ROTARY
ISSN: 2721-6225 (print)
ISSN: 2745-6331 (online)

Volume 5 No 1 2023
https://ppjp.ulm.ac.id/journals/index.php/rot
page 39-50

ANALISIS SIMULASI PENGARUH VARIASI SUDUT DIFFUSER TERHADAP AHMED BODY DENGAN SLANT ANGLE 35^O

SIMULATION ANALYSIS OF THE EFFECT DIFFUSER ANGLE VARIATION AGAINST AHMED BODY WITH SLANT ANGLE 35^O

Akbar Rezki[1)], Khairil Anwar[1)], Rustan Hatib[1)]
[1] Universitas Tadulako, Palu, Indonesia
email: akbar.rezki036@gmail.com*

Received:
06 April 2023

Accepted:
12 April 2023

Published:
12 April 2023

Abstract

Aerodynamics can provide small changes to reduce vehicle fuel consumption. Modification of the vehicle body is one method of reducing aerodynamic drag. This study aims to analyze the effect of adding a diffuser angle to the rear angle of a simplified reference model (Ahmed Body slant angel 35^0) which is used to represent hatchback type vehicles on the drag coefficient. Three flow modification models were created to be tested in this study using the numerical simulation method using the ANSYS workbench 2020R2 software. The results of this study obtained a decrease in the drag coefficient in model 3 of 3.82%. The main factor affecting the decrease in drag coefficient is the pressure recovery behind the model with the addition of a diffuser.

Keywords: *Aerodynamics, Ahmed Body, ANSYS, CFD, Drag Coefficient*

Abstrak

Aerodinamika dapat memberikan perubahan kecil untuk mengurangi konsumsi bahan bakar kendaraan. Modifikasi bodi kendaraan adalah salah satu metode pengurangan hambatan aerodinamika. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh penambahan sudut diffuser pada sudut belakang model referensi yang disederhanakan (*Ahmed Body slant angel* 35^0) yang digunakan untuk mewakili kendaraan tipe *hatch back* terhadap koefisien drag. Tiga model modifikasi alur dibuat untuk diuji pada penelitian ini dengan metode simulasi numerik menggunakan *software ANSYS workbench* 2020R2. Hasil penelitian ini diperoleh penurunan koefisien drag pada model 3 sebesar 3,82%. Faktor utama yang mempengaruhi penurunan koefisien drag ini adalah pemulihan tekanan dibelakang model dengan adanya penambahan *diffuser*.

Kata kunci: Aerodinamika, Ahmed Body, ANSYS, CFD, Coefficient Drag

DOI: 10.20527/jtam_rotary.v5i1.8352

How to cite: Rezki, A., Anwar, K., & Hatib, R., "Analisis Simulasi Pengaruh Variasi Sudut Diffuser Terhadap *Ahmed Body* Dengan *Slant Angle* 35^O". *JTAM ROTARY*, 5(1), 39-50, 2023.

PENDAHULUAN

Dengan teknologi yang semakin maju serta berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin maju diiringi dengan pertumbuhan penduduk yang semakin meningkat, kebutuhan alat transportasi khususnya dibidang otomotif juga semakin meningkat. Namun di tengah meningkatnya kebutuhan tersebut, dibutuhkan kendaraan yang hemat bahan bakar, untuk mencapai hal tersebut maka diperlukan kendaraan yang lebih aerodinamis.

Karena aerodinamika memberikan kontribusi yang signifikan terhadap kinerja kendaraan jalan raya, para perancang memberikan banyak perhatian terhadap pengendalian aerodinamika terhadap berbagai jenis mobil yaitu mobil sedan, mobil penumpang, truk dan bus. Untuk mobil jenis penumpang memiliki 2 jenis yaitu dengan jenis model *hatchback* dan model van. Dalam perancangan mobil dengan model *hatchback* peneliti menggunakan *Ahmed body* sebagai dasar acuan dalam merancang model tersebut.

Di antara model standar otomotif dalam literatur *bluff body*, yang paling banyak dipelajari adalah *Ahmed body*, yang pertama kali diusulkan oleh Ahmed (Ahmed, 1984. Hal ini didasarkan pada geometri yang dirancang oleh Morel (Morel, 1978) dengan dimensi utama geometri yang diusulkan dari *Ahmed Body* dengan spesifikasi yaitu berbentuk persegi panjang dengan penambahan radius pada depan model dan slant angle pada bagian belakang body. *Bluff body* dapat diartikan sebagai bentuk body yang memiliki aliran terpisah di atas sebagian besar permukaannya sebagai akibat dari bentuknya, telah memisahkan aliran di sebagian besar permukaannya *Slant angle* merupakan sudut miring pada belakang body tersebut. Tujuannya adalah untuk mereproduksi fitur utama kendaraan jalan, seperti *frontal stagnation, ground effect* dan titik pemisah.

Beberapa jenis model modifikasi yang telah dilakukan terhadap *Ahmed body* agar mendapatkan bentuk yang aerodinamis yaitu dengan melakukan beberapa modifikasi pada bentuk *body* contohnya seperti penambahan *spoiler*, penambahan *hole tunnel* dan penambahan *diffuser*.

Diffuser merupakan penambahan sudut kemiringan pada belakang model Ahmed body. Pengurangan gaya *drag* pada kendaraan yang melaju dengan kecepatan tinggi dengan menambahkan perangkat *diffuser* pada bodi belakang kendaraan, dengan penambahan tersebut tekanan dasar yang terjadi pada mobil meningkat ketika penambahan perangkat *diffuser* yang kemudian mencegah udara bertekanan rendah yang masuk melalui bagian bawah bodi mobil agar tidak langsung naik ke belakang bodi mobil (Kang, 2012).

