

Simulasi Numerik pada *Rectangular Cylinder* dekat Dinding yang menggunakan *Diffuser* dan tanpa *Diffuser* dengan Menggunakan $K \epsilon$ Model

Numerical Simulation On Near Wall Rectangular Cylinder Use Diffuser And Without Diffuser Using $K \epsilon$ Model

Nuzul Hidayat

Jurusan Teknik Otomotif Universitas Negeri Padang Email : nuzulhidayat1601@gmail.com

Abstract

Rectangular Cylinder with a rectangular cross section is also used as a building, the architectural features of the building, the internal flow geometry, and beam. In addition, flow around Rectangular Cylinder can produce local instability and can lead to global instability. Diffuser can work for both conditions by reducing the drag force and increase down force. Diffuser is designed to change the fluid kinetic energy into potential energy in the form of pressure. The increase in pressure that occurs in the diffuser will generate a positive pressure gradient or also called adverse pressure gradient (APG). In this case Rectangular Cylinder that use Diffuser And Without Diffuser at $Re\ 1 \times 10^6$ obtained graphs of: (a) Drag Coefficient (C_d) (b) Lift Coefficient (C_l) and (c) Velocity contour in the area of mid span numerically using the software Fluent 6.3.26 with $k \epsilon$ - turbulence models that Standard are two-dimensional (2D). On the Cylinder Rectangular diffuser values obtained using 1:36 C_d and C_l -0.81 and Rectangular Cylinder without diffuser obtained value C_d C_l 0:47 and 1:53, clearly visible on the use Rectangular Cylinder diffuser turns diffuser provides greater C_d and C_l negative or increase down force. The treatment is to eliminate the other side upper corner on the front of a quarter circle with $r = 0.1$, this produces a different contour velocity when compared experiment this treatment capable of eliminating reattached flow on the upper side area.

Keyword: Reattached flow, Rectangular Cylinder, Diffuser, Drag Coefficient (C_d), Lift Coefficient (C_f)

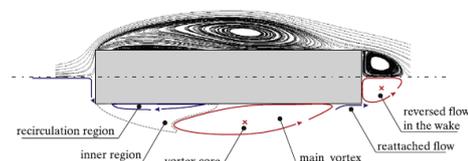
PENDAHULUAN

Masalah *Rectangular Cylinder* paling mendasar pada fluida dinamis seperti silinder melingkar dan persegi telah diteliti secara ekstensif baik secara numerik dan eksperimental. Pada struktur kendaraan seperti aliran di sekitar dekat dengan dinding pesawat memiliki

Subyek penelitian luas [1] penelitian secara numerik tentang efek dari ketinggian gap dari dasar pada medan aliran *wake* tidak stabil sekitar *Rectangular Cylinder* dekat dengan dinding.

Mereka menyimpulkan bahwa dengan memberikan potongan horizontal dan vertikal pada pelat hambatan pada bagian bawah dapat mengurangi *vortex shedding* dan mengurangi *drag* aerodinamis dan gaya angkat persegi panjang [2] mempelajari bangun persegi silinder ditempatkan dekat dinding pesawat di nilai yang berbeda dari hambatan untuk perbedaan tinggi dinding.

Hasil numerik mereka menunjukkan bahwa kekuatan dari vortisitas positif yang timbul dari sisi bawah hambatan berkurang ketika perbedaan ketinggian diturunkan. Pusaran shedding ditekan pada perbedaan ketinggian kritis. Koefisien rata-rata pada hambatan menurun dengan pengurangan ketinggian perbedaan gaya hambatan dan gaya angkat mengalami positif yang besar ketika dibawa dekat dengan dinding.



Gambar 1. Skema dari struktur aliran yang umumnya pada *Rectangular Cylinder* Sedangkan *diffuser* adalah salah satu perangkat aerodinamis yang paling penting sering ditemukan pada Formula 1 [1]. Hal ini sering digunakan untuk mengurangi angkat untuk mobil balap. Dalam beberapa tahun terakhir, diffuser

juga telah banyak digunakan dalam mobil biasa. *Diffuser* dapat bekerja untuk mengurangi drag dan meningkatkan *downforce* mengemudi mobil [3], yang dapat meningkatkan bahan bakar lebih ekonomis dan stabilitas dalam mengoperasikan kendaraan [4]. Telah terbukti dalam penelitian yang diterbitkan oleh Cederlund dan Lasse Christoffersen, bahwa struktur bangun dari roda belakang dan sayap belakang untuk mobil sport dapat memiliki signifikan berpengaruh pada aliran udara melalui *diffuser* [5, 6].

Ini juga telah ditunjukkan dalam studi yang diterbitkan bahwa sudut *diffuser* dan *ground clearance* merupakan peran penting dalam fungsi *diffuser* [7].

Diffuser merupakan sebuah saluran tertutup dengan penampang melintang yang membesar sepanjang arah aliran. *Diffuser* didesain untuk merubah energi kinetik fluida menjadi energi potensial dalam bentuk tekanan. Peningkatan tekanan yang terjadi di dalam *diffuser* akan menghasilkan gradient tekanan yang positif atau disebut juga dengan *adverse pressure gradient* (APG). Adanya APG mengakibatkan perkembangan *boundary layer* yang sangat cepat dan semakin sensitif terhadap terjadinya separasi aliran di dalam *diffuser*.

