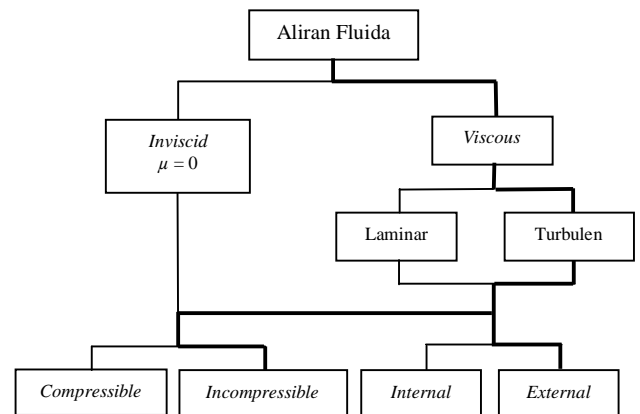
Aliran Internal Viskos Inkompresibel

Aliran yang dibatasi oleh permukaan padat disebut aliran internal. Aliran internal meliputi aliran melalui pipa, saluran, nosel, difuser, *sudden contractions* dan *expansions*, *valve*, dan *fitting*.

Aliran internal bisa laminar maupun turbulen. Perbedaan antara aliran pipa laminar dan turbulen dijelaskan oleh Osborne Reynolds pada tahun 1883. Pada aliran internal, rezim aliran baik itu laminar maupun turbulen merupakan sebuah fungsi dari angka Reynolds,

$$Re = \frac{\rho \bar{V} D}{\mu} \quad (1)$$

Pada angka *Re* dibawah sekitar 2300 [Fox, 1994], aliran selalu laminar, sedangkan pada angka *Reynolds* yang lebih tinggi aliran adalah turbulen. Nilai yang pasti dari angka *Reynolds* yang mendefinisikan batas antara aliran laminar dan turbulen tergantung dari kondisi eksperimental.



Gambar 1. Klasifikasi Aliran Fluida [Fox, hal. 27, 1994].

Persamaan Energi

Gambar 2 mengilustrasikan aliran *fully developed* pada pipa atau *saluran*. Karena fluida diasumsikan kompresibel, dengan persamaan:

$$\dot{m} \left(\frac{\bar{p}_1}{\rho} + \alpha_1 \frac{\bar{V}_1^2}{2} + g\bar{z}_1 \right) - \dot{W}_s = \dot{m} \left[\frac{\bar{p}_2}{\rho} + \alpha_2 \left(\frac{\bar{V}_2^2}{2} \right) + g\bar{z}_2 \right] + \dot{m}(gh_L) \quad (1)$$

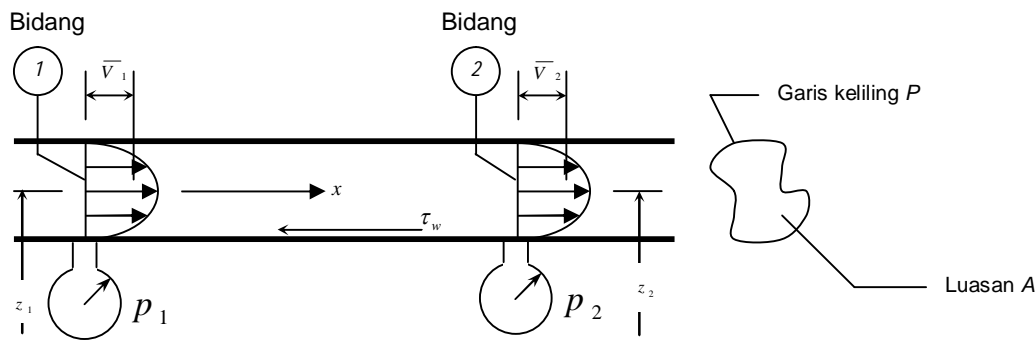
adalah persamaan *Incompressible energy*. Dari persamaan tersebut didapatkan :

$$\frac{\bar{p}_1}{\rho} + \alpha_1 \frac{\bar{V}_1^2}{2} + g\bar{z}_1 = \frac{\bar{p}_2}{\rho} + \alpha_2 \left(\frac{\bar{V}_2^2}{2} \right) + g\bar{z}_2 + \overline{gh}_L \quad (2)$$

dimana \overline{gh}_L adalah laju aliran massa rata-rata *mechanical energy loss*.

Karena aliran adalah *fully developed* dan *steady* dan luas penampang adalah konstan, $\alpha_1 = \alpha_2$ dan $\bar{V}_1 = \bar{V}_2$. Persamaan energi menjadi:

$$\frac{p_1}{\rho} + g\bar{z}_1 = \frac{p_2}{\rho} + g\bar{z}_2 + \overline{gh}_L \quad (3)$$



Gambar 2. Fully developed flow pada saluran/duct dengan penampang melintang yang berubah-ubah [Gerhart, hal. 410, 1985].

Garis atas ($\bar{}$) yang mewakili rata-rata terkadang membingungkan, sehingga akan dihilangkan dahulu sehingga tidak membingungkan antara kuantitas lokal dan rata-rata luas permukaannya. Karena *streamlines*¹ adalah lurus dan sejajar untuk aliran *fully developed*, variasi tekanan melalui penampang adalah tekanan hidrostatis. Jumlah dari rata-rata pada berbagai penampang ($\bar{p}/\rho + g\bar{z}$) adalah sama dengan jumlah ($p/\rho + gz$) pada berbagai titik pada penampang melintang. Sehingga, akan diasumsikan bahwa p dan z dievaluasi pada titik tengah diantara pipa.

Menghilangkan garis atas dan menghasilkan persamaan untuk *energy loss*, didapatkan:

$$gh_L = \frac{p_1 - p_2}{\rho} + g(z_1 - z_2) \quad (4)$$

Persamaan (4) dapat digunakan untuk menghitung perbedaan tekanan diantara dua titik dalam sistem perpipaan, dengan *energy loss*, gh_L , yang telah diketahui.