Struktur aliran dan sifat aerodinamis lainnya seperti koefisien *drag* dan *lift* dari salah satu bentuk sederhana dari model mobil yang diteliti secara ekstensif yang disebut *Ahmed Body* telah disampaikan dalam studi numerik terbaru untuk model tepi bawah belakang tetap dan di miringkan ke atas (Bayraktar, 2018). Untuk penelitian ini, *Ahmed Body* dengan slant angle 25^o dipertimbangkan dan tepi bawah belakangnya dimiringkan dengan berbagai sudut dari 5^o hingga 30^o dengan peningkatan 5^o. Diamati bahwa ukuran gelembung resirkulasi atas dan bawah yang terlihat di bagian profil berkurang dibandingkan dengan model klasik *Ahmed Body*, namun, keberadaan beberapa gelembung resirkulasi tambahan. Pengaruh sudut ke atas pada *coefficient drag* dan *lift* mengungkapkan bahwa *coefficient drag* berkurang pada sudut 15^o kemudian perlahan naik pada sudut 20^o dan meningkat setelah 25^o, dengan menggunakan slant angle 25^o tetapi memiliki perbedaan di sudut dan panjang diffusernya, sudut yang digunakan ialah 10 sampai 50^o dengan kenaikan sebesar 10^o dengan kasus tambahan yang mempertimbangkan sudut 5^o (Buscariolo, 2021). Panjang diffuser yang digunakan sama dengan Panjang dari slant angle yaitu 222 m. penelitian ini telah divalidasi terhadap model *Ahmed body* klasik dengan mempertimbangkan *slant angle* 25^o, ditemukan perbedaan untuk *koefisien drag* dan *lift* masing-masing 13% dan 1%.

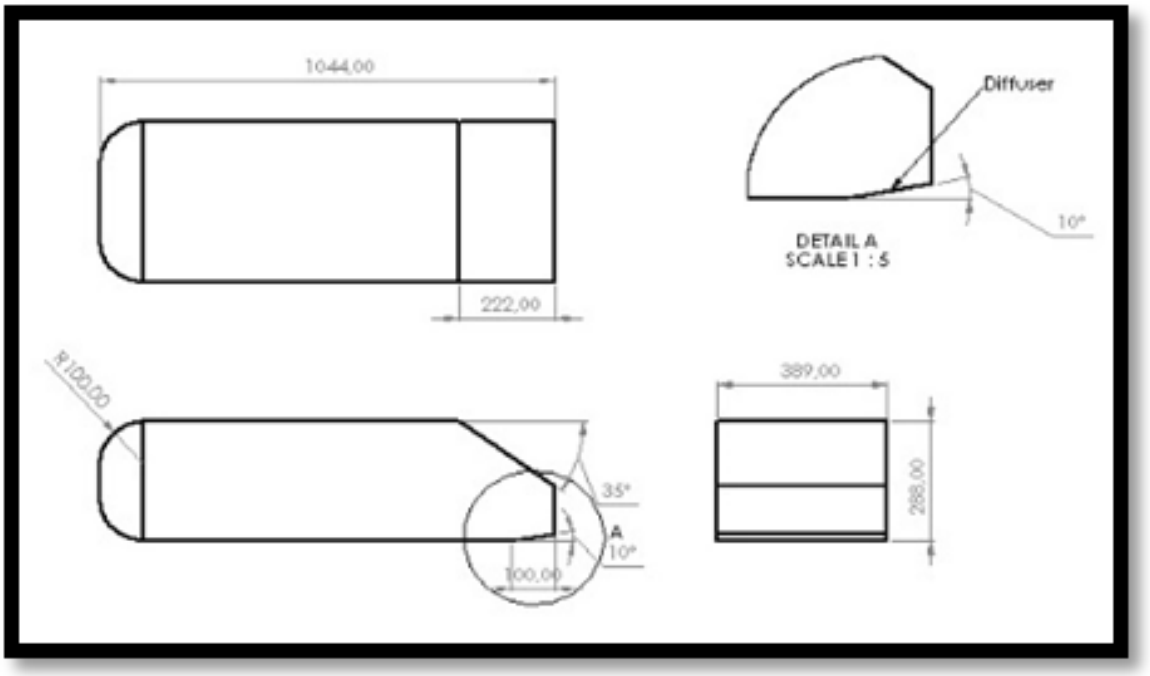
Untuk kasus *slant angle* 0^o pada bagian atas body, nilai tertinggi untuk koefisien *drag* dan *negatif lift* (*downforce*) dicapai pada sudut *diffuser* 30^o, di mana aliran sepenuhnya terbentuk dengan dua struktur pusaran aliran, serupa dengan hasil yang diperoleh dari Ahmed (Ahmed, 1984) tetapi dengan body terbalik. Untuk sudut diffuser di atas 30^o, aliran sepenuhnya terpisah dari diffuser. *Ahmed body* dengan *slant angle* 25^o dan ditambahkan *diffuser* mencapai nilai tertinggi untuk *downforce* pada sudut 20^o diffuser, di mana aliran pada diffuser memiliki dua vortisitas aliran yang dikombinasikan dengan beberapa pemisahan aliran. Nilai *coefficient drag* tertinggi untuk kasus ini adalah pada sudut diffuser 30^o, di mana aliran menjadi sepenuhnya terpisah.