Terjadinya separasi merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi nilai *coefficient pressure* (C_p) suatu *diffuser*. Hal tersebut mengakibatkan *diffuser pressure recovery* menjadi rendah apabila aliran di dalam *diffuser* mengalami separasi akibat APG yang sangat besar. Jika hal ini terjadi performa *diffuser* akan menurun.

Dalam penelitian ini peneliti menggunakan 2 objek penelitian yaitu pada *Rectangular Cylinder* dengan *diffuser* dan *Rectangular Cylinder* tanpa *diffuser*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik *boundary layer turbulen* pada *Rectangular Cylinder* yang menggunakan *diffuser* Dan tanpa *diffuser* untuk kasus Re 1×10^6 dengan cara mendapatkan grafik bagaimana pengaruh penggunaan *diffuser* terhadap a) *Drag Coefficient* (C_d) (b) *Lift Coefficient* (C_l) dan (c) *Velocity contour*

Parameter tersebut diukur pada daerah *mid span* dengan $R_g = 1 \times 10^6$. Penelitian ini juga bertujuan untuk membandingkan hasil penelitian secara eksperimen dengan hasil penelitian secara numerik menggunakan *software* Fluent 6.3.26 dimana pada penelitian secara numerik digunakan *turbulence model* yaitu $k-\epsilon$ Standar. Analisa pada penelitian numerik dilakukan secara 2 dimensi (2D).

Formulasi Matematika

Menggunakan *Reynold Averaged Navier Stokes Equations* Dari Massa Dan Momentum :

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial P}{\partial x_i} \right) + \nu \left(\frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j^2} \right) - \overline{u_i' u_j'} \dots (2)$$

dimana $i, j = 1, 2$. Berikut x_1 dan x_2 menunjukkan arah horizontal dan vertikal, masing masing; u_1 dan u_2 adalah komponen kecepatan rata-rata; $\overline{u_i' u_j'}$ adalah komponen tegangan Reynolds dimana u_i' menunjukkan fluktuasi kecepatan; P adalah tekanan; dan ρ adalah densitas dari fluida.

Tegangan Reynolds komponen, $\overline{u_i' u_j'}$, dinyatakan dalam viskositas turbulen ν_T dan aliran gradient rata-rata dengan menggunakan pendekatan Boussinesq,

$$\overline{u_i' u_j'} = -\nu_T \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} k \delta_{ij} \dots \dots \dots (3)$$

Di mana k adalah energi kinetik turbulen dan δ_{ij} adalah fungsi Kronecker. Sekarang para peneliti sering menggunakan standar bilangan Reynolds tinggi pemodelan $k-\epsilon$ turbulensi. Model ini telah diterapkan Franke dan Rodi [9] untuk *vortex shedding flow* dengan. Persamaan k dan ϵ ditunjukkan:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + u_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\nu_T}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + \nu_T \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \epsilon \dots \dots (4)$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + u_j \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\nu_T}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right) + C_{1k} \frac{\epsilon}{k} \nu_T \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - C_{2k} \frac{\epsilon^2}{k} \dots (5)$$

dimana $\nu_T = C\mu \left(k^2 / \epsilon \right)$ untuk koefisien standart diambil dari

$$(C_1 = 1,44 ; C_2 = 1,92 ; C_\mu = 0,09 ; \sigma_k = 1,00 ; \sigma_\epsilon = 1,3)$$

Prosedur Solusi Numerik, Domain Komputasi Dan Kondisi Batas *Reynolds-Averaged Navier Stokes Equations* untuk konservasi massa dan momentum, dalam hubungannya dengan standar bilangan Reynolds yang tinggi pada K- ϵ model, diselesaikan dengan menggunakan Metode *First Order Upwind*.

- a. Aliran seragam dengan inlet $u_1 = U_\infty$; $u_2 = 0$. Nilai inlet turbulensi aliran bebas

untuk energi kinetik $k = ((3/2)(I_u U_\infty)^2)$ dan disipasi turbulen $\epsilon = ((C_\mu k^{3/2})/(0.1L))$: hal ini telah disampaikan oleh Tutar dan Holdø [10], hal ini telah dicoba pada intensitas turbulen ($I_u = \frac{u'_1}{u_\infty}$) adalah 1% dan panjang skala turbulen (L/D) adalah 0,01.

- b. Sepanjang batas keluar, u_1, u_2, k dan ϵ ditetapkan sebagai kondisi batas bebas dalam konteks elemen terbatas. Ini berarti bahwa traksi tekanan kecepatan bebas, syarat batas diterapkan untuk u_1, u_2 dan P, sedangkan fluks diatur sama dengan nol untuk k dan ϵ . Sepanjang batas atas dan bawah, u_1, k dan ϵ adalah bebas, sedangkan u_2 ditetapkan sama dengan nol.