Persamaan (5) menyatakan keistimewaan terhadap aliran *fully developed*, yaitu gesekan tidak menyebabkan penurunan pada kecepatan fluida (energi kinetik) sepanjang pipa.

Terkadang lebih nyaman untuk menyatakan *energy loss* dengan sebutan *equivalent potential energy loss* atau *equivalent pressure difference*. Yang disebut *equivalent potential energy loss* adalah *head loss*, yang dinyatakan sebagai

$$h_L = \frac{(gh_L)}{g} \quad (5)$$

Energy loss, gh_L , disebut juga sebagai *head loss*. Sebuah interpretasi secara fisis yang menyebutkan bahwa *loss* dalam *mechanical energy* per unit massa dalam fluida yang mengalir.

Untuk pipa dengan aliran *fully developed*,

¹ Garis imajiner yang menyinggung vektor kecepatan fluida dimanapun.

$$h_L = \frac{p_1 - p_2}{\gamma} + z_1 - z_2 \quad (6)$$

Jika pipa adalah horisontal, maka $z_1 = z_2$ dan

$$h_L = \frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{\Delta p}{\gamma} \quad (7)$$

Energy loss dapat juga dinyatakan sebagai *pressure loss*, didefinisikan sebagai

$$\Delta p_L \equiv \rho(gh_L) \quad (8)$$

Pressure loss adalah *energy loss* per unit volum. Untuk aliran *fully developed*,

$$\Delta p_L = (p_1 - p_2) + \gamma(z_1 - z_2) \quad (9)$$

Sangat penting untuk mengenali perbedaan antara perubahan tekanan, *pressure drop*, dan *pressure loss*. Perubahan tekanan diantara dua titik pada sebuah aliran adalah

$$\Delta p = p_2 - p_1 \quad (10)$$

Pressure drop adalah negatif dari perubahan tekanan,

$$\Delta p_d = p_2 - p_1 \quad (11)$$

Dalam aliran *fully developed*, perubahan tekanan biasanya negatif dan *pressure drop* biasanya positif.

Intesitas Turbulensi

Intensitas turbulensi I didefinisikan sebagai rasio kuadrat fluktuasi kecepatan u' , kecepatan aliran rata-rata u_{avg} , dan dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$I = \frac{(u')^2}{u_{avg}} \quad (12)$$

Aliran swirl, dimana pada alirannya memuat komponen kecepatan tangensial (*azimuthal*) dengan harga tertentu ($V_{\tau} \neq 0$), hal tersebut sering dikaitkan dengan pengaruhnya terhadap peningkatan fluktuasi kecepatan u' . (Ref. Islek Akay A, 2004) Sehingga dengan adanya kecepatan tangensial dalam suatu aliran fluida akan meningkatkan intensitas turbulensi sebagai akibat dari peningkatan fluktuasi kecepatan u' .

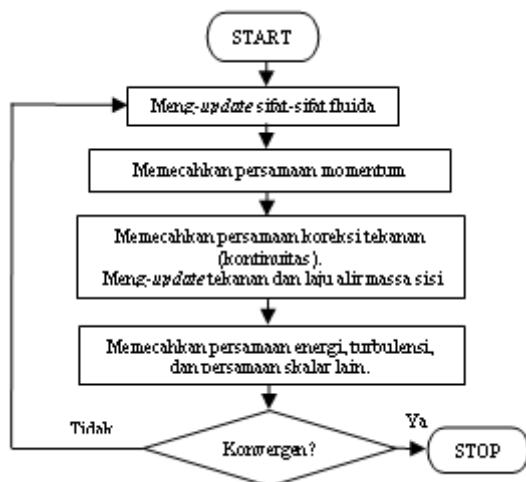
Tabel 1. Ukuran Grid untuk Validasi

| Daerah Mesh | Jenis dan Ukuran grid |
|-------------|--|
| Volume 1 | <i>Tet/Hybrid Tgrid Interval size 2</i> |
| Volume 2 | <i>Boundary layer first row = 3 growth factor = 1.1 rows = 8 meshing volume hex/wedge Cooper int size 1.5 Meshing Face penampang Tri pave int size 1 tanpa meshing</i> |

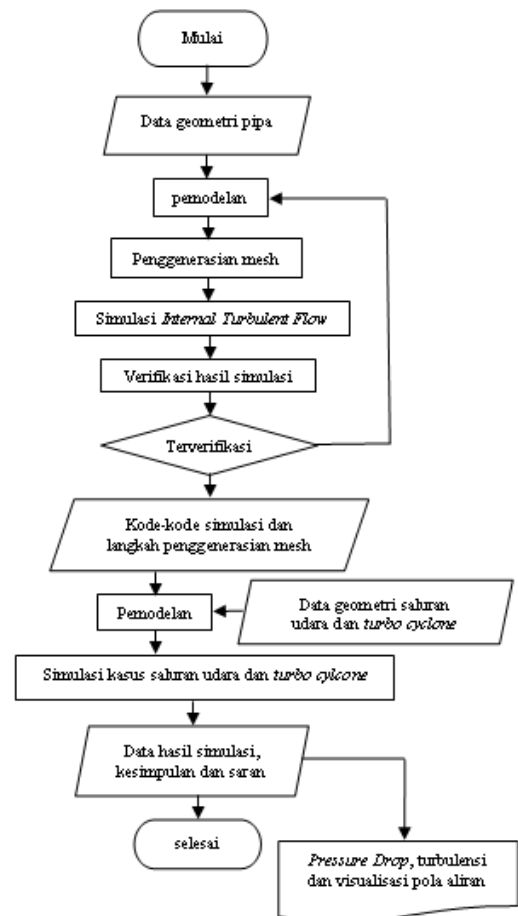
Tabel 2. Model Solusi yang Digunakan dalam Simulasi dan Komputasi