Slant angle sebesar 25^o serta menambahkan diffuser menghasilkan nilai *coefficient drag* yang rendah dari model standar tanpa diffuser (Bayraktar, 2018) (Buscariolo, 2021), sedangkan sudut *slant angle* 35^o dengan sudut 2^o,4^o,6^o,dan 8^o dengan bentuk *diffuser* yang berbeda (Huminic, 2020). Berdasarkan hal tersebut maka peneliti akan melakukan penelitian dengan menggunakan sudut *slant angle* 35^o dengan variasi pada sudut *diffuser*, dengan tujuan melihat apakah terjadi peningkatan atau penurunan *coefficient drag*. Sehingga judul penelitian ini adalah "Analisis simulasi terhadap pengaruh variasi sudut *diffuser* pada *Ahmed body* dengan *slant angle* 35^o"

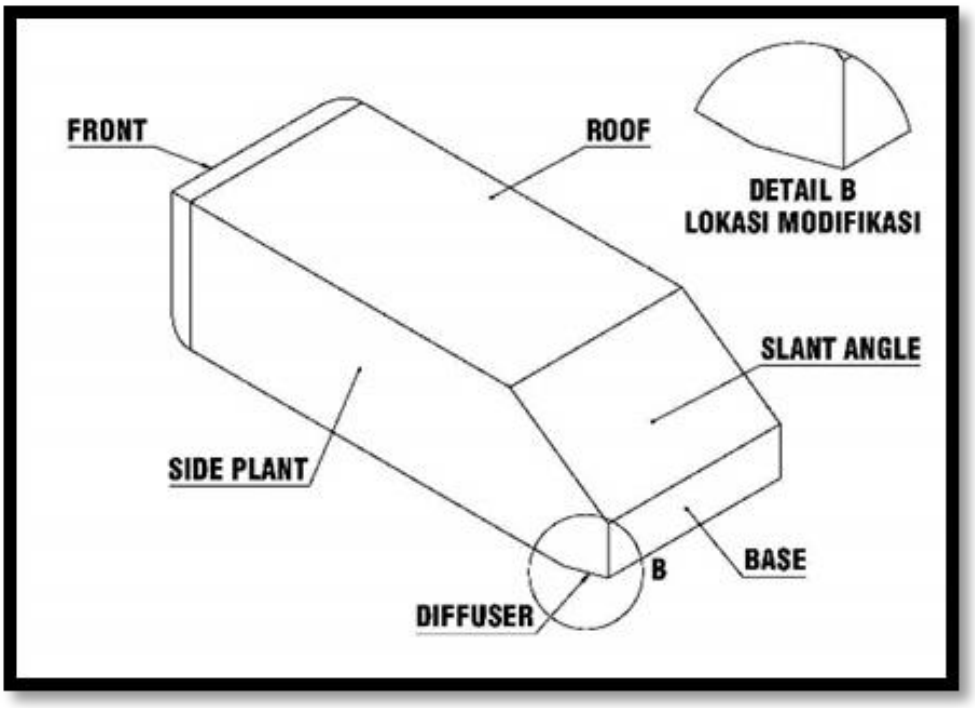
METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan modifikasi pada sudut belakang *Ahmed Body slant angel* 35° dengan menambahkan diffuser pada bagian belakang bawah *body* kemudian dilakukan Penelitian dengan metode *Computational Fluid Dynamics(CFD),* menggunakan *software Ansys Workbanch* 2020R2 untuk mengetahui pengaruh modifikasi alur yang dilakukan terhadap koefisien *drag*.

Berikut ini adalah gambar dan spesifikasi model modifikasi yang dibuat untuk diuji pada simulasi numerik yang akan dilakukan.



Gambar 1. Model *Ahmed Body* Dengan Variasi Sudut *Diffuser*

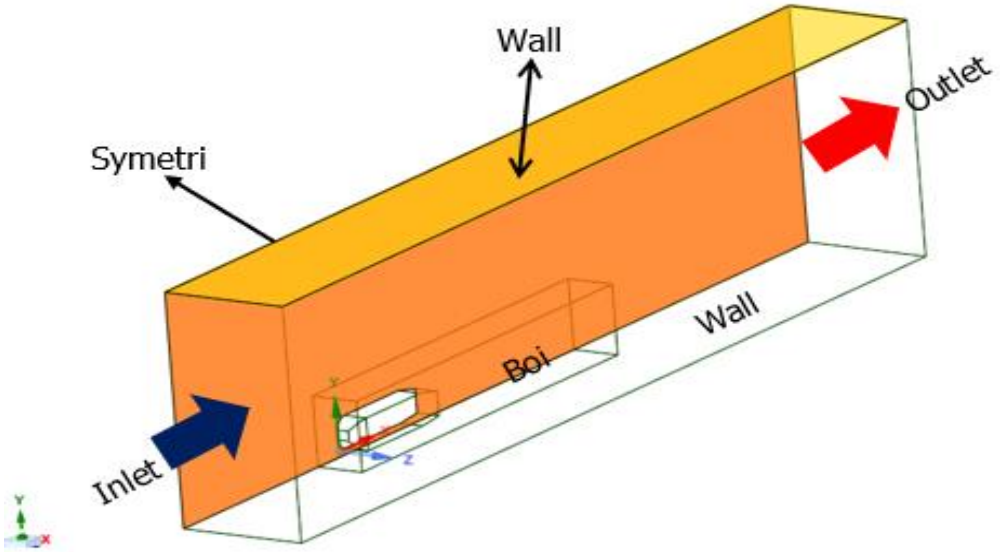


Gambar 2. *Modifikasi Ahmed Body*

Penelitian ini membutuhkan tiga tahapan utama yang harus dilakukan, antara lain: *preprocessing*, proses *solver* dan *post processing*.