- c. Permukaan Rectangular Cylinder *no-slip condition* $u_1, u_2 = 0$

- d. k dan ϵ dekat dinding Rectangular Cylinder

$$k = \frac{u_\tau^2}{\sqrt{C_\mu}}, \epsilon = C_\mu^{3/4} \frac{k^{3/2}}{k h_p} \dots \dots \dots (6)$$

untuk k=0,41

Model numerik

Dalam model numerik ini peneliti harus sangat memperhatikan *factor meshing* untuk akurasi data. Pemberian *meshing* sangat diperhatikan pada daerah *boundary layer* yaitu pada bagian *upstream* setelah *bluff body* dimana *grid* dari *meshing* di

rapatkan untuk mendapatkan yang valid. Dimensi yang digunakan adalah 33,6 m x 8,88 m, untuk gap 0.08 m dari dinding. Kemudian kecepatan aliran yang digunakan adalah 40m/s. Sedangkan pada objek penelitian peneliti menggunakan 2 (dua) objek *Rectangular Cylinder* yaitu tanpa menggunakan *diffuser* dan dengan *diffuser*. *Diffuser* diberikan dengan cara memotong bagian belakang *rectangular cylinder* sebesar 0,2 (lihat gambar 1)

- a. Tanpa *diffuser*

Dengan skala 1 : 0.1 meter

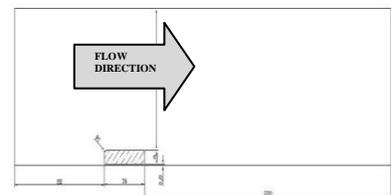
$$u_1 = \text{bebas}, \quad u_2 = 0, \quad k = \text{bebas}, \quad \epsilon = \text{bebas}$$

$$k = \frac{3}{2} (I_u U_\infty)^2$$

$$\epsilon = \frac{C_\mu k^{3/2}}{(0.1L)}$$

$$u_2 = 0$$

$$u_1 = U_\infty$$



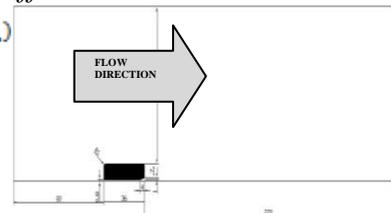
- b. Dengan *diffuser*

$$k = \frac{3}{2} (I_u U_\infty)^2$$

$$\epsilon = \frac{C_\mu k^{3/2}}{(0.1L)}$$

$$u_2 = 0$$

$$u_1 = U_\infty$$



Jelas perbedaan terhadap benda uji dapat kita lihat dari gambar diatas dan juga *boundary conditionnya*

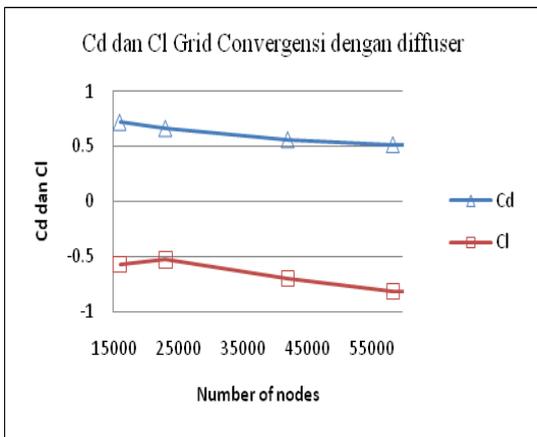
Rincian mesh *Finite Elements* yang digunakan dan Grid konvergensi. Dalam penelitian ini peneliti menggunakan 5 buah meshing diantaranya diberi kode A, B, C, D dan E dengan masing node yang berbeda dari A sampai E dengan node yang semakin banyak. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada table dibawah ini.

- a. *Rectangular Cylinder* Menggunakan *Difusser*

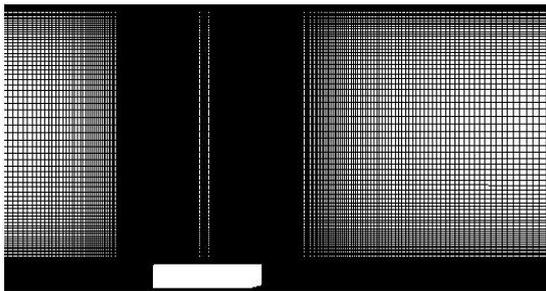
Tabel 1. Perincian *finite elements* dan Grid konvergensi pada *Rectangular Cylinder* menggunakan *difusser*.

Meshing	Rectangular cylinder dengan diffuser		Nodes	Finite elements
	Cd	Cl		
A	0.719230	-0.57320	16.144	15.812
B	0.663715	-0.52864	23.236	22.812
C	0.562187	-0.69620	54.536	53.580
D	0.515943	-0.81657	58.534	57.714
E	0.515164	-0.81686	75.898	74.920

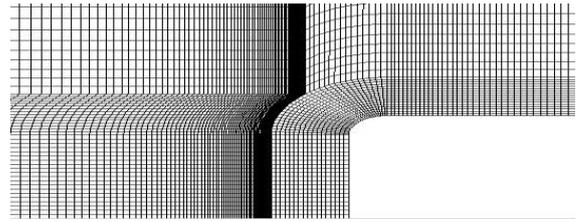
Dari tabel diatas maka pada *meshing* D dan E sudah mendapatkan konvergensi dengan tingkat kesalahan 0.0779 untuk Cd dan 0.029 untuk Cl pada $Re = 1 \times 10^6$ maka untuk itu digunakan *meshing* D dengan banyak nodes 59.235. dalam hal ini digunakan yang sedikit nodes agar dalam iterasinya lebih mudah mencapai konvergen. hal dapat dilihat pada grafik berikut



Grafik 1. Perincian *finite elements* dan Grid konvergensi pada *Rectangular Cylinder* menggunakan *diffuser* pada $Re = 1 \times 10^6$