| | |
|------------------------------------|-------------------------------|
| <i>Calculational Method</i> | <i>Steady</i> |
| <i>Viscous Model</i> | <i>k - ε Realizable</i> |
| <i>Near Wall Treatment</i> | <i>Standard Wall Function</i> |
| <i>Discretization :</i> | |
| <i>Pressure</i> | <i>Standard</i> |
| <i>Pressure-Velocity coupling</i> | <i>SIMPLEC</i> |
| <i>Momentum</i> | <i>QUICK</i> |
| <i>Turbulence Kinetic Energy</i> | <i>1st Upwind</i> |
| <i>Turbulence Dissipation Rate</i> | <i>Scheme</i> |
| | <i>1st Upwind</i> |
| | <i>Scheme</i> |

PIRANTI PEMROGRAMAN

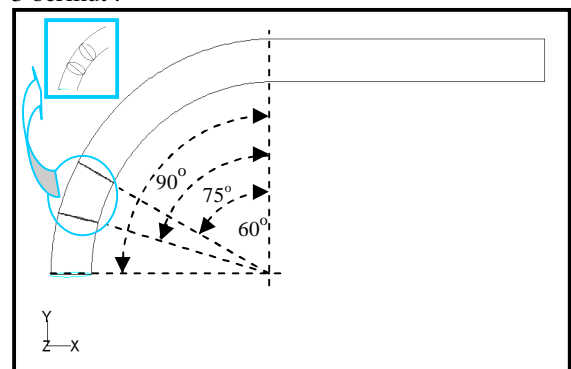


SIMULASI DAN METODE KOMPUTASI



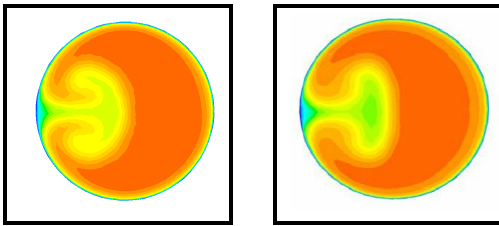
Model Validasi

Validasi yang dipakai adalah aliran internal turbulen pada pipa dengan belokan 90° seperti Gambar 3 berikut :



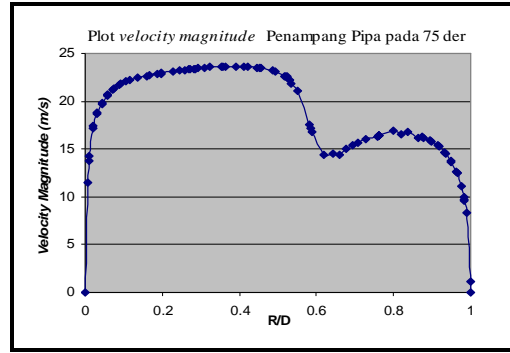
Gambar 3. Daerah pengamatan Velocity Magnitude

1. Visualisasi aliran udara



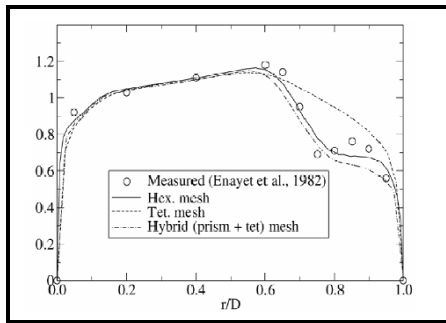
(a) Hasil simulasi (b) Simulasi *FLUENT Inc*

Gambar 4. Visualisasi aliran penampang pipa pada 90°

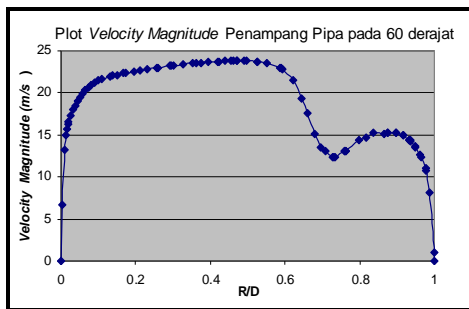


(a) Grafik *Velocity Magnitude* hasil simulasi

2. Profil kecepatan

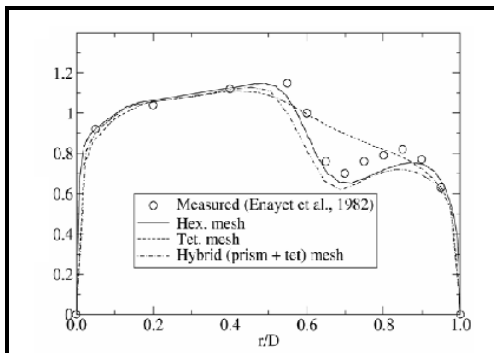


(a) Grafik *velocity magnitude* hasil simulasi *FLUENT Inc* [*FLUENT Inc*, 2005]



(b) Grafik *Velocity Magnitude* hasil simulasi

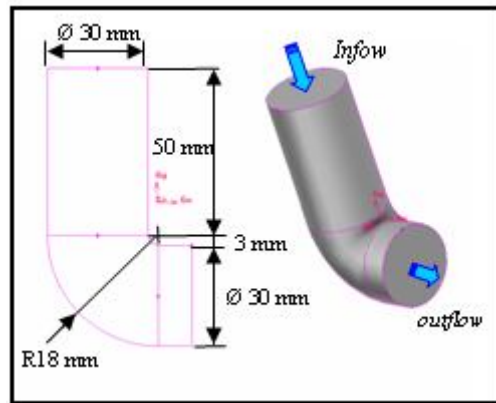
Gambar 5. Perbandingan grafik *Velocity Magnitude* Penampang Pipa pada 60°