Preprocessing

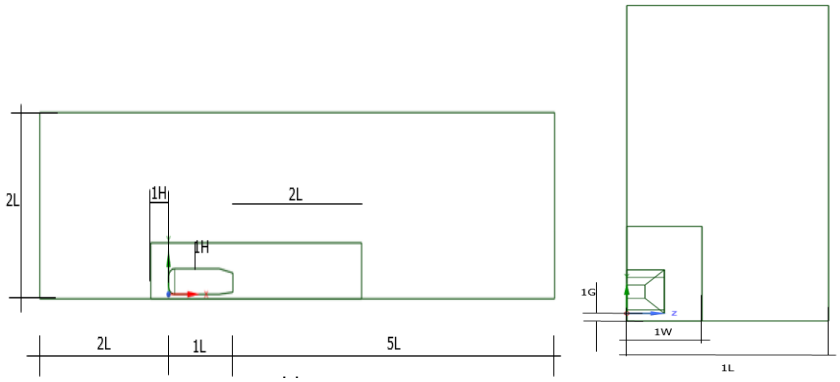
Pada tahapan ini proses diawali dengan pembuatan geometri model yang akan diuji pada *software Solidworks* 2020.



Gambar 3. Skema Domain simulasi

Geometri model yang telah dibuat kemudian diimport kedalam *software Ansys Workbanch* 2020R2 untuk dibuatkan domain simulasi dan dilakukan proses meshing,

setelah itu dilanjutkan dengan menginput parameter pemodelan. Domain model yang digunakan viscous-SST K-Omega



Gambar 4. Dimensi Domain Simulasi

Tabel 1. Spesifikasi model pada domain

Parameter	Besarannya	Keterangan
L(mm)	1044	Panjang Model
H(mm)	288	Tinggi Model
W(mm)	389	Lebar Model
G(mm)	50	*Ground clearance*
R(mm)	100	*Radius area frontal*
α(°)	35°	*Slant Angle*
Model	0,1,2,3	Modifikasi *Diffuser*

Processing

Dengan menggunakan perangkat lunak *CFD-Solver Manager*, kondisi yang ditentukan selama pemrosesan awal dalam perangkat lunak *CFD-Pre* dihitung (secara iteratif). Jika kriteria konvergensi tercapai dengan kriteria konvergensi 10^{-6}, tahap akan dilanjutkan pada *postprocessing* dan jika tidak tercapai, tahap akan kembali ke tahap *grid* dengan mengurangi kriteria konvergensi.

Post-Processing

Post-processing pada perangkat lunak *CFD-pre* adalah menampilkan hasil dan menganalisis hasil yang diperoleh sebagai data kualitatif dan kuantitatif. Data kualitatif berupa koefisien *drag*, distribusi *drag* dan *lift.* Sedangkan data kualitatif tersedia dalam bentuk visualisasi aliran dengan menampilkan lintasan dalam bentuk besaran kecepatan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Adapun hasil dan pembahasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut antara lain:

Validasi Simulasi Numerik

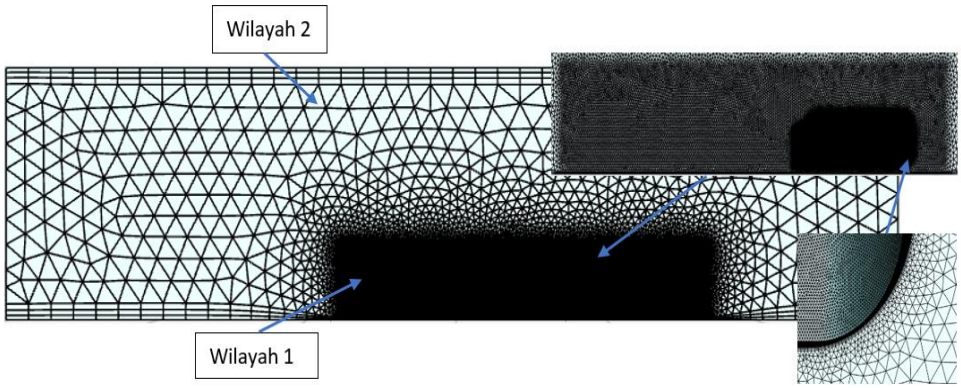
Untuk simulasi numerik ukuran *grid* atau *mesh* sangat berpengaruh pada keakuratan data simulasi, umumnya ukuran *mesh* semakin kecil maka akurasi yang diperoleh untuk pengujian suatu model akan semakin baik. Untuk mengurangi biaya komputasi maka perlu mendapatkan resolusi *grid* yang optimal, untuk itu perlu dilakukan studi independen *grid*

untuk memperoleh *grid* yang optimal. Hasil uji independen *grid* simulasi ini terdapat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil independen *Grid* untuk *Re* = 4,2 x 10^6