Gambar 2. *Meshing* D 58.534 nodes dan 57.714 *finite elements* dari *Rectangular Cylinder* menggunakan *diffuser*

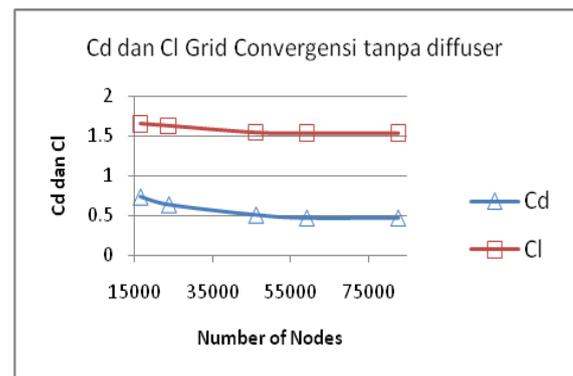


Gambar 3. *Meshing* D dari *Rectangular Cylinder* menggunakan *diffuser*
 b. *Rectangular Cylinder* Menggunakan tanpa *Diffuser*

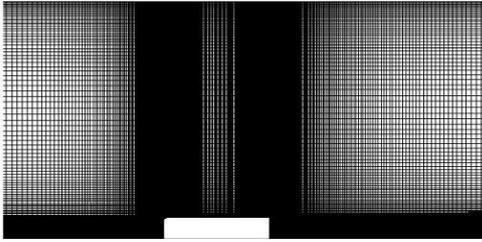
Tabel 2. Perincian *finite elements* dan Grid konvergensi pada *Rectangular Cylinder* tanpa *diffuser*.

Meshing	Rectangular cylinder dengan diffuser		Nodes	finite elements
	Cd	Cl		
A	0.738152	1.651223	16.340	16.012
B	0.639192	1.624155	23.658	23.228
C	0.512050	1.542121	46.143	45.468
D	0.474517	1.532148	59.235	58.418
E	0.474861	1.532899	82.773	81.800

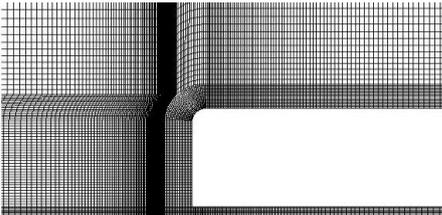
Dari tabel diatas maka pada *meshing* D dan E sudah mendapatkan konvergensi dengan tingkat kesalahan 0.0344 untuk Cd dan 0.0759 untuk Cl pada $Re = 1 \times 10^6$ maka untuk itu digunakan *meshing* D dengan banyak nodes 59.235. dalam hal ini digunakan yang sedikit nodes agar dalam iterasinya lebih mudah mencapai konvergen. Hal dapat dilihat pada grafik berikut:



Grafik 2. Perincian *finite elements* dan Grid konvergensi pada *Rectangular Cylinder* menggunakan *diffuser* pada $Re = 1 \times 10^6$



Gambar 4. Meshing D 59.235 nodes dan 58.418 finite elements dari *Rectangular Cylinder* tanpa diffuser



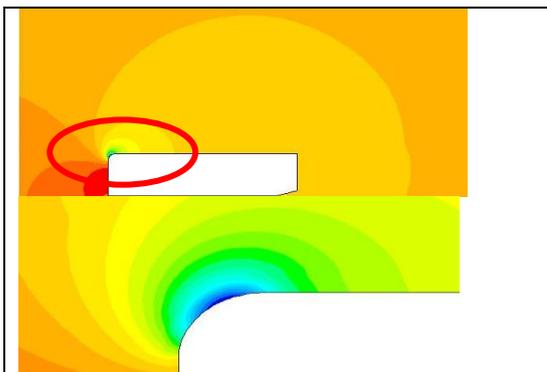
Gambar 5. Meshing D dari *Rectangular Cylinder* tanpa diffuser

HASIL DAN PEMBAHASAN

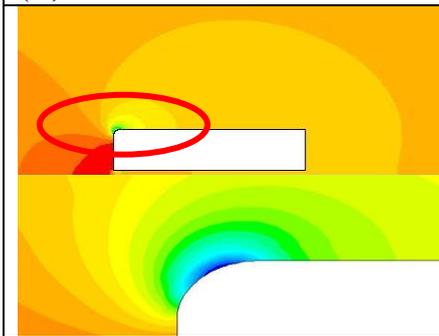
Dari hasil komputasi $Re = 1 \times 10^6$ dan velocity 40 m/s maka didapat data dengan menggunakan metode K- ϵ model. Data yang akan dianalisa adalah tentang perbandingan antara *eksperiment* dan pendekatan numeric terhadap koefisien *drag*, koefisien *lift* dan *skin frictions*, serta perbandingan turbulen intensitas pada pendekatan numerik yang menggunakan *Rectangular Cylinder* dengan *diffuser* dan tanpa *diffuser*.