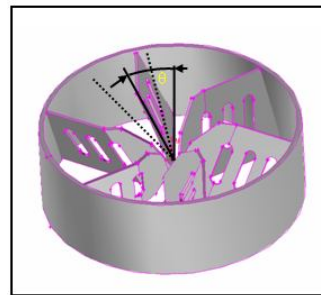
(a) Grafik *velocity magnitude* hasil simulasi *FLUENT Inc* [*FLUENT Inc*, 2005]

Gambar 6. Perbandingan grafik *Velocity Magnitude* Penampang Pipa pada 75°

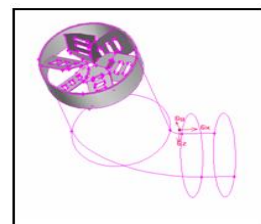
Pemodelan Saluran Udara dan *Turbo Cyclone*.



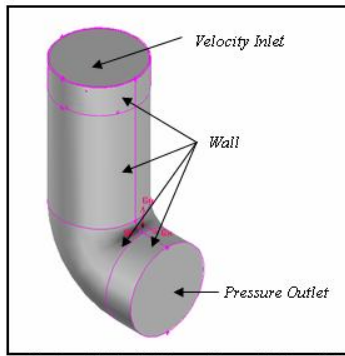
Gambar 7. Saluran Udara Model



Gambar 8. Variasi sudut sudu *Turbo Cyclone*

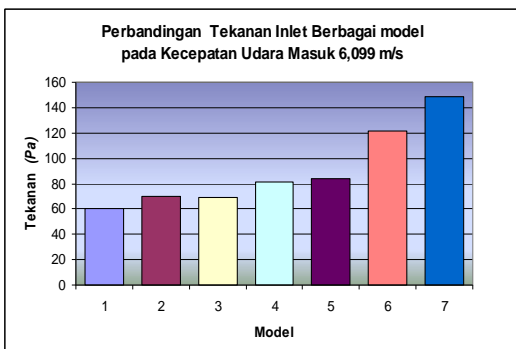


Gambar 9. Pemasangan *Turbo Cyclone* dalam saluran udara.

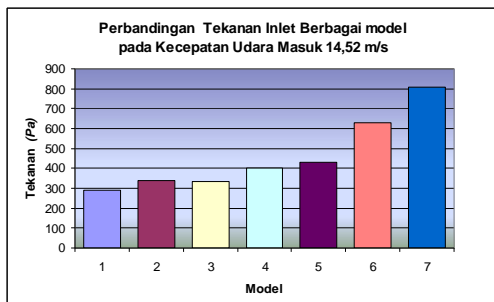


Gambar 10. Kondisi batas untuk model saluran udara

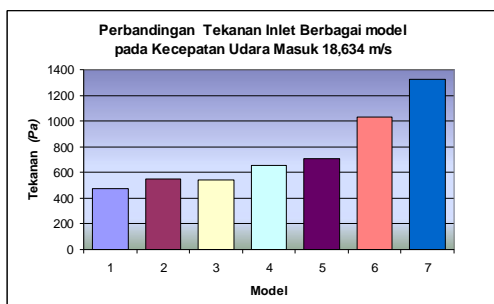
**ANALISIS DAN PEMBAHASAN
Tekanan pada Sisi Masukan/Inlet**



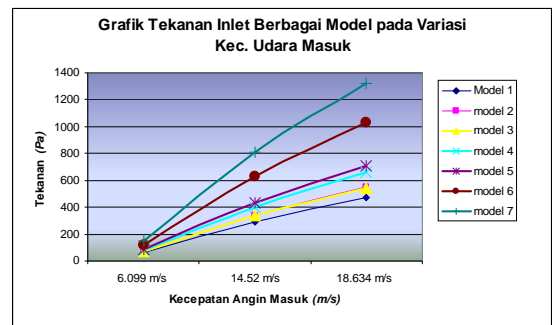
Gambar 11. Grafik Tekanan Vs Model pada kecepatan 6,099 m/s.



Gambar 12. Grafik Tekanan Vs Model pada kecepatan 14,52 m/s.



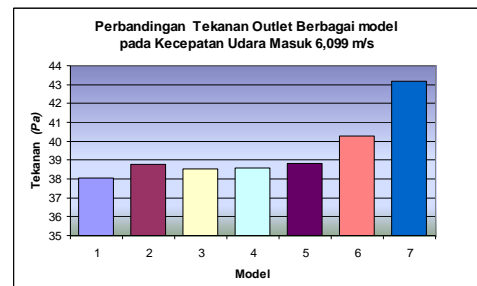
Gambar 13. Grafik Tekanan Vs Model pada kecepatan 18,634 m/s.



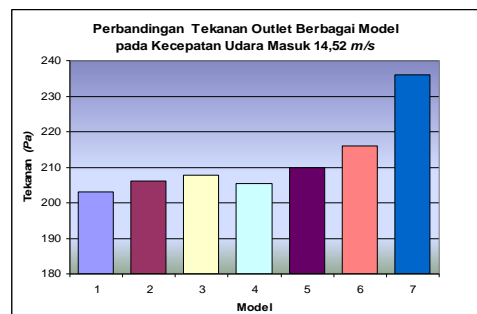
Gambar 14. Grafik Tekanan Vs Model pada berbagai kecepatan udara masuk

Jika dilihat secara keseluruhan dari model-model tersebut terlihat kecenderungan naiknya tekanan inlet karena pengaruh naiknya kecepatan udara masuk dan juga bentuk sudu. Semakin besar kecepatan angin masuk dan semakin besar sudut sudu *turbo cyclone* maka akan semakin tinggi pula tekanan inletnya. Bentuk sudu yang tidak berlubang juga memiliki tekanan inlet yang lebih besar daripada model yang sudunya berlubang. Tekanan inlet terbesar dialami oleh model 7, yaitu model yang memiliki desain sudu tidak berlubang dengan kemiringan sudu 45°.