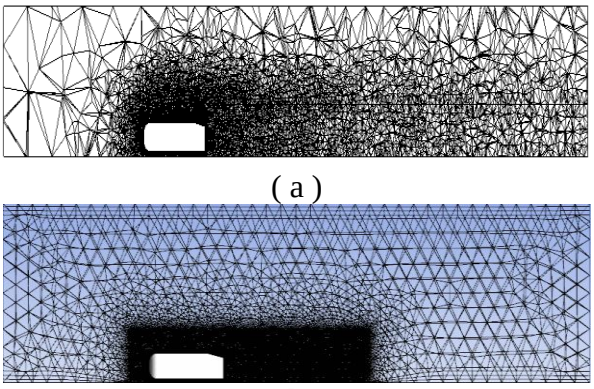
Ahmed Body 12,5°			
rid	Jumlah Elemen (1 x 10^6)	Koefisien *Drag*	Perbedaan(%)
	1,75	0,2510	-
	3,34	0,2424	3,54
	4,24	0,2397	1,12
	5,29	0,2396	0,04

Sebagai hasil dari pengujian independen *grid* ini, *mesh* yang dipilih memiliki 4,24 x 10^6 elemen (*cell*) karena lebih banyak elemen dari ini hanya mengubah koefisien *drag* kurang dari 0,04%. Jadi, dalam simulasi numerik ini dengan mempertimbangkan biaya komputasi dan juga akurasi hasil, maka *grid* 3 dengan 4,24 juta elemen *tetrahedral* dipilih untuk simulasi numerik yang akan dilakukan.



Gambar 5. Pembagian Wilayah *Grid* Pada Domain Komputasi

Cara kedua yang efektif untuk pengurangan biaya komputasi adalah dengan memperbaiki *grid* di wilayah tertentu dari domain komputasi, karena memilih *grid* halus untuk seluruh domain menyebabkan biaya komputasi yang besar tanpa efek nyata pada keakuratan hasil simulasi. Untuk alasan ini domain dibagi menjadi 2 wilayah berbeda kemudian memilih resolusi *grid* yang berbeda dan memperbaiki *grid* di mana gradien terbesar diharapkan (Bayraktar, 2001).



(a)

(b)

Gambar 6. Bentuk *Meshing* Untuk Validasi ; a. Simulasi oleh *Franck* [6], b. Simulasi Pada Penelitian Ini

Tabel 3. Validasi koefisien *drag* tes independen *grid* untuk *Re* = 4,24 x 10^6

Koefisien *Drag Ahmed Body* 12,5°		
Numerik penelitian ini	0,2397	
Numerik (*Franck dan D'Elia*, 2004)	0,2346	-
Eksperimen (*Ahmed dkk*, 1984)	-	0,2300
Perbedaan (%)	2%	4%

Tabel 3 di atas adalah validasi koefisien *drag* hasil tes independen *grid* yang dilakukan dengan membandingkan koefisien *drag* yang diperoleh pada tes independen *grid* ini dengan koefisien *drag* hasil simulasi Frank (Frank, 2004) dengan perbedaan 2% dan eksperimen yang dilakukan Ahmed (Ahmed, 1984) dengan perbedaan 4%.

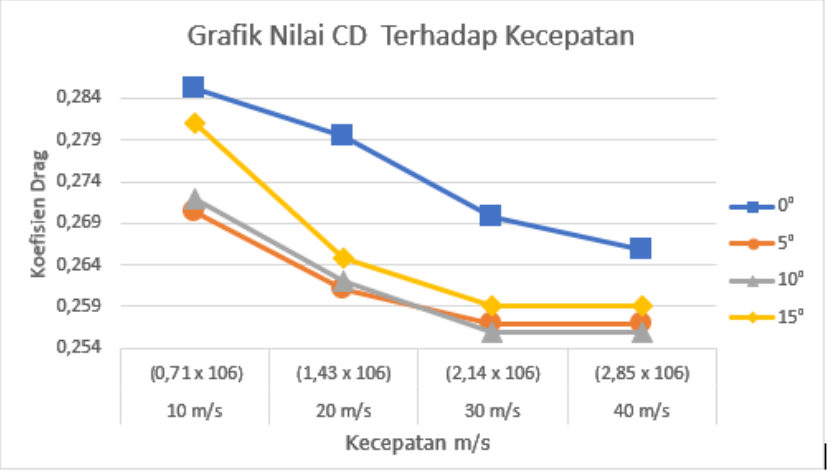
Data Hasil Simulasi ANSYS

Pada Simulasi kali ini parameter yang digunakan yaitu Frank (Frank, 2044) dan Moghimi (Moghimi, 2018) seperti ukuran domain simulasi sedangkan untuk jumlah mesh kita melakukan pendekatan sebesar 1,13 % dikarenakan efisiensi waktu pengujian.

Tabel 4. Data hasil simulasi *Ahmed Body* dengan slant angle 35°

SUDUT DIFFUSER	*NUMBER OF ELEMENT*	KECEPATAN m/s			
		10 m/s ($0{,}71 \times 10^6$)	20 m/s ($1{,}43 \times 10^6$)	30 m/s ($2{,}14 \times 10^6$)	40 m/s ($2{,}85 \times 10^6$)
0°	4,24 X 10^6	0,285	0,279	0,270	0,266
5°		0,270	0,261	0,257	0,257
10°		0,272	0,262	0,256	0,256
15°		0,281	0,265	0,259	0,259

Simulasi numerik yang mengacu pada parameter yang di gunakan oleh Frank (Frank, 2044) dan Moghimi (Moghimi, 2018) sebagai dasar acuan yang dianggap optimal, pada simulasi numerik yang dilakukan untuk mengilustrasikan efek dari variasi *Diffuser* pada *Ahmed body slant angle* 35°. Empat variasi kecepatan dipertimbangkan 10,20,30, dan 40m/s untuk memahami efek bilangan *Reynold* pada modifikasi *Ahmed body*. Tabel 4.3 menyajikan hasil *coefficient drag* dari *Ahmed body* standar dan sudut *diffuser* 5°,10°, 15°.

