

TUGAS AKHIR - TF 234801

**DESAIN DAN ANALISIS AERODINAMIKA *UNDERTRAY*
DIFFUSER PADA MOBIL SAPUANGIN SPEED**

RIANTAMA ICHSANUN ARIEF

NRP. 5009201130

Dosen Pembimbing

Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.

NIP 197711272002121002

Program Studi S1 Teknik Fisika

Departemen Teknik Fisika

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2024

Halaman ini sengaja dikosongkan



Tugas Akhir - TF 234801

**DESAIN DAN ANALISIS AERODINAMIKA *UNDERTRAY*
DIFFUSER PADA MOBIL SAPUANGIN SPEED**

RIANTAMA ICHSANUN ARIEF
NRP 5009201130

Dosen Pembimbing

Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.

NIP 197711272002121002

Program Studi S1 Teknik Fisika
Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2024

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TF 234801

***DESIGN AND AERODYNAMICS ANALYSIS OF UNDERTRAY
DIFFUSER ON SAPUANGIN SPEED CAR***

RIANTAMA ICHSANUN ARIEF
NRP 5009201130

Advisor

Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.

NIP 197711272002121002

Study Program Bachelor of Engineering Physics
Department of Engineering Physics
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2024

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama Mahasiswa / NRP : Riantama Ichsanun Arief / 5009201130

Departemen / Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika

Dosen Pembimbing / NIP : Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “**DESAIN DAN ANALISIS AERODIANMIKA UNDERTRAY DIFFUSER PADA MOBIL SAPUANGIN SPEED**” adalah hasil karya saya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 21 Juli 2024

Mahasiswa,



(Riantama Ichsanun Arief)

NRP. 5009201130

Halaman ini sengaja dikosongkan

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student / NRP : Riantama Ichsanun Arief / 5009201130

Department : Engineering Physics

Advisor / NIP : Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.

hereby declare that the Final Project with the title of "DESIGN AND AERODYNAMICS ANALYSIS OF *UNDERTRAY DIFFUSER* ON SAPUANGIN SPEED CAR" is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 21 July 2024

Student



(Riantama Ichsanun Arief)

NRP. 5009201130

Halaman ini sengaja dikosongkan

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**DESAIN DAN ANALISIS AERODINAMIKA *UNDERTRAY DIFFUSER* PADA
MOBIL SAPUANGIN SPEED**

Oleh:

Riantama Ichsanun Arief

NRP. 5009201130

Surabaya,

Menyetujui,
Pembimbing



Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D

NIP. 197711272002121

Mengetahui,

Kepala Departemen

Teknik Fisika FT-IRS ITS



Dr. Suyanto, S.T., M.T.

NIP. 191711131995121002

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

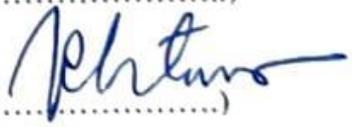
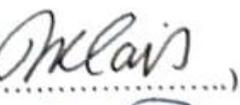
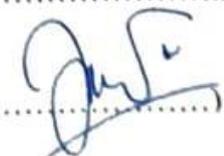
DESAIN DAN ANALISIS AERODINAMIKA *UNDERTRAY DIFFUSER* PADA MOBIL SAPUANGIN SPEED TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi Sarjana Teknik Fisika
Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh: **Riantama Ichsanun Arief**
NRP. 5009201130

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

- | | |
|--|------------|
| 1. Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D. | Pembimbing |
| 2. Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T. | Penguji |
| 3. Dr.Eng. Nur Laila Hamidah, S.T., M.Sc | Penguji |
| 4. Dyah Sawitri, S.T., M.T. | Penguji |


(.....)

(.....)

(.....)

(.....)

SURABAYA
Juli, 2024

Halaman ini sengaja dikosongkan

APPROVAL SHEET

DESIGN AND AERODYNAMICS ANALYSIS OF *UNDERTRAY DIFFUSER* ON SAPUANGIN SPEED CAR

FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements
for obtaining a degree Bachelor of Engineering at
Undergraduate Study Program of Engineering Physics
Department of Engineering Physics
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

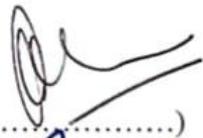
RIANTAMA ICHSANUN ARIEF

NRP. 5009201130

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Gunawan Nugroho, S.T., M.T. Ph.D.

Advisor

(.....)


2. Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.

Examiner

(.....)


3. Dr.Eng. Nur Laila Hamidah, S.T. M.Sc

Examiner

(.....)


4. Dyah Sawitri, S.T., M.T.

Examiner

(.....)


SURABAYA

Juli, 2024

Halaman ini sengaja dikosongkan

DESAIN DAN ANALISIS AERODINAMIKA *UNDERTRAY DIFFUSER* PADA MOBIL SAPUANGIN SPEED

Nama Mahasiswa / NRP : Riantama Ichsanun Arief / 5009201130
Departemen : Teknik Fisika FTIRS – ITS
Dosen Pembimbing : Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.