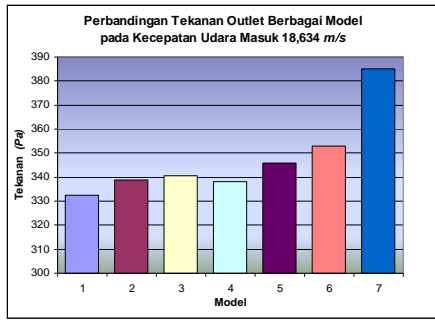
Tekanan pada Sisi Keluaran/outlet



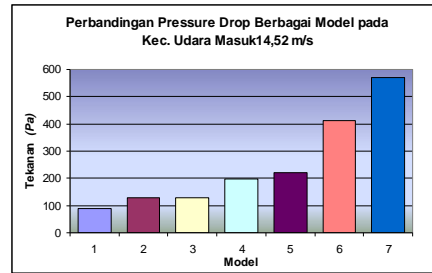
Gambar 15. Grafik Tekanan Vs Model pada kecepatan 6,099 m/s.



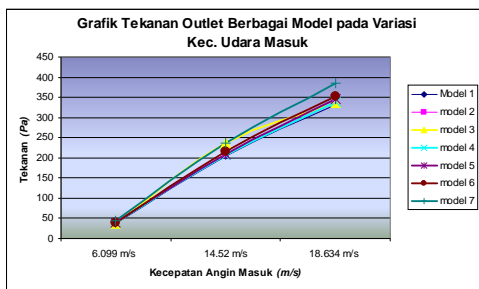
Gambar 16. Grafik Tekanan Vs Model pada kecepatan 14,52 m/s



Gambar 17. Grafik Tekanan Vs Model pada kecepatan udara masuk 18,634 m/s



Gambar 20. Grafik Tekanan Vs Model pada kecepatan udara masuk 14,52 m/s

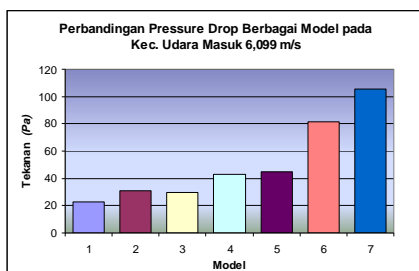


Gambar 18. Grafik Tekanan Vs Kecepatan Udara Masuk

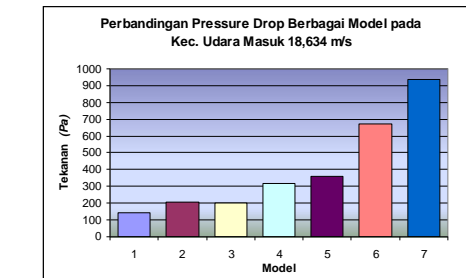
Dari gambar 18 terlihat bahwa pemasangan *turbo cyclone* mengakibatkan kenaikan tekanan outlet pada semua model. Besarnya kenaikan tekanan ini bertahap, semakin besar sudut sudu *turbo cyclone* dan kecepatan inlet semakin besar pula tekanan outletnya. Model dengan sudu tanpa lubang ternyata mempunyai tekanan outlet yang lebih besar dibanding model yang sudunya berlubang. Tekanan outlet terbesar dialami oleh model 7, sedang model 1 memiliki tekanan outlet yang paling kecil.

Dari gambar di atas terlihat bahwa kenaikan tekanan outlet, untuk kecepatan udara masuk yang sama, antara model yang satu dengan yang lain tidak begitu besar jika dibandingkan dengan pengaruhnya terhadap kenaikan tekanan inlet. Perubahan atau variasi yang memberikan pengaruh cukup besar terhadap kenaikan tekanan outlet hanya pada model 7, yaitu *turbo cyclone* yang memiliki bentuk sudu tidak berlubang dan memiliki kemiringan sudu 45°.

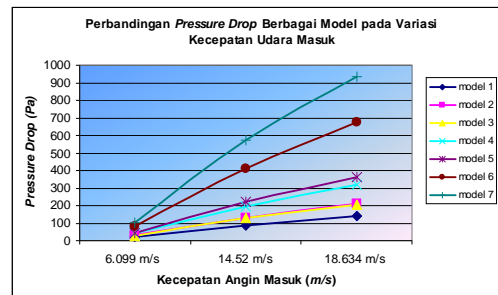
Pressure Drop



Gambar 19. Grafik Tekanan Vs Model pada kecepatan udara masuk 6,099 m/s



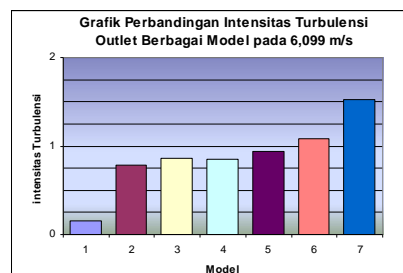
Gambar 21. Grafik Tekanan Vs Model pada kecepatan udara masuk 18,634 m/s



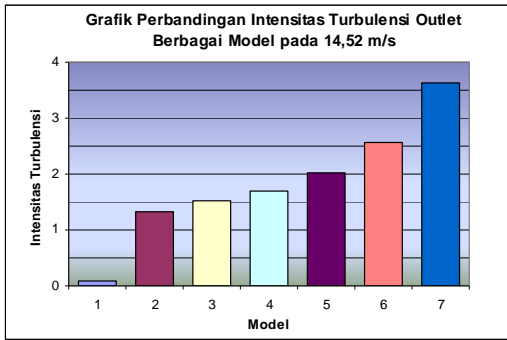
Gambar 22. Grafik Pressure drop Vs Kecepatan udara masuk

Secara umum pada semua model *pressure drop* yang terjadi mengalami peningkatan sejalan dengan naiknya kecepatan udara masuk. Semakin tinggi kecepatan udara masuk, semakin tinggi pula *pressure drop*-nya. Perubahan bentuk sudu dari yang berlubang menjadi tidak berlubang juga berdampak meningkatkan *pressure drop*.