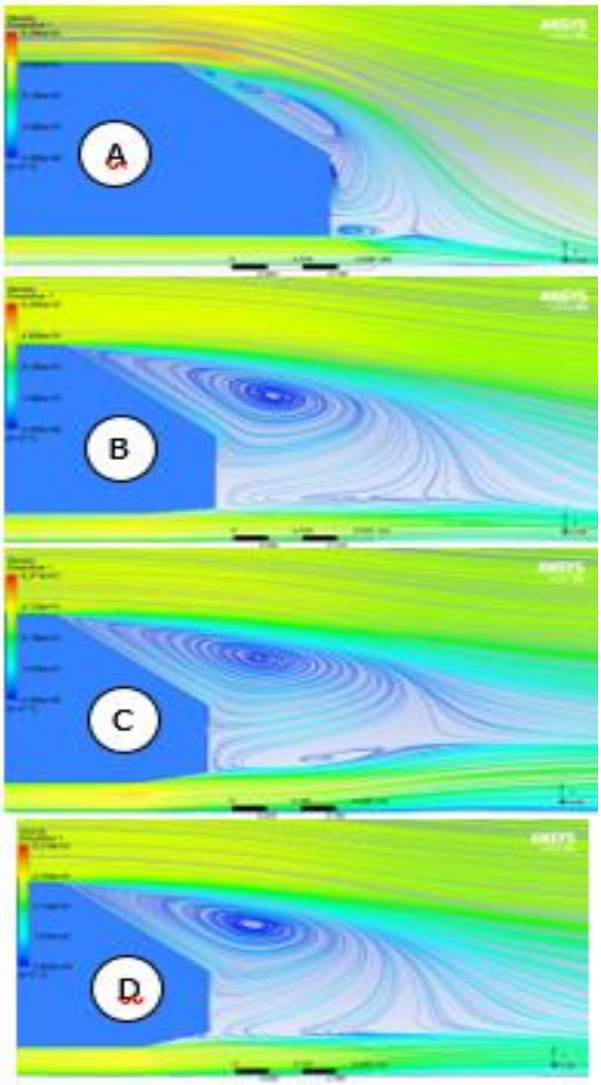


Gambar 7. Variasi Koefisien Drag Antara Model Standard Dan Variasi Model Diffuser Vs Kecepatan

Pada gambar 7 menunjukan efek dari penambahan variasi diffuser pada Ahmed body standar dan mengalami pengurangan drag. variasi diffuser 10° memiliki nilai koefisien drag paling rendah pada kecepatan 40 m/s .Pengaruh peningkatan bilangan Reynold pada Ahmed body akan menurunkan koefisien drag Bayraktar (Bayraktar, 2001).

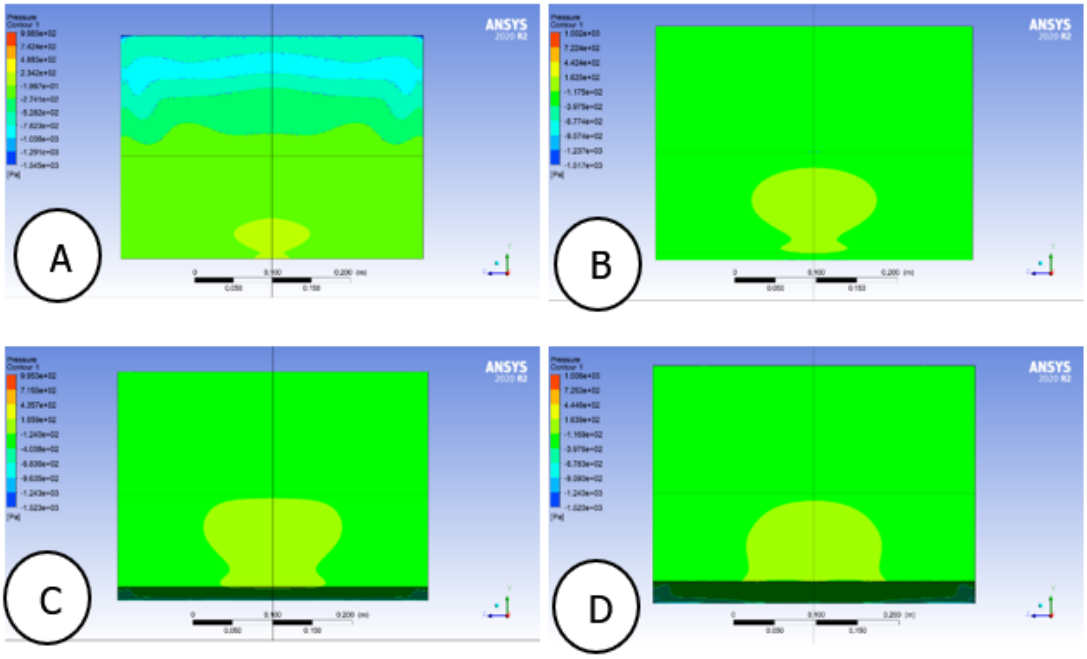
Pengaruh Model Modifikasi Alur Terhadap Koefisien Drag

Penambahan alur pada sudut belakang *Ahmed Body Slant angel 25˚* dapan menyebabkan penurunan koefisien drag pada model ini, adapun faktor yang mempengaruhi penurunan koefisien drag tersebut dijelaskan dibawah ini.