Abstrak

Aerodinamika merupakan salah satu bagian yang paling penting yang dapat memengaruhi performa mobil terutama pada mobil balap. Dengan menggunakan desain yang aerodinamis menyebabkan terjadinya peningkatan traksi, penurunan hambatan, serta peningkatan efisien bahan bakar pada mobil. Tugas akhir ini bertujuan untuk mengembangkan perangkat aerodinamis pada mobil balap formula Sapuangin Speed dengan penggunaan *undertray diffuser* dengan menggunakan metode CFD. Simulasi dilakukan dengan membandingkan variasi tiga model *undertray diffuser*, ketinggian *undertray* dari 3 sampai 7 cm dari tanah, sudut *diffuser* dari 10° sampai 20° , dan kecepatan mobil dari 60 km/h sampai 100 km/h. Dari semua variasi tersebut akan dipilih satu model *undertray diffuser*, ketinggian *undertray*, sudut *diffuser*, dan kecepatan mobil terbaik yang menghasilkan nilai *downforce* yang paling besar dan gaya *drag* yang paling kecil. Hasil simulasi menunjukkan bahwa model *undertray diffuser* yang terbaik yaitu *separated rear diffuser with splitter* dengan ketinggian 5 cm dan sudut 20° . Nilai c_d dan c_l pada mobil tanpa *undertray diffuser* ialah 0,5914 dan 0,1220 sedangkan pada mobil dengan *undertray diffuser* ialah 0,4562 dan -0,0126. Pada trek lurus terjadi kenaikan performa ditunjukkan dengan kecepatan maksimum yang meningkat sebesar 3,65 m/s ketika menggunakan *undertray diffuser*. Sedangkan pada saat berbelok terjadi kenaikan performa sebesar 0,1-0,85% tergantung dengan radius belok.

Kata Kunci: Aerodinamis, CFD, *Diffuser*, FSAE

Halaman ini sengaja dikosongkan

DESIGN AND AERODYNAMICS ANALYSIS OF UNDERTRAY DIFFUSER ON SAPUANGIN SPEED CAR

Student Name /NRP : **Riantama Ichsanun Arief / 5009201130**
Department : **Engineering Physics FTIRS – ITS**
Advisor : **Gunawan Nugroho, S.T., M.T. Ph.D**

Abstract

Aerodynamics is one of the most important aspects that can affect the performance of a car, especially in racing cars. Using an aerodynamic design leads to increased traction, reduced *drag*, and improved fuel efficiency in cars. This final project aims to develop aerodynamic devices on the Sapuangin Speed formula racing car by using an *undertray diffuser* with the CFD method. The simulation is conducted by comparing three models of *undertray diffusers*, *undertray* heights ranging from 3 to 7 cm from the ground, *diffuser* angles from 10° to 20°, and car speeds from 60 km/h to 100 km/h. Among all these variations, one *undertray diffuser* model, *undertray* height, *diffuser* angle, and car speed that produce the highest *downforce* and the lowest *drag* will be selected. The simulation results show that the best *undertray diffuser* model is the separated rear *diffuser* with splitter at a height of 5 cm and an angle of 20°. The Cd and Cl values for the car without an *undertray diffuser* are 0.5914 and 0.1220, respectively, while for the car with an *undertray diffuser*, they are 0.4562 and -0.0126. On a straight track, performance is improved as indicated by a maximum speed increase of 3.65 m/s when using the *undertray diffuser*. During cornering, performance improvement ranges from 0.1% to 0.85% depending on the turning radius.

Keywords: *Aerodynamics, CFD, Diffuser, FSAE*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah atas izin Allah subhannahu wa taala sehingga penulis diberikan kemudahan dan kelancaran dalam penyusunan tugas akhir yang berjudul **“Desain dan Analisis Aerodinamika Undertray Diffuser Pada Mobil Sapuangin Speed”**

Dalam proses penyelesaian tugas akhir ini penulis telah dibantu dan didukung oleh berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Keluarga penulis, kepada orang tua bapak Jemarin dan ibu Riadien Ria Rita yang telah memberikan doa serta dukungan kepada penulis.

2. Bapak Dr. Suyanto, S.T., M.T. selaku Kepala Departemen Teknik Fisika ITS.

3. Bapak Gunawan Nugroho, ST, MT, PhD selaku dosen pembimbing serta kepala laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan yang telah membimbing dan banyak memberikan motivasi kepada penulis.

4. Bapak Ir. Witantyo M.Eng.Sc selaku pembimbing ITS Team Sapuangin yang telah banyak membantu dalam meng-upgrade diri penulis.

5. Mas, Mbak, beserta teman-teman ITS Team Sapuangin 2022/2023, 2023/2024, dan 2024/2025 yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk mengembangkan diri dan ikut berkontribusi dalam riset Sapuangin.

7. Teman-teman BPE atas batuan, dukungan, tempat bernaung dan tempat bersenang-senang ketika mengerjakan TA.

8. Teman-teman Targa Faele Teknik Fisika angkatan 2020 yang telah melalui waktu perkuliahan bersama-sama

Serta pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu-persatu. Semoga laporan tugas akhir ini dapat dipergunakan dengan sebaik-baiknya.

Surabaya, 11 Juli 2024

Riantama Ichsanun Arief

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	vii
LEMBAR PENGESAHAN	xi
LEMBAR PENGESAHAN	xiii
APPROVAL SHEET.....	xv
Abstrak.....	xvii
Abstract.....	xix
KATA PENGANTAR.....	xxi
DAFTAR ISI	xxiii
DAFTAR GAMBAR.....	xxv
DAFTAR TABEL	xxvii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Laporan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 Computational Fluid Dynamics	5
2.2 Undertray Diffuser	8
2.3 Gaya Aerodinamik.....	8
2.4 Distribusi Gaya pada Kendaraan	10
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	12
3.1 Desain Mobil Formula Sapuangin Speed	14
3.2 Dimensi <i>Undertray Diffuser</i>	15
3.3 Computational Domain.....	16
3.4 Simulasi CFD.....	17
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	19
4.1 Grid Independence Test.....	19
4.2 Hasil dan Validasi Simulasi Mobil Kondisi Eksisting.....	20
4.3 Desain <i>Undertray Diffuser</i>	22
4.4 Hasil Simulasi <i>Undertray Diffuser</i> pada Mobil Sapuangin Speed	24
4.5 Analisis Performa Kendaraan	44