Koefisien *drag* (C_f) dan Koefisien *Lift* (C_l)

Dalam hal ini peneliti membandingkan koefisien *drag* antara *Rectangular Cylinder* menggunakan *diffuser* dan tanpa *diffuser*



Rectangular Cylinder dengan *diffuser* (A)



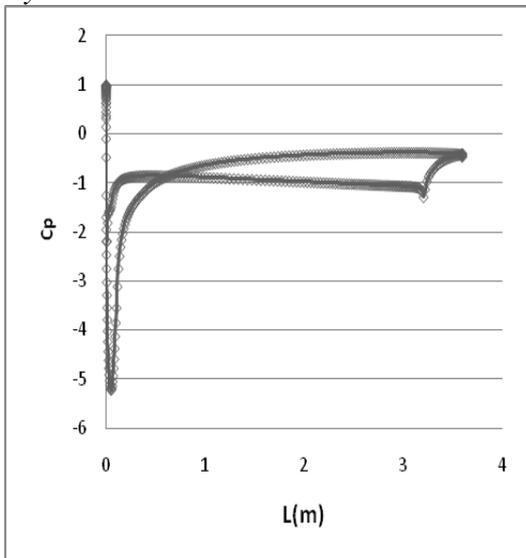
Rectangular Cylinder tanpa *diffuser* (B)

Gambar 6. Perbandingan Koefisien *drag* pada *Rectangular Cylinder* menggunakan *diffuser* dan tanpa *diffuser*

Dari gambar diatas (6A) pada bagian yang dilingkari dapat dijelaskan bahwa pada *Rectangular Cylinder* menggunakan *diffuser* koefisien *drag* pada daerah stagnasi lebih cenderung tinggi yaitu 1.3583443 dan tanpa *diffuser* 0.4737141 apabila kita bandingkan maka akan terlihat bahwa pada *Rectangular Cylinder* menggunakan *diffuser* C_d lebih besar dibandingkan tanpa *diffuser* ini diakibatkan oleh tekanan pada daerah stagnasi naik akibat aliran pada gap yang menggunakan *diffuser* lebih tinggi apabila dibandingkan tanpa *diffuser*. Dari aliran yang melalui *gap* lebih cepat terlepas atau dengan kata lain aliran yang terdapat pada *gap* tekanannya lebih rendah dibandingkan dengan *Rectangular Cylinder* tanpa *diffuser* karena daerah gapnya 0.4 lebih pendek. Sedangkan pada puncak dari *Rectangular Cylinder* dengan menghilangkan sudut siku kemudian diganti dengan $\frac{1}{4}$ lingkaran dengan diameter 0.1 m mengakibatkan koefisien *pressure* paling rendah didaerah tersebut. Yang seharusnya pada daerah tersebut adalah daerah yang memiliki koefisien *pressure* yang tinggi. Dengan memberikan sedikit modifikasi seperti ini ternyata dapat mengubah secara drastis koefisien *drag* apa bila dibandingkan dengan hasil *experiment*[8]. Hal ini sama apabila dibandingkan dengan *Rectangular Cylinder* tanpa *diffuser*.

Kemudian pada gambar (6B) pada bagian yang dilingkari kita lihat koefisien *drag* pada daerah stagnasi lebih besar ini dibuktikan dengan warna gambar jauh lebih besar dibandingkan dengan *diffuser* ini dipengaruhi oleh *gap* yang panjang 0.4 dibandingkan dengan menggunakan *diffuser* hal ini membuat tekanan pada *gap* naik, semakin panjang area *gap* sempit maka tekanan pada area stagnasi akan semakin tinggi. Dalam hal ini memang pemberian *diffuser* pada *Rectangular Cylinder* dapat menaikkan koefisien *drag*.

Jika kita analisa dari grafik koefisien *pressure* terhadap panjang *Rectangular Cylinder*

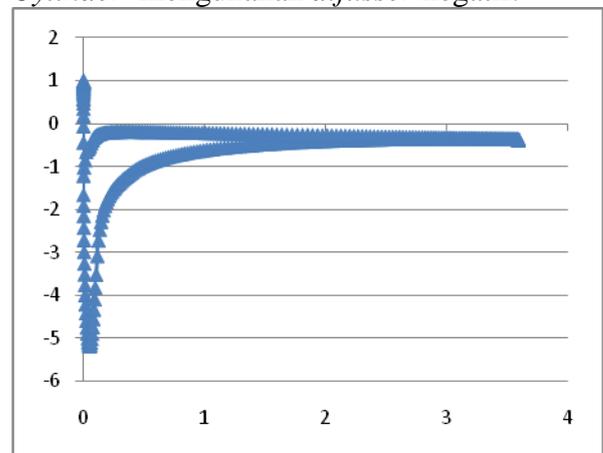


Grafik 3. Koefisien *pressure* pada *Rectangular Cylinder* menggunakan *diffuser* pada $R_{e_s} = 1 \times 10^6$

Dari grafik 3 diatas dapat dianalisa bahwa tekanan pada bagian *lower side* dari *Rectangular Cylinder* menggunakan *diffuser* lebih cenderung lebih rendah dengan tekanan pada bagian *upper side* dari *Rectangular Cylinder* dan pada bagian *lower* lebih konstan sepanjang *gap*. Kemudian pada $L = 3.25\text{m}$ terjadi penurunan tekanan yang diakibatkan *diffuser* pada $L = 3.25\text{m}$ sekitar $C_p = -1.1$ penurunan terjadi sepanjang *diffuser* atau $L = 3.6\text{m}$ selanjutnya sampai ujung dari *Rectangular Cylinder*. Dan pada bagian kepala dari *Rectangular Cylinder* bagian depan mengalami koefisien *pressure* paling rendah yaitu pada jarak sekitar $L = 0.1\text{m}$

dengan koefisien *pressurennya* $C_p = -5.5$ dan kemudian naik sesuai *countor Rectangular Cylinder* menuju titik stagnasi, pada titik stagnasi mengalami tekanan yang paling tinggi pada $L = 0\text{m}$ yaitu $C_p = 1$, kemudian setelah dari titik stagnasi kembali turun menuju *gap* pada $L = 0.1$ koefisien *pressurennya* $C_p = -1$ dan cenderung konstan menuju belakang dari *Rectangular Cylinder*.