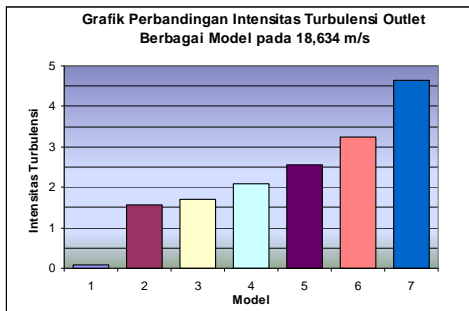
Intensitas turbulensi



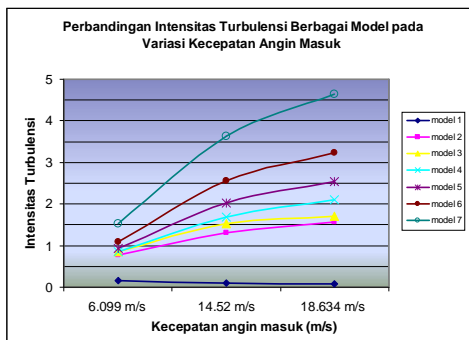
Gambar 23. Grafik Intensitas Turbulensi Vs Model pada kecepatan udara masuk 6,099 m/s



Gambar 24. Grafik Intensitas Turbulensi Vs Model pada kecepatan udara masuk 14,52 m/s

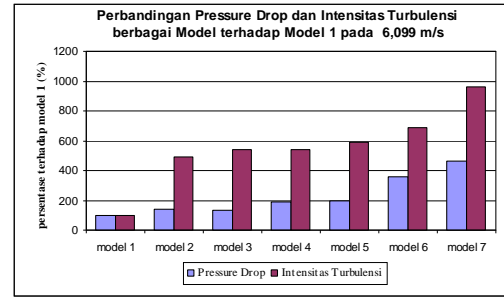


Gambar 25. Grafik Intensitas Turbulensi Vs Model pada kecepatan udara masuk 18,634 m/s

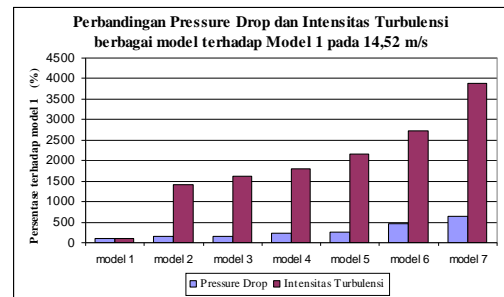


Gambar 26. Grafik Intensitas Turbulensi Vs Kecepatan udara masuk

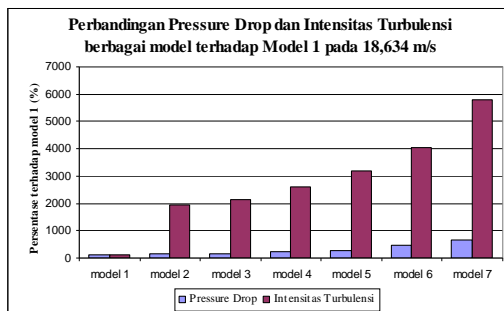
Dari gambar 26 terlihat bahwa pada semua model yang menggunakan *turbo cyclone* terjadi peningkatan intensitas turbulensi. Semakin tinggi kecepatan udara semakin tinggi pula intensitas turbulensinya. Penambahan sudut sudu *turbo cyclone* juga mempengaruhi intensitas turbulensi outlet saluran udara. Semakin besar sudut sudu *turbo cyclone* intensitas turbulensinya juga semakin besar. Demikian juga dengan perubahan bentuk sudu *turbo cyclone* mempunyai pengaruh terhadap intensitas turbulensi outlet. Dari gambar juga terlihat bahwa model 7 memiliki peningkatan intensitas turbulensi yang paling besar.



Gambar 27. Grafik Kenaikan Parameter Vs. Model, pada kecepatan udara masuk 6,099 m/s



Gambar 28. Grafik Kenaikan Parameter Vs. Model, pada kecepatan udara masuk 14,52 m/s



Gambar 29. Grafik Kenaikan Parameter Vs. Model, pada kecepatan udara masuk 18,634 m/s

Penambahan *turbo cyclone* pada saluran udara dapat mengubah karakteristik aliran udaranya. Terutama terhadap tekanan dan intensitas turbulensi. Dari simulasi didapatkan hasil yaitu terjadi peningkatan tekanan pada sisi inlet dan outlet, penurunan tekanan dan juga peningkatan intensitas turbulensi saluran udara. Dari gambar grafik di atas terlihat bahwa pada saluran udara yang dilengkapi dengan *turbo cyclone*, aliran udaranya memiliki sifat intensitas turbulensi sebanding dengan *pressure drop*nya. Semakin tinggi intensitas turbulensi juga dibarengi dengan kenaikan *pressure drop*nya. Terjadinya kenaikan *pressure drop* ini karena semakin tinggi kecepatan udara, tekanan pada sisi inlet juga semakin tinggi. Sedangkan untuk tekanan outletnya pada semua model untuk tiap kecepatan udara relatif hampir sama. Variasi bentuk sudu, antara berlubang

dan tidak berlubang serta semakin besarnya sudut sudu juga memiliki peran pada naiknya *pressure drop* dan intensitas turbulensi. Pada model yang sudunya tidak berlubang memiliki *pressure drop* dan intensitas turbulensi yang lebih besar dibandingkan dengan yang sudunya tidak berlubang. Serta semakin besar sudut sudu *turbo cyclone*, *pressure drop* dan intensitas turbulensinya juga akan semakin besar pula.