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	47
5.1. Kesimpulan.....	47
5.2. Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN.....	51
BIODATA PENULIS	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Prinsip kerja <i>undertray diffuser</i>	8
Gambar 2.2. Free body diagram gaya yang bekerja pada mobil.....	11
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.....	13
Gambar 3.2. Desain Mobil Sapuangin Speed	15
Gambar 3.3. Batasan desain volumetrik <i>undertray diffuser</i>	16
Gambar 3.4. Dimensi domain komputasi.....	17
Gambar 4.1. <i>Streamlines</i> kecepatan dan kontur tekanan di sekitar mobil eksisting	21
Gambar 4.2. <i>Single diffuser</i>	22
Gambar 4.3 <i>Separated rear diffuser</i>	23
Gambar 4.4. <i>Separated rear diffuser with splitter</i>	24
Gambar 4.5. Grafik Cd terhadap ketinggian <i>undertray</i>	26
Gambar 4.6. Grafik Cl terhadap ketinggian <i>undertray</i>	26
Gambar 4.7. Kontur tekanan <i>separated rear diffuser with splitter</i> pada ketinggian (a) 7 cm, (b) 5 cm, (c) 3 cm	28
Gambar 4.8. Kontur tekanan di inlet <i>undertray</i> pada ketinggian 3 cm.....	29
Gambar 4.9. Grafik Cd terhadap sudut <i>diffuser</i> pada ketinggian 7 cm.....	35
Gambar 4.10. Grafik Cl terhadap sudut <i>diffuser</i> pada ketinggian 7 cm.....	35
Gambar 4.11. Grafik Cd terhadap sudut <i>diffuser</i> pada ketinggian 6 cm.....	36
Gambar 4.12. Grafik Cl terhadap sudut <i>diffuser</i> pada ketinggian 6 cm.....	36
Gambar 4.13. Grafik Cd terhadap sudut <i>diffuser</i> pada ketinggian 5 cm.....	37
Gambar 4.14. Grafik Cl terhadap sudut <i>diffuser</i> pada ketinggian 5 cm.....	37
Gambar 4.15. Grafik Cd terhadap sudut <i>diffuser</i> pada ketinggian 4 cm.....	38
Gambar 4.16. Grafik Cl terhadap sudut <i>diffuser</i> pada ketinggian 4 cm.....	38
Gambar 4.17. Grafik Cd terhadap sudut <i>diffuser</i> pada ketinggian 3 cm.....	39
Gambar 4.18. Grafik Cl terhadap sudut <i>diffuser</i> pada ketinggian 3 cm.....	39
Gambar 4.19. <i>Streamlines</i> kecepatan pada <i>diffuser</i> dengan sudut (a) 10°, (b) 15°, dan (c) 20°	40
Gambar 4.20. Grafik gaya <i>drag</i> terhadap kecepatan mobil	43
Gambar 4.21. Grafik gaya <i>lift</i> terhadap kecepatan mobil	43
Gambar 4.22. Performa mobil pada saat berbelok.....	45
Gambar 4.23. Perbedaan performa mobil pada saat berbelok	46

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Variasi Simulasi Penelitian	14
Tabel 3.2. Parameter yang digunakan.....	18
Tabel 3.3. Kondisi batas simulasi CFD	18
Tabel 4.1. Hasil <i>grid independence</i>	19
Tabel 4.2. Validasi hasil simulasi	20
Tabel 4.3 Hasil simulasi variasi ketinggian pada ketiga model <i>undertray diffuser</i>	25
Tabel 4.4. Hasil simulasi variasi sudut pada ketiga model <i>undertray diffuser</i> pada ketinggian 7 cm	30
Tabel 4.5. Hasil simulasi variasi sudut pada ketiga model <i>undertray diffuser</i> pada ketinggian 6 cm	31
Tabel 4.6. Hasil simulasi variasi sudut pada ketiga model <i>undertray diffuser</i> pada ketinggian 5 cm	32
Tabel 4.7. Hasil simulasi variasi sudut pada ketiga model <i>undertray diffuser</i> pada ketinggian 4 cm	33
Tabel 4.8. Hasil simulasi variasi sudut pada ketiga model <i>undertray diffuser</i> pada ketinggian 3 cm	34
Tabel 4.9. Hasil simulasi variasi kecepatan pada ketiga model <i>undertray diffuser</i>	42
Tabel 4.10. Pengaruh model <i>undertray diffuser</i> terhadap nilai Cd dan Cl	44
Tabel 4.11. Performa mobil pada trek lurus	45

Halaman ini sengaja dikosongk

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aerodinamika merupakan salah satu bagian yang paling penting yang dapat memengaruhi performa mobil terutama pada mobil balap. Dengan menggunakan desain yang aerodinamis menyebabkan terjadinya peningkatan traksi, penurunan hambatan, serta peningkatan efisien bahan bakar pada mobil. (Wang et al., 2018) Pada umumnya, sebuah mobil dapat dimodifikasi dengan menambahkan perangkat-perangkat aerodinamis yang dapat mengurangi gaya *drag* atau menambah *downforce*. Pada beberapa kompetisi mobil balap, perangkat aerodinamis yang biasanya digunakan pada mobil yaitu *front wing*, *rear wing*, dan *undertray diffuser*. Salah satu kompetisi mobil balap yang menggunakan perangkat aerodinamis yang kompleks yaitu FSAE.