Pada *Rectangular Cylinder* menggunakan *diffuser* koefisien *pressure* terdistribusi sepanjang *gap* akibat terjadinya tekanan yang cukup rendah, hal ini mengakibatkan tekanan pada *upper side* lebih besar sekitar $C_p = 0.5$ dibanding dengan *lower side*. Hal ini jelas terlihat pada $L = 3.25\text{m}$ antara *upper side* dan *lower side* memiliki selisih $C_p = 1$ akibatnya terjadi nilai koefisien *Lift (Cl)* bernilai negatif ini dibuktikan dengan hasil numeric yaitu untuk koefisien *Lift (Cl)* = -0.81657 inilah alasan kenapa gaya angkat atau koefisien *Lift (Cf)* pada *Rectangular Cylinder* menggunakan *diffuser* negatif.



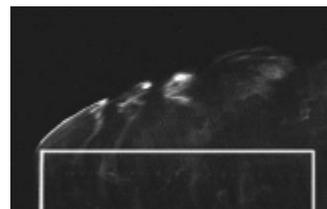
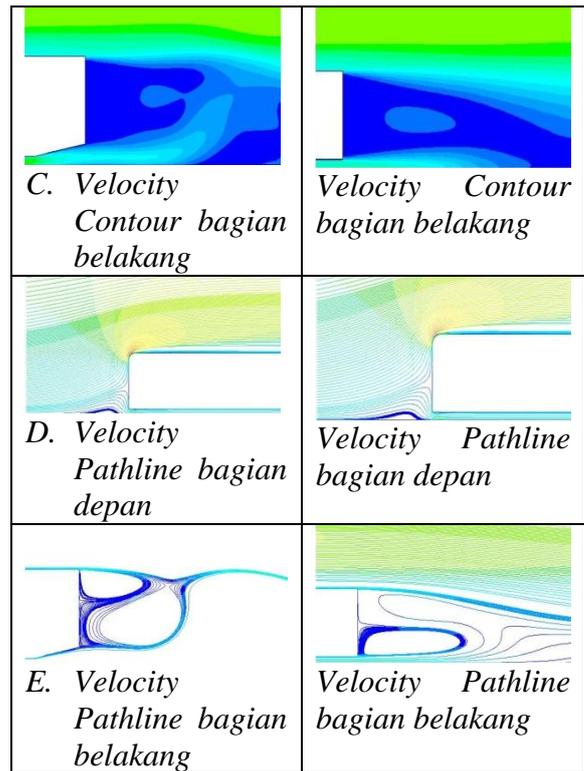
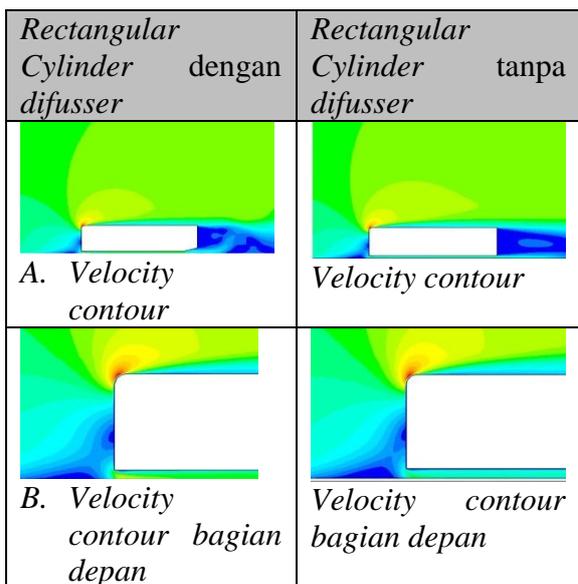
Grafik 4. Koefisien *pressure* pada *Rectangular Cylinder* tanpa *diffuser* pada $R_{e_s} = 1 \times 10^6$

Pada grafik 4 diatas maka dapat dianalisa bahwa koefisien *pressure* pada *Rectangular Cylinder* tanpa *diffuser* pada bagian *lower side* cenderung lebih rendah dibanding bagian *upper side* ini dapat dilihat dan dan pada $L = 3$ maka C_p konstan baik *upper side* ataupun *lower side*. Kemudian kita lihat distribusi koefisien *pressurennya* pada daerah stagnasi $L = 0$ nilai $C_p = 1$ ini adalah tekanan yang paling

tinggi, jika dibanding dengan *Rectangular Cylinder* dengan *difusser* ini lebih rendah, namun hal ini malah membuat distribusi sepanjang gap menjadi konstan akibatnya tekanan pada *lower side* lebih tinggi dari pada *upper side*. Kemudian tekanan turun sesuai *counturnya* dan yaitu pada $L= 0.1$ m nilai $C_p = -5.5$ hal ini jika dibandingkan dengan *Rectangular Cylinder* dengan *difusser* sama. Kemudian tekanan naik sesuai dengan *counturnya* dan seterusnya cenderung konstan sampai $L=3.6$ atau ujung *Rectangular Cylinder*. Akibat dari distribusi tekanan pada *upper side* dan *lower side* di *Rectangular Cylinder* tanpa *difusser* menjadikan koefisien *Lift (Cl)* pada *Rectangular Cylinder* tanpa *difusser* menjadi positif ini terbukti dengan pendekatan numerikal koefisien *Lift (Cl)* = 1.532148

Velocity Contour

Setelah melakukan pendekatan secara numerik bahwa didapat data visualisasi bagaimana *Velocity Contour* yang terjadi pada *Rectangular Cylinder* dengan *difusser* dan *Rectangular Cylinder* tanpa *difusser* apakah dengan memberikan perubahan yang signifikan pada *Rectangular Cylinder* tersebut Untuk lebih jelasnya dapat kita lihat pada gambar 7.