Visualisasi Pola Aliran

Seperti telah dijelaskan di atas, penambahan *turbo cyclone* pada saluran udara dapat mempengaruhi karakteristik aliran udara, dua diantaranya yaitu *pressure drop* dan intensitas turbulensi. Beberapa ilustrasi di bawah ini memberikan gambaran/visualisasi tentang perubahan/perbedaan karakteristik aliran udara pada saluran udara tanpa *turbo cyclone* (model 1), saluran udara dengan *turbo cyclone* standar (model 4) dan variasi model lain.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil simulasi efek *turbo cyclone* terhadap karakteristik aliran udara dalam saluran udara ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan *turbo cyclone* pada saluran udara dapat mengubah karakteristik aliran udara, dalam hal ini yaitu terjadinya *pressure drop* dan naiknya intensitas turbulensi outlet.
2. Besarnya *pressure drop* dan intensitas turbulensi sangat dipengaruhi oleh bentuk sudu. Dalam hal ini semakin besar sudut kemiringan sudu akan semakin besar pula *pressure drop* dan intensitas turbulensinya. Bentuk sudu tidak berlubang juga memiliki *pressure drop* dan intensitas turbulensi yang lebih besar dibanding model dengan *turbo cyclone* yang sudunya berlubang.
3. Pemasangan *turbo cyclone* sangat berpengaruh dalam menaikkan tekanan pada sisi masukan/inlet daripada sisi keluaran/outlet. Sehingga besarnya *pressure drop* lebih dominan dipengaruhi oleh tekanan inlet.
4. Dari simulasi didapatkan model 7 memiliki intensitas turbulensi dan *pressure drop* paling besar untuk semua kecepatan angin. Yaitu 105,32

Pa dan 1,52 pada kecepatan udara 6,099 m/s, 570,45 Pa dan 3,62 pada kecepatan udara 14,52 m/s, serta 937,73 Pa dan 4,64 pada kecepatan udara 18,634 m/s.

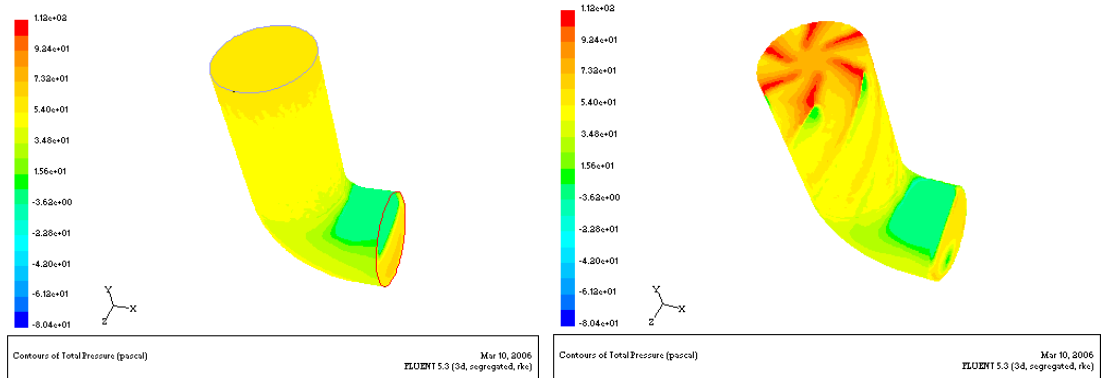
5. Dari simulasi juga didapatkan hasil pada model yang menggunakan *turbo cyclone*, intensitas turbulensi sebanding dengan *pressure drop*. Semakin tinggi intensitas turbulensinya semakin tinggi pula *pressure drop*-nya. Sehingga pemilihan model yang paling optimal akan sangat tergantung pada daerah kerja putaran mesinnya.

Saran

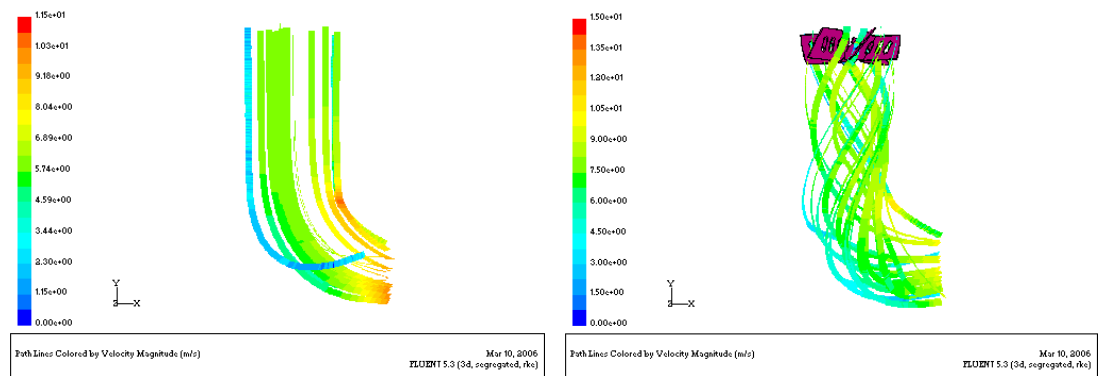
1. Perlu dilakukan penelitian desain sudu yang lebih bervariasi yang lain untuk mencari bentuk sudu yang optimal, dengan *viscous model* lain seperti *k-ε RNG* atau *LES*. Karena berdasarkan penelitian *Korean National Industry Research Intitute*, bentuk sudu sangat berpengaruh terhadap kinerja mesin.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan, aliran pada *intake manifold* hingga ke ruang bakar. Sehingga simulasi bisa menghasilkan estimasi penghematan bahan bakar.