Kompetisi FSAE yaitu perlombaan balap mobil yang diselenggarakan oleh SAE International (Society of Automotive Engineer). Kompetisi ini bertujuan untuk mengembangkan pengetahuan dan keterampilan mahasiswa dari berbagai universitas di seluruh dunia dalam bidang desain dan konstruksi mobil balap. Pada kompetisi ini, peserta diberi kebebasan untuk mendesain mobil mereka dengan Batasan-batasan sesuai dengan peraturan yang sudah diberikan oleh penyelenggara (SAE, 2023). ITS Team Sapuangin merupakan salah satu peserta yang mengikut kompetisi FSAE cabang Jepang yaitu SFJ sejak tahun 2012. Mobil yang digunakan oleh ITS Team Sapuangin untuk kompetisi FSAE ini bernama Sapuangin Speed (SAS) yang sekarang sudah sampai generasi ke-VII (Sapuangin, 2024). Mobil yang sekarang sedang dikerjakan oleh tim ini yaitu Sapuangin Speed VIII. Dari evaluasi-evaluasi yang sudah dianalisis pada mobil SAS VII, terdapat poin penting yang dapat digunakan untuk mengoptimisasi pengembangan desain mobil SAS VIII yaitu adanya kehilangan energi dari mesin yang disalurkan ke system transmisi dan ban. Hal tersebut menyebabkan ban kekurangan cengkraman pada jalan akibat terbatasnya daya pada ban tersebut. Untuk menghilangkan batasan tersebut maka diperlukan penambahan *downforce* pada mobil agar ban lebih mendapat cengkraman pada jalan (Dj, 2020).

Downforce diciptakan dengan menerapkan prinsip serupa dengan sayap pesawat yang menghasilkan gaya *lift* untuk membuat pesawat terbang. Namun, pada mobil, sayap tersebut dipasang terbalik sehingga menghasilkan *downforce* (Pandit & Day, 2021). Secara umum,

gaya aerodinamis yang mempengaruhi objek secara vertikal disebut sebagai gaya angkat. Gaya *lift* terbagi menjadi dua jenis, yaitu gaya *lift* positif (arah ke atas) dan negatif (arah ke bawah), tergantung pada arahnya. Di bidang otomotif, gaya *lift* negatif ini sering disebut dengan istilah *downforce*. Gaya *lift* negatif pada mobil terjadi ketika tekanan statis di bawah mobil lebih rendah dibandingkan dengan tekanan statis di atas mobil. Hal ini dapat terjadi karena geometri mobil yang dapat mengarahkan aliran udara di atas dan di bawah mobil dengan kecepatan yang berbeda. (Kang et al., 2012)

Penambahan *downforce* atau gaya *lift* negatif dapat dilakukan dengan menambahkan penggunaan *front wing*, *rear wing*, *diffuser*, dan perangkat aerodinamis lainnya. Penggunaan *wing* pada mobil formula untuk mendapatkan *downforce* mempunyai kekurangan yaitu bertambahnya *drag force* yang akan mengurangi kecepatan mobil tersebut. Dari penelitian sebelumnya, penambahan komponen *front wing* dan *rear wing* pada mobil SAS VIII menyebabkan penambahan C_D sebesar 0.0533 daripada mobil SAS VII (Dj, 2020). Oleh karena itu, salah satu solusi yang dapat digunakan untuk menambah *downforce* tetapi dengan tidak menyebabkan penambahan C_D yang signifikan yaitu dengan menggunakan *diffuser* pada *undertray* mobil SAS. *Undertray diffuser* adalah perangkat aerodinamis yang paling efisien dengan *downforce* yang dihasilkan sembilan kali lebih besar per unit *drag* daripada *rear wing* (Oxyzoglou, 2017). *Undertray* merupakan bagian di bawah mobil yang dapat digunakan untuk memanfaatkan *ground effect*. *Ground effect* menghasilkan *downforce* dengan memberikan efek hisapan di bagian bawah mobil. Hal ini dapat terjadi karena aliran fluida yang melewati celah kecil di bawah *undertray* menyebabkan kenaikan kecepatan dan berkurangnya tekanan. Perbedaan tekanan antara bagian atas dan bagian bawah mobil inilah yang menyebabkan efek hisapan ke bawah pada mobil tersebut, sehingga menambah *downforce* dan menghasilkan lebih banyak *grip*. (Katz, 2006)

Tugas akhir ini bertujuan untuk mengembangkan perangkat aerodinamis pada mobil balap formula Sapuangin Speed dengan penggunaan *undertray diffuser* dengan menggunakan metode CFD. Model *undertray diffuser* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan mengadopsi desain beberapa model *undertray diffuser* yang sudah diteliti oleh (Oxyzoglou, 2017). Desain tersebut kemudian dimodifikasi agar sesuai dengan geometri mobil Sapuangin Speed.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dibahas sebelumnya, dapat dirumuskan permasalahan diantaranya:

- a. Bagaimana desain *undertray diffuser* pada mobil Formula Student Sapuangin Speed
- b. Bagaimana pengaruh *undertray diffuser* terhadap performa mobil Formula Student Sapuangin Speed?

1.3 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Mendesain *undertray diffuser* pada mobil Formula Student Sapuangin Speed.
- b. Menganalisis pengaruh *undertray diffuser* terhadap performa mobil Formula Student Sapuangin Speed

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah:

- a. Desain mobil berdasarkan aturan dari peraturan SAE Internasional 2024
- b. Metode yang digunakan adalah simulasi numerik
- c. Aliran pada inlet dianggap *uniform, incompressible flow*, dan *steady flow*
- d. Perpindahan panas diabaikan.