Gambar 8. Eksperiment [8] pada Re_D 10 000: L/D 0.67

Dari gambar perbandingan diatas maka dapat kita analisa bahwa:

- a. Pada gambar 7(A) bahwa perbandingan secara keseluruhan pada dengan *Rectangular Cylinder* dengan *difusser* dan *Rectangular Cylinder* tanpa *difusser* terhadap *Velocity Contournya* sangat jauh berbeda, pertama kita bandingkan dengan hasil eksperimen [5] bahwa dengan memodifikasi bagian sudut depan dari *upper side* dengan menghilangkan sudut 90° ternyata dapat mengubah bentuk *Velocity Contour* secara signifikan yaitunya dapat menghilangkan terjadinya *recirculation region* yang nantinya akan membentuk *vortex core* dan selanjtnya menjadi *main vortex* dan jika *Rectangular Cylinder* panjang maka akan memungkinkan terjadinya

- reattached flow* pada *upper side* atau *lower side* pada *Rectangular Cylinder*.
- b. Pada gambar 7 (B) pada bagian dari depan *Rectangular Cylinder* dengan *difusser* terjadi *separation bubble* yang lebih kecil dibandingkan dengan *Rectangular Cylinder* tanpa *difusser* karena hal ini diakibatkan oleh tekanan yang dihasilkan oleh gap. Pada dengan *Rectangular Cylinder* dengan *difusser* tekanannya rendah karena dengan adanya *diffuser* membantu mempercepat aliran yang terjadi pada gap maka *separation bubble* terjadi kecil kecepatan cenderung lebih tinggi dan pada *Rectangular Cylinder* tanpa *difusser* tekanan pada gap tinggi karena jarak tempuh aliran pada gap panjang karena sesuai dengan karakteristik fluida tidak suka dengan celah sempit, akibatnya *separation bubble* yang terjadi pada bagian depan lebih besar karena lairan lebih lambat. Kemudian untuk bagian depan pada titik stagnasi hamper sama dimana aliran dalam kecepatan 0. Dan aliran tertinggi terjadi pada sudut bagian *upper side* depan.
 - c. Pada gambar 7 (C) *Velocity Contour* setelah melewati *Rectangular Cylinder*, pada *Rectangular Cylinder* dengan *difusser* dapat dianalisa bahwa *reversed flow in the wake* lebih kecil atau *adverse pressure* lebih cepat terlepas karena aliran yang cukup tinggi ditimbulkan oleh *diffuser* mampu mendorong *reversed flow in the wake* disini terjadilah pelepasan *vortex*, dengan cepat terlepasnya *vortex* maka tingkat *instability* pada bagian belakang *Rectangular Cylinder* menjadi rendah artinya jika *Rectangular Cylinder* diluncurkan pada kecepatan aliran tinggi maka *reversed flow in the wake* tidak terlalu mempengaruhi *vibration* terhadap *Rectangular Cylinder* itu sendiri. Maka dari itu karena *wake* cepat terlepas tekanan sesudah *difusser* rendah akibatnya gaya *lift (cf)* yang dihasilkan negatife, tekanan pada *upper side* lebih besar disbanding *lower side*.

Sedanglan pada *Rectangular Cylinder* tanpa *difusser* malah sebaliknya yaitu akibat aliran sepanjang gap mengalir pada tekanan yang cukup tinggi maka *Velocity* menjadi rendah, ini berdampak pada *reversed flow in the wake*, karena kecepatan aliran setelah gap rendah maka tidak mampu untuk mendorong *vortex* yang terjadi akibat *reversed flow in the wake* akibatnya *adverse pressure* lebih lama terlepas ini ternyata mengakibatkan *instability* pada belakang *Rectangular Cylinder* tinggi akibatnya jika *Rectangular Cylinder* diluncurkan pada kecepatan aliran yang tinggi maka *reversed flow in the wake* akan mempengaruhi *vibration* menjadi besar. *Rectangular Cylinder* akan terangkat-angkat. Hal ini dapat kita buktikan dengan pendekatan numerik diatas bahwa hasil koefisien gaya *lift (cf)* positif.

- d. Pada gambar 7 (D) dan (E) adalah *Velocity Pathline* untuk memperjelas bagaimana bentuk aliran disekitar *Rectangular Cylinder* dengan *difusser* dan *Rectangular Cylinder* tanpa *difusser*. Digambar dapat kita lihat bagaimana *separation bubble* dibagian depan *Rectangular Cylinder* dengan *difusser* lebih kecil dibandingkan *separation bubble* pada bagian depannya *Rectangular Cylinder* tanpa *difusser*, karena tekanan pada gap *Rectangular Cylinder* dengan *difusser* lebih rendah dengan adanya *diffuser* dan pada *Rectangular Cylinder* tanpa *difusser* tekanan pada gapnya lebih tinggi mengakibatkan *blockage effect* yang lebih besar.