DAFTAR PUSTAKA

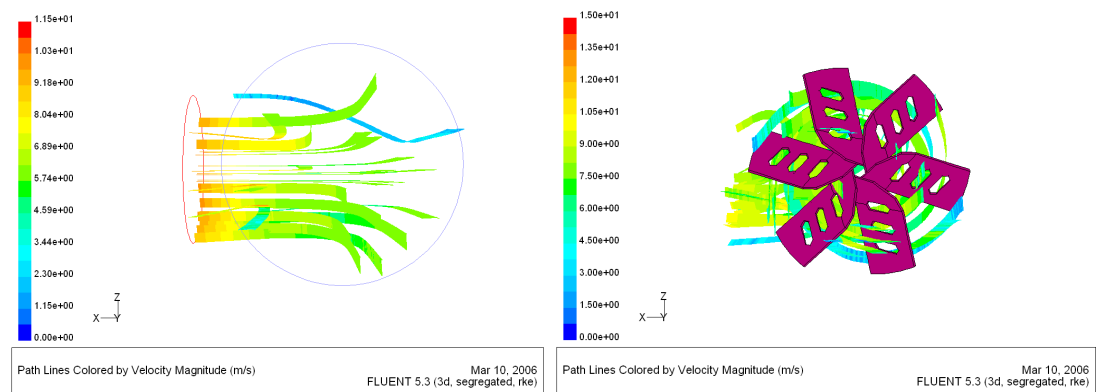
- [1] Fox, Robert W., McDonald, Alan T.: "Introduction to Fluid Mechanics," 4th Ed. New York. John Wiley & Sons, 1994.
- [2] Gerhart, Philip M., Gross, dan Richard J.: "Fundamentals of Fluid Mechanics." Massachusetts, Addison-Wesley Publishing Co., 1985.
- [3] Anderson, Jr. John D.: "Computational Fluid Dynamics: The Basics with Applications." New York, 1995.
- [4] Kegel, T.: "Flowmeter Installation Effects." Colorado Engineering Experiment Station, Inc. (CEESI). PDF.
- [5] Kim, Sei Y, *Air flow system for internal combustion system*, US Patent, 1988.
- [6] Islek, Akay A., *The Impact of Swirl in Turbulent Pipe Flow*, 2004.
- [7] Wang, Lingjuan, *Analysis of Cyclone Pressure Drop*, Texas A&M University College Station.
- [8] Kim, Sung-Eun, Tiberiu Barbat, Peter Spicka, *Meshing and CFD Accuracy*, Fluent Inc., 2005.



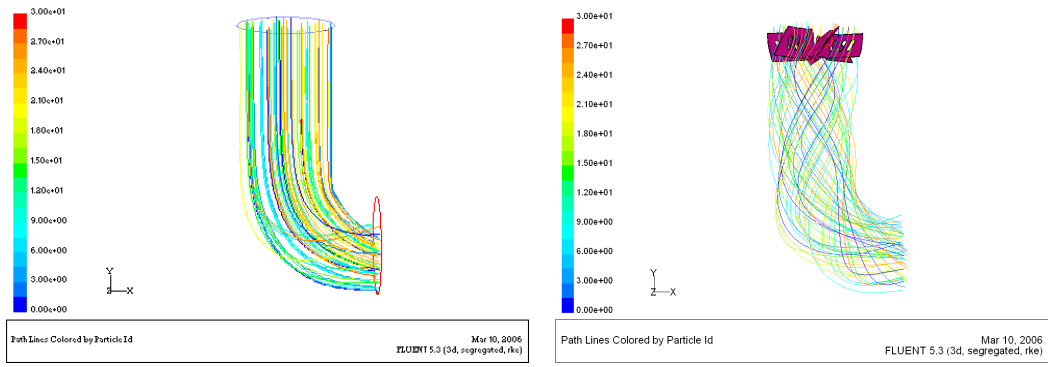
Gambar 30. Kontur Tekanan Total inlet, outlet dan dinding model 1 dan 4 pada kecepatan 6,099 m/s



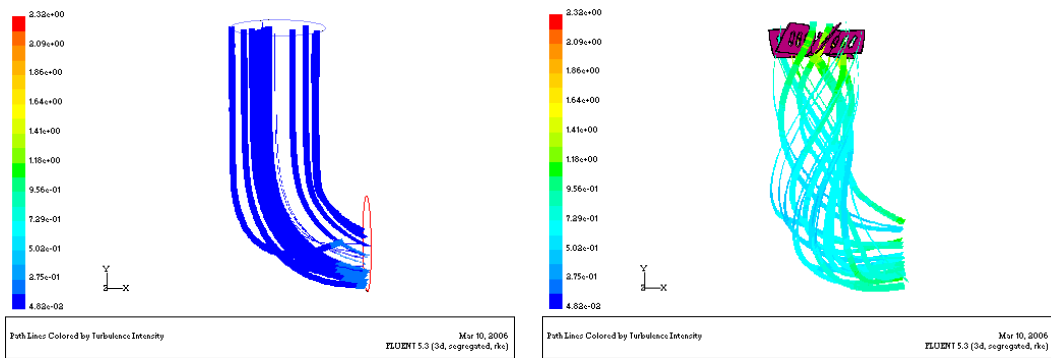
Gambar 31. Kontur Besar Kecepatan model 1 dan 4 pada kecepatan angin 6,099 m/s



Gambar 32. Kontur Besar Kecepatan, pandangan atas (sisi inlet) model 1 dan 4 pada kecepatan angin 6,099 m/s



Gambar 33. Pandangan depan model 1 dan 4 pada kecepatan udara masuk 6,099 m/s



Gambar 34. Pandangan depan model 1 dan 4 pada kecepatan udara masuk 6,099 m/s