1.5 Sistematika Laporan

Laporan tugas akhir ini terdiri dari 5 BAB dengan rincian sebagai berikut:

a. BAB I PENDAHULUAN

Pada bagian ini diuraikan tentang latar belakang penelitian yang dilakukan, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, serta sistematika penulisan laporan. Bagian ini memberikan gambaran umum mengenai alasan dan tujuan dari penelitian ini serta bagaimana laporan ini disusun.

b. BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Bagian ini membahas berbagai teori yang relevan dan penelitian terdahulu yang terkait dengan penelitian ini. Dalam bab ini, disajikan landasan teori yang digunakan untuk mendukung analisis dan interpretasi data dalam penelitian, serta ulasan literatur dari studi-studi sebelumnya yang berkaitan.

c. BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Di bagian ini dijelaskan secara rinci langkah-langkah yang diambil selama penelitian ini berlangsung. Metodologi penelitian mencakup desain penelitian, metode pengumpulan data, teknik analisis data, dan prosedur yang digunakan untuk mencapai tujuan penelitian. Bagian ini menjelaskan proses penelitian secara menyeluruh sehingga penelitian ini dapat direplikasi atau dipahami dengan baik oleh pembaca.

d. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini, hasil dari simulasi yang telah dilakukan dianalisis dan dibahas. Data yang dianalisis mencakup gaya *drag*, gaya angkat negatif, dan keseimbangan. Bagian ini menginterpretasikan temuan-temuan dari penelitian, menghubungkannya dengan teori yang telah dibahas sebelumnya, dan mengevaluasi implikasinya terhadap tujuan penelitian.

e. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab terakhir ini menyajikan kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan. Selain itu, bagian ini juga memberikan saran untuk penelitian selanjutnya, berdasarkan temuan dan pengalaman yang diperoleh selama penelitian ini. Kesimpulan merangkum hasil utama penelitian dan saran memberikan rekomendasi untuk perbaikan atau pengembangan lebih lanjut di masa depan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Computational Fluid Dynamics

Pemodelan Dinamika Fluida Komputasional (*Computational Fluid Dynamics* atau CFD) seringkali diterapkan dalam pengembangan teknologi di berbagai sektor, termasuk industri proses, penerbangan, dan otomotif. Penggunaan simulasi CFD membuktikan efektivitasnya sebagai sumber referensi dalam pengambilan keputusan, mengingat keuntungan biaya yang lebih terjangkau dan efisiensi yang lebih tinggi akibat pemrosesan yang lebih cepat, jika dibandingkan dengan metode pengambilan data langsung. Pada dasarnya CFD dilakukan dengan melibatkan penggunaan persamaan dasar fisika yang menggambarkan aliran fluida dalam sistem. Dalam ranah Computational Fluid Dynamics (CFD), beberapa persamaan esensial menjadi tulang punggung yang memandu simulasi untuk menggambarkan perilaku sistem fluida. (Fujii, 2005)

Berikut adalah beberapa persamaan yang diterapkan dalam simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD):

a. Persamaan Kontinuitas

Persamaan ini menjadi dasar untuk menjelaskan bahwa jumlah massa fluida dalam sistem selalu bersifat konstan. Dalam konteks Computational Fluid Dynamics (CFD), persamaan kontinuitas menjadi instrumen kunci untuk memahami serta memodelkan keseimbangan aliran massa dalam suatu domain. Penggunaan persamaan ini menjadi krusial untuk mengikuti arus pergerakan massa fluida dan interaksi di dalam suatu sistem tertentu. Untuk fluida dengan massa jenis yang dapat berubah atau fluida yang dapat terpadatkan, persamaan kontinuitasnya adalah sebagai berikut (Tu et al., 2018)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} = 0 \quad (2.1)$$

Dengan ρ merepresentasikan densitas fluida, t adalah waktu, v adalah kecepatan fluida, u adalah vektor kecepatan untuk setiap titik di wilayah yang dibatasi, x merupakan titik pada sumbu x , dan y adalah titik pada sumbu y (Tu et al., 2018)

b. Persamaan Bernoulli

Persamaan Bernoulli menggambarkan hubungan antara energi kinetik, potensial, dan tekanan dalam aliran fluida yang tidak dapat dimampatkan. Persamaan ini dapat digunakan untuk memahami sebaran energi dalam sistem aliran fluida, baik dalam saluran tertutup maupun terbuka. Dengan menggunakan persamaan ini, kita dapat menginvestigasi bagaimana sifat-sifat energi berubah sepanjang waktu dan di berbagai lokasi dalam aliran fluida. Secara matematis, persamaan Bernoulli pada dua titik dalam aliran fluida yang *steady* dan *incompressible* dapat ditulis sebagai berikut. (Cengel & Cimbala, 2018)

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + gz_2 \quad (2.2)$$

Dengan P adalah tekanan pada suatu titik, ρ merupakan densitas fluida, v adalah kecepatan fluida, g ialah percepatan gravitasi, dan z ialah ketinggian. (Çengel & Cimbala, 2018)

c. Persamaan Navier-Stokes

Persamaan Navier-Stokes adalah kumpulan persamaan yang menggambarkan bagaimana fluida bergerak. Persamaan ini menjelaskan bagaimana gaya-gaya yang bekerja pada fluida mempengaruhi pergerakannya. Dengan persamaan ini, kita dapat memahami dinamika aliran fluida, efek tekanan, dan distribusi kecepatan. Pada fluida *incompressible*, persamaan dalam sumbu kartesiannya adalah sebagai berikut (Versteeg & Malalasekera, 2007)

Pada sumbu x :

$$\rho \left[\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right] = \mu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] - \frac{\partial p}{\partial x} + X \quad (2.3)$$

Pada sumbu y :

$$\rho \left[\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right] = \mu \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right] - \frac{\partial p}{\partial y} + Y \quad (2.4)$$

Pada sumbu z :

$$\rho \left[\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right] = \mu \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right] - \frac{\partial p}{\partial z} + Z \quad (2.5)$$