Selanjutnya *vortex* pada bagian belakang *Rectangular Cylinder* dengan *difusser* lebih cepat lepas dibandingkan *vortex* pada *Rectangular Cylinder* tanpa *difusser* karena yang menggunakan *diffuser* kecepatan aliranyang keluar dari gap tinggi sehingga mendesak *vortex* untuk lepas dari belakang *Rectangular Cylinder* dan sebaliknya pada *Rectangular Cylinder* tanpa *difusser* kecepatan aliran keluar dari

gap rendah sehingga tidak mampu *vortex* untuk lepas dari *Rectangular Cylinder*. Dari analisa diatas bahwa *Velocity Contour* pada sebuah *Rectangular Cylinder* sangat tergantung dari *counturnya*.

SIMPULAN

Setelah melakukan pendekatan secara numerik dan setelah menganalisa data dapat diambil beberapa kesimpulan:

1. Pada *Rectangular Cylinder* tanpa *diffuser* memberikan nilai Cd yang besar serta nilai Cl yang positif, dan pada *Velocity Contour* juga mengakibatkan *adverse pressure* yang dihasilkan oleh *reversed flow in the wake* lambat untuk terlepas dari bagian belakang *Rectangular Cylinder* ini mengakibatkan *instability* yang tinggi. Kemudian kecendrungan nilai Cl naik dengan naiknya Re. Ini memberikan dampak negative jika di aplikasikan pada kendaraan berkecepatan tinggi karena *Rectangular Cylinder* tidak mampu menahan *vibrasi* yang dihasilkan oleh *adverse pressure*.
2. Pada *Rectangular Cylinder* dengan *diffuser* terbukti sesuai dengan penelitian yang terdahulu bahwa dengan menambahkan *diffuser* pada bagian belakang *Rectangular Cylinder* agar mendapatkan Cd yang kecil dan nilai Cl negative atau *downforce* nya meningkat[11].
3. Dalam hal ini dapat diketahui bahwa kinerja dari *diffuser* adalah kebalikan dari *air foil* yang mana Cl yang diahasilkan berlawanan pada *air foil* bernilai positif dan pada *diffuser* bernilai negatif namun sama-sama memiliki kesamaan yaitu mengurangi Cd. Dalam hal ini hanya bermain pada kecepatan dan tekanan yang terjadi pada *upper side* dan *lower side*. Pada *diffuser* kecepatan aliran pada *upper side* lebih rendah dibandingkan dengan *lower side* akibatnya distribusi tekanan pada bagian *upper side* lebih besar dari pada *lower side* akibatnya Cl negative

sebaliknya pada *air foil* kecepatan pada bagian *upper side* lebih tinggi daripada *lower side* akibatnya distribusi tekanan pada *upper side* lebih rendah daripada *lower side* akibatnya nilai Cl positif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lee B, Kim T, Lee D. *Control of vortex shedding behind a rectangular cylinder near the ground*. Numer Heat Transfer A 2005;47:787_804.
- [2] Bhattacharyya S, Maiti DK. *Shear flow past a square cylinder near a wall*. Inter J Eng Sci 2004;42:2119_34.
- [3] J. P. Howell. *The Influence of Ground Simulation on the Aerodynamic of Simple Car Shapes with an Underfloor Diffuser*, Conference on Vehicle Aerodynamics. Royal Aerodynamic Society, 1994
- [3] Kevin R. Cooper, T.bertenyi, G. Dutil,J. syms, G. Sovran. *The Aerodynamics Performance of Automobile Underbody Diffuser*. SAE Technical Paper 980030, 1998
- [4] Ye Hui. *A Parametric Study on the Diffuser and Ground Clearance of a Simplified Car Model using CFD*. Jilin university, 2006
- [5] Cederlund, J. and Vikström, J. *The Aerodynamic Influence of Rim Design on a Sports Car and its Interaction with the Wing and Diffuser Flow*. M.Sc. Thesis, Chalmers University of Technology, 2010
- [6] Lasse Christoffersen, David Söderblom, Lennart Lofdahl. *Wing-Diffuser Interaction on a Sports Car*. SAE Technical Paper 2011-01-1433, 2011
- [7] Fu Limin. *Automobile Aerodynamics*. Beijing: China Machinery Press, 2006

- [8] H. Higuchi, P. van Langen, H. Sawada, C.E. Tinney. *Axial flow over a blunt circular cylinder with and without shear layer reattachment*. Syracuse University, 2006
- [9] Franke R, Rodi W, Schoenung B. *Analysis of experimental vortex shedding data with respect to turbulence modeling*. In: Proceedings of the 7th turbulent shear flow symposium; 1989. p. 24.4.1–24.4.5. Stanford, USA.
- [10] Tutar M, Holdo AE. *Computational modeling of flow around a circular cylinder in sub-critical flow regime with various turbulence models*. Int J Numer Meth Fluids 2001;35:763–84.
- [11] Xingjun. et al. *Influence of Different Diffuser Angle on Sedan's Aerodynamic Characteristics*. State Key Laboratory of Automobile Simulation and Control, Jilin University, Changchun 2011