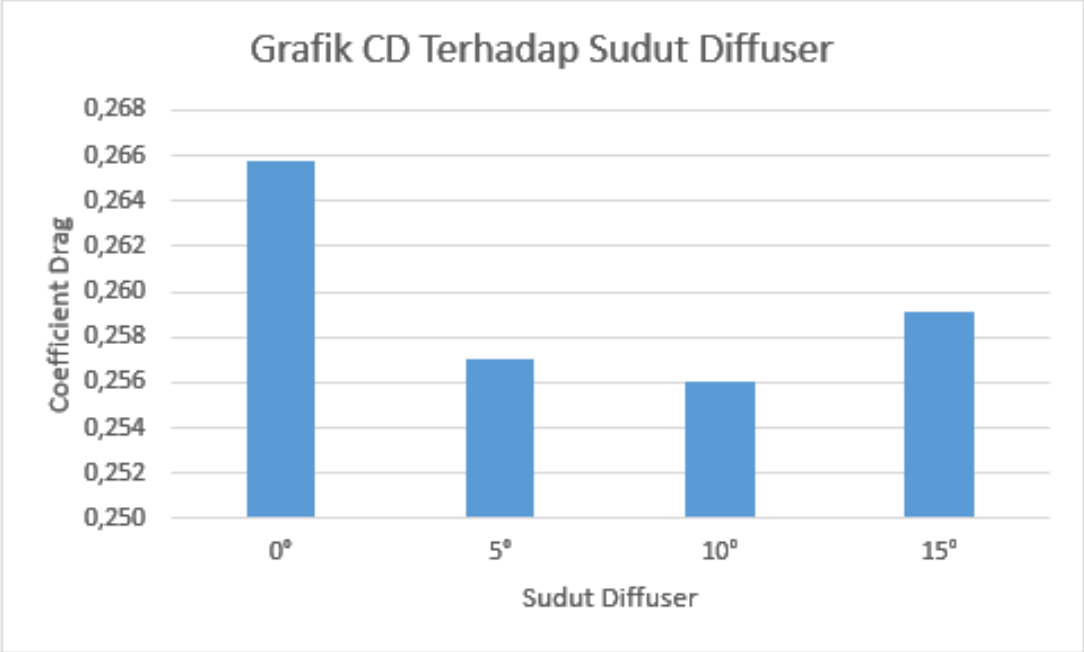
Gambar 8**.** Gambar *Streamline* pada kecepatan 40 m/s dimana (A) *Ahmed body* standar ,(B) *Diffuser* (5°),(C) *Diffuser* (10°) ,dan (D) *Diffuser* (15°)

Dari hasil simulasi variasi *diffuser* diperoleh variasi terbaik pada *diffuser* 10° dengan penurunan koefisien *drag* mencapai 0,011. Pada *Streamline* kecepatan terlihat bahwa ada sebuah *vortex* yang terbentuk seperti tapal kuda Hucho (Hucho, 1987) Pada Gambar 8 bagian (A) *Ahmed body* standar terlihat bahwa *vortex* yang terjadi di bagian bawah tidak terbentuk sempurna bulat dari posisi menempel dinding belakang *Ahmed body* dibandingkan dengan *diffuser* 5°,10°,dan 15°. Dapat dilihat dengan meningkatnya sudut *diffuser* jarak antara dinding belakang *Ahmed body* dan pusaran makin mendekat.



Gambar 9. Perbandingan distribusi tekanan tampak belakang pada kecepatan 40m/s (A):Sudut 0°,(B):Sudut 5°,(C):Sudut 10°,dan (B):Sudut 15°

Jarak pusaran ke dinding dan amplitudo nya (sirkulasi) merupakan parameter yang mempengaruhi tekenan rendah (Bruneau, 2013). Besarnya kecepatan udara pada bagian bawah membuat posisi persimpangan aliran atas dan bawah cenderung bergerak ke atas yang dapat mengurangi daerah resirkulasi dan mengurangi drag (Lai *et al*, 2011) Dari Gambar 9 dapat dilihat bahwa daerah resirkulasi pada bagian (C) *diffuser* 10° lebih kecil dari pada gambar bagian (A),(B), dan (D) . Penurunan ukuran sirkulasi menyebabkan daerah bertekanan rendah lebih kecil pada bagian belakang *Ahmed body* yang menghasilkan drag yang lebih rendah (Moghimi, 2018) Tampilan *Streamline* kecepatan dapat dilihat pada gambar 8



Gambar 10. Coefficient Drag Vs Variasi *Diffuser* Pada 30 m/s (Re 2,85 x 10^6)

Seiring pertambahan sudut dari Ahmed body standar hingga 15° dapat dilihat pada gambar 10 nilai koefisien drag mengalami penurunan dan kenaikan. Penurunan terjadi pada variasi sudut diffuser 5°,kemudian turun kembali pada diffuser 10°dan terjadi kenaikan pada diffuser 15°. Nilai koefisien drag terbesar terjadi pada diffuser 0°(standar) dengan nilai koefisien drag sebesar 0,266. Penurunan nilai koefisien drag terbesar terjadi pada diffuser 10° dengan penurunan sebesar 0,010, Tabel 5 menampilkan perbandingan antara model standar dan optimal.