Dengan ρ adalah densitas fluida, t adalah waktu, μ adalah viskositas fluida, x adalah titik pada sumbu x , y adalah titik pada sumbu y , dan z adalah titik pada sumbu z , u adalah kecepatan fluida pada sumbu x , v adalah kecepatan fluida pada sumbu y , w adalah kecepatan fluida pada sumbu z , X adalah laju deformasi linear fluida pada sumbu x , Y adalah laju deformasi linear fluida pada sumbu y , dan Z adalah laju deformasi linear fluida pada sumbu z . (Versteeg & Malalasekera, 2007)

d. Model Turbulen $k - \omega$

Salah satu model turbulen yang digunakan dalam Computational Fluid Dynamics (CFD) untuk mensimulasikan dan memodelkan model turbulensi dalam aliran fluida yaitu $k - \omega$. Pada model ini, terdapat dua variable utama yaitu k sebagai energi kinetic turbulensi dan ω sebagai frekuensi turbulensi. Model $k - \omega$ menyediakan metode yang lebih canggih untuk memprediksi karakteristik turbulensi daripada model-model sederhana seperti $k - \varepsilon$. Persamaan model turbulen $k - \omega$ yaitu sebagai berikut (Wilcox, 2008)

Persamaan transport k :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j k) = \rho \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \beta * \rho k \omega + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \sigma * \frac{\rho k}{\omega} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] \quad (2.6)$$

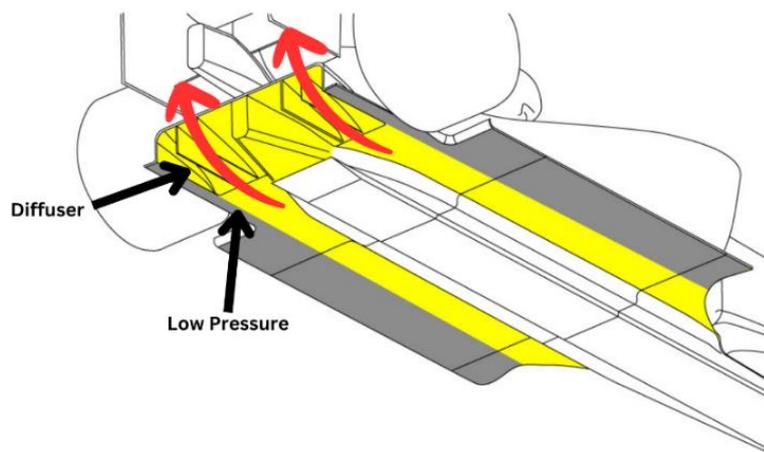
Persamaan transport ω :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \omega) = \alpha \frac{\omega}{k} \rho \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \beta \rho \omega^2 + \sigma_d \frac{\rho}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \sigma \frac{\rho k}{\omega} \right) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] \quad (2.7)$$

Dengan t adalah waktu, ρ adalah densitas fluida, k adalah Favre-averaged specific turbulence kinetic energy, x_j adalah vektor posisi, τ_{ij} adalah tensor Favre-averaged specific Reynolds-stress, u adalah Favre-averaged streamwise untuk kecepatan pada sumbu x , u_i merupakan tensor kecepatan Favre-averaged, $\alpha, \beta, \sigma, \sigma_d$ adalah closure coefficient pada persamaan specific dissipation-rate, β^*, σ^* adalah closure coefficient pada persamaan turbulen-energi kinetik, dan ω adalah laju spesifik disipasi. (Wilcox, 2008)

2.2. Undertray Diffuser

Selain *spoiler* dan *wings*, perangkat aerodinamis yang sering digunakan pada mobil balap yaitu *undertray diffuser*. Dari penelitian sebelumnya, *undertray diffuser* menghasilkan *downforce* per satuan *drag* hampir 9 kali lebih besar daripada *rear wing*. Perangkat ini banyak digunakan pada mobil balap karena desainnya yang dapat di desain fleksibel mengikuti bentuk mobil. Posisi penempatan *undertray* memiliki peran yang sangat penting karena semakin dekat dengan permukaan jalan, efek penyedotan yang timbul dari aliran fluida di bawah *undertray* menjadi semakin meningkat. Hal ini terjadi karena semakin dekat jarak antara *undertray* dengan tanah maka aliran fluidanya bergerak lebih cepat sehingga menghasilkan tekanan yang lebih rendah di bawah *undertray* lalu kecepatan aliran fluida diperlambat kembali di *diffuser* yang mengakibatkan kenaikan tekanan di bagian *diffuser* (Anderson, 2009). Cara kerja dari perangkat tersebut mengikuti prinsip efek venturi yang menyatakan bahwa ketika kecepatan dari aliran fluida meningkat maka tekanannya menurun begitu pula sebaliknya (Asgar et al., 2015). *Undertray* di desain menyerupai sayap pesawat yang dibalik atau dengan menggunakan sudut tertentu agar dapat bekerja sesuai prinsip efek venturi. Perbedaan tekanan antara bagian atas dan bagian bawah mobil menyebabkan peningkatan *downforce* yang dapat meningkatkan grip pada ban mobil. (Ehirim et al., 2019)



Gambar 2.1. Prinsip kerja *undertray diffuser*

Sumber: (Stafford, 2023)

2.3. Gaya Aerodinamik

Apabila fluida melewati sebuah objek (seperti angin ketika bergerak menabrak bangunan) atau ketika sebuah objek bergerak melewati fluida diam (seperti kendaraan yang melaju

melewati angin) disebut sebagai aliran eksternal atau *external flow*. Respon ketika suatu objek melintasi fluida melibatkan timbulnya gaya dorongan dari fluida tersebut terhadap objek. Hal ini terjadi karena fluida dapat memberikan gaya dan momen pada suatu objek di berbagai arah. Gaya-gaya yang diberikan oleh fluida yang mengalir pada suatu objek adalah sebagai berikut

a. Gaya *drag*

Gaya yang disebabkan oleh aliran fluida pada suatu objek sepanjang arah aliran disebut sebagai gaya *drag*. *Drag* biasanya merupakan efek yang tidak diinginkan, seperti gesekan, *drag* sebisa mungkin dikurangi. Pengurangan *drag* dapat berhubungan dengan pengurangan konsumsi bahan bakar, getaran, ataupun keamanan pada kendaraan. Gaya *drag* terjadi karena dua sebab yaitu tekanan dan tegangan geser. Bagian dari *drag* yang disebabkan karena tegangan geser fluida terhadap benda disebut sebagai *skin friction drag*. Sedangkan *drag* yang disebabkan karena tekanan dikenal dengan *pressure drag*. Persamaan gaya *drag* dan koefisien *drag* dapat ditulis sebagai berikut (Cengel & Cimbala, 2018)

Koefisien *drag* :

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho V^2 A} \quad (2.8)$$

Dengan F_D adalah gaya *drag*, ρ adalah densitas fluida, V adalah kecepatan relatif, dan A adalah luas area muka objek.(Cengel & Cimbala, 2018)

b. Gaya *lift*

Saat fluida mengalir melalui suatu objek, selain adanya gaya *drag*, terjadi pula gaya yang bergerak secara tegak lurus terhadap arah aliran fluida yang dikenal sebagai gaya *lift* atau gaya angkat. Gaya *lift* dihasilkan oleh perbedaan tekanan di sekitar objek, terutama pada permukaan atas dan bawahnya. (Hoerner & Borst, 1975) Konsep ini sering digunakan pada bidang kedirgantaraan untuk mendesain sayap pesawat yang optimal. Untuk menghasilkan gaya *lift*, sayap pesawat biasanya didesain seperti airfoil. Apabila gaya *lift* bernilai positif maka objek tersebut akan terangkat ke atas, namun ketika gaya *lift*nya bernilai negatif maka akan terjadi efek *downforce* yaitu objek akan merasa terhisap ke arah bawah. Konsep *downforce* ini sering digunakan pada mobil-mobil balap untuk menambah *grip* pada ban sehingga meningkatkan

performa mobil. Persamaan gaya *lift* dan koefisien *lift* adalah sebagai berikut. (Cengel & Cimbala, 2018)

Koefisien *lift* :

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2}\rho V^2 A} \quad (2.9)$$

Dengan F_L adalah gaya angkat atau gaya *lift*, ρ adalah densitas fluida, V adalah kecepatan relatif, dan A adalah luas area muka objek. (Çengel & Cimbala, 2018)

2.4. Distribusi Gaya pada Kendaraan

Penambahan komponen aerodinamis seperti *undertray diffuser* pada mobil balap memberikan efek penambahan gaya *drag* dan *lift*. Gaya-gaya tersebut penting untuk dievaluasi untuk mengetahui perbedaan penambahan perangkat aerodinamis terhadap gaya *drag* dan gaya *lift*. Sehingga, dari penambahan perangkat aerodinamis dapat bekerja secara optimal dan tidak mengurangi performa mobil. Ketika mobil bergerak, percepatan mobil tersebut dapat dihitung dengan persamaan

$$m\ddot{x} = F - \frac{1}{2}\rho C_D A \dot{x}^2 \quad (2.10)$$

Dimana F adalah gaya penggerak mobil ke depan, ρ ialah massa jenis udara, C_D ialah koefisien *drag*, \dot{x} adalah kecepatan dan A adalah luas permukaan depan. Ketika gaya penggerak mobil dan gaya *drag* sudah mencapai kesetimbangan dengan nilai *rolling resistance* yang diabaikan, percepatannya menjadi nol. Sehingga persamaannya menjadi

$$F = \frac{1}{2}\rho C_D A \dot{x}^2 \quad (2.11)$$

Gaya penggerak mobil dapat diungkapkan dengan istilah tenaga mesin P dan kecepatan mobil $v = \dot{x}$. Persamaan untuk mengetahui nilai P atau tenaga mesin ialah sebagai berikut (McBeath, 1998)

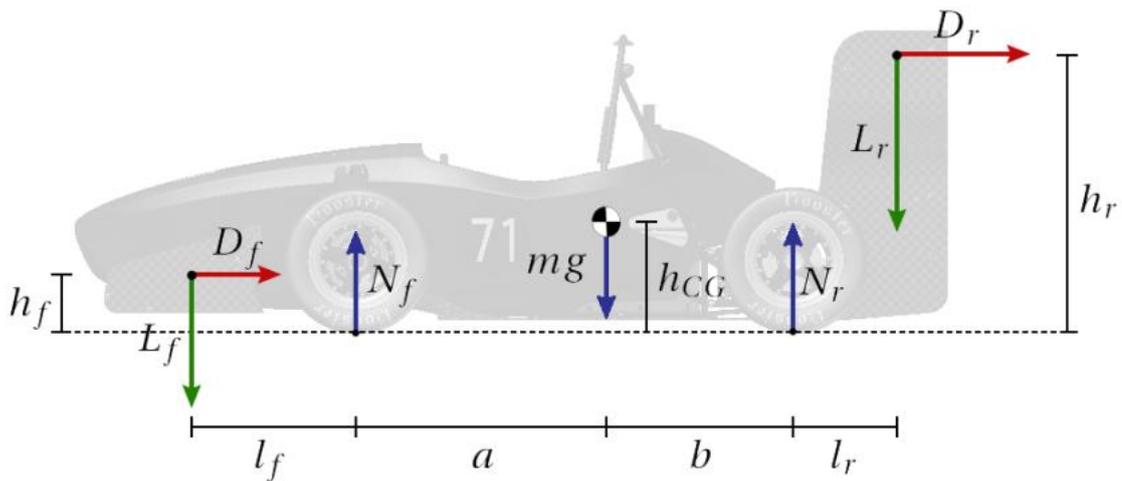
$$P = \frac{C_D A v^3}{1.663} \quad (2.12)$$