Tabel 5. Hasil Perbedaan Numerik model Standar Vs Optimal

Re (x 10^6)	Drag Coefficient		Perbedaan (%)
	Model Standar (β = 0°)	Model Optimal (β = 10°)	
2,85	0,266	0,256	3,82

Kontur tekanan hasil simulasi dari variasi sudut *diffuser* di tunjukan pada gambar 9 warna hijau muda menunjukan nilai tekanan negatif sedangkan warna kuning menunjukan tekanan positif. Tekanan yang dihasilkan pada model (C) *diffuser* 10° memiliki tekanan negatif yang paling sedikit dari pada *Ahmed body* standar, *diffuser* 5°, dan *diffuser* 15°. Penurunan ukuran area ini menyebabkan daerah bertekanan rendah yang lebih kecil di belakang ahmed body yang menghasilkan koefisien *drag* lebih rendah (Moghimi, 2018).

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Analisis numerik dilakukan pada 4 model modifikasi *Ahmed Body* 35^0 dengan menambahkan alur pada sudut bagian belakang model. Kecepatan aliran udara termasuk 10, 20, 30, dan 40 m/s (Re= 0,71 x 10^6 - 2,85 x 10^6) dipertimbangkan untuk menyelidiki efek dari bilangan Reynold pada modifikasi yang dilakukan. Kemudian berdasarkan hasil numerik yang diperoleh dengan membandingkan koefisen drag model normal dan model modifikasi. Pengurangan koefisien drag terbaik terdapat pada model 3 sebesar 3,82% pada kecepatan 40 m/s yang membuktikan efek positif pada modifikasi yang dilakukan pada belakang *Ahmed Body*.
2. Dengan adanya penambahan variasi sudut *diffuser* mampu menurunkan nilai *coefficient drag* (Cd) dari model standar *Ahmed body* 35^0.
3. Variasi *diffuser* terbaik didapatkan pada sudut 100 pada kecepatan 30 m/s, *rear end Ahmed body* yang dimana dapat mengurangi Koefisien drag hingga 3,82% dari model standar *Ahmed body* 35^0.

REFERENSI

Ahmed, Syed R, G Ramm, dan G Faltin. 1984. "Some salient features of the time-averaged ground vehicle wake." *SAE Transactions*, 473–503.

"bayraktar 2001 Experimental and Computational Investigation of Ahmed Body for Ground Vehicle Aerodynamics.pdf." t.t.

Bayraktar, Seyfettin, dan Yilmaz Ogun BİLGİLİ. 2018. "Effects of under body diffuser on the aerodynamics of a generic car." *International Journal of Automotive Engineering and Technologies* 7 (2): 99–109.

Bruneau, Charles-Henri, Emmanuel Creusé, Patrick Gilliéron, dan Iraj Mortazavi. 2014. "Effect of the Vortex Dynamics on the Drag Coefficient of a Square Back Ahmed Body: Application to the Flow Control." *European Journal of Mechanics - B/Fluids* 45 (Mei): 1–11. https://doi.org/10.1016/j.euromechflu.2013.11.003.

Buscariolo, Filipe F., Gustavo R.S. Assi, dan Spencer J. Sherwin. 2021. "Computational study on an Ahmed Body equipped with simplified underbody diffuser." *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 209 (Februari): 104411. https://doi.org/10.1016/j.jweia.2020.104411.

Franck, Gerardo, dan Jorge D'Elıa. t.t. "CFD Modeling of the FLow around the Ahmed Vehicle Model," 5.

Hucho, W, dan G Sovran. t.t. "Aerodynamics of Road Vehicles." *AERODYNAMICS OF ROAD VEHICLES*, 53.

Huminic, Angel, dan Gabriela Huminic. 2020. "Aerodynamics of curved underbody diffusers using CFD." *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 205 (Oktober): 104300. https://doi.org/10.1016/j.jweia.2020.104300.

Kang, Seoung-On, Sang-Ook Jun, Hoon-il Park, Ki-Sun Song, Jung-Do Kee, Kyu-Hong Kim, dan Dong-Ho Lee. 2012. "Actively translating a rear diffuser device for the aerodynamic drag reduction of a passenger car." *International Journal of Automotive Technology* 13 (4): 583–92.

Lai, Chenguang, Yasuaki Kohama, Shigeru Obayashi, dan Shinkyu Jeong. 2011. "Experimental and Numerical Investigations on the Influence of Vehicle Rear Diffuser Angle on Aerodynamic Drag and Wake Structure." *International Journal of Automotive Engineering* 2 (2): 47–53. https://doi.org/10.20485/jsaeijae.2.2_47.

Moghimi, P., Faculty of Mechanical Engineering, Semnan University, Semnan, Iran, R. Rafee, dan Faculty of Mechanical Engineering, Semnan University, Semnan, Iran. 2018a. "Numerical and Experimental Investigations on Aerodynamic Behavior of the Ahmed Body Model with Different Diffuser Angles." *Journal of Applied Fluid Mechanics* 11 (4): 1101–13. https://doi.org/10.29252/jafm.11.04.27923.

———. 2018b. "Numerical and Experimental Investigations on Aerodynamic Behavior of the Ahmed Body Model with Different Diffuser Angles." *Journal of Applied Fluid Mechanics* 11 (4): 1101–13. https://doi.org/10.29252/jafm.11.04.27923.

Morel, Thomas. 1978. "Aerodynamic drag of bluff body shapes characteristic of hatch-back cars." *SAE Transactions*, 1270–79.