Peningkatan performa karena penambahan *grip* pada ban menyebabkan peningkatan performa mobil pada saat berbelok. Nilai penambahan performa pada mobil dapat diketahui dengan menggunakan kecepatan maksimum ketika kendaraan berbelok sebelum kendaraan tersebut kehilangan *grip*-nya. Berikut ini merupakan persamaan kecepatan ketika gaya gesek sama dengan gaya sentripetal

$$\mu F_z = \mu \left(mg + \frac{1}{2}\rho C_L A v^2 \right) = \frac{mv^2}{R} \quad (2.13)$$

$$v = \sqrt{\frac{mg}{\frac{m}{\mu R} - \frac{1}{2}\rho C_L A}} \quad (2.14)$$

Dengan m adalah massa mobil, g yaitu percepatan gravitasi, μ yaitu koefisien gesek, ρ merupakan massa jenis udara, C_L ialah koefisien *lift*, A adalah luas permukaan depan, dan R adalah radius putar. Untuk mendapatkan distribusi beban yang merata dari gaya aerodinamis, maka posisi beban aerodinamika mobil Sapuangan Speed harus dekat dengan titik *center of gravity* (CG) agar karakteristik *handling* stabil untuk kecepatan yang berbeda-beda. (McBeath, 1998)



Gambar 2.2. Free body diagram gaya yang bekerja pada mobil

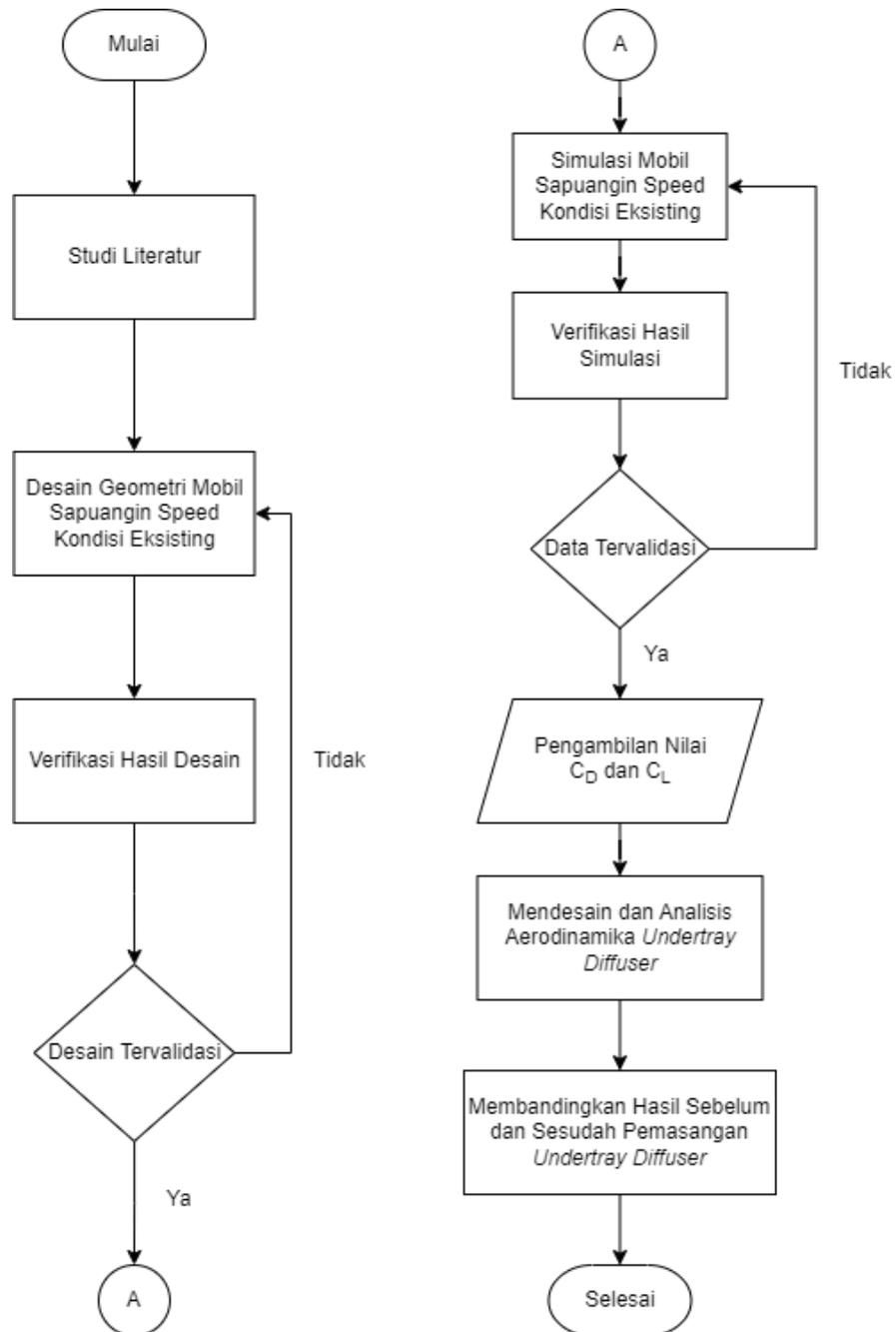
Sumber: (Dahlberg, 2014)

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini direpresentasikan dalam sebuah diagram alir yang tercantum di bawah ini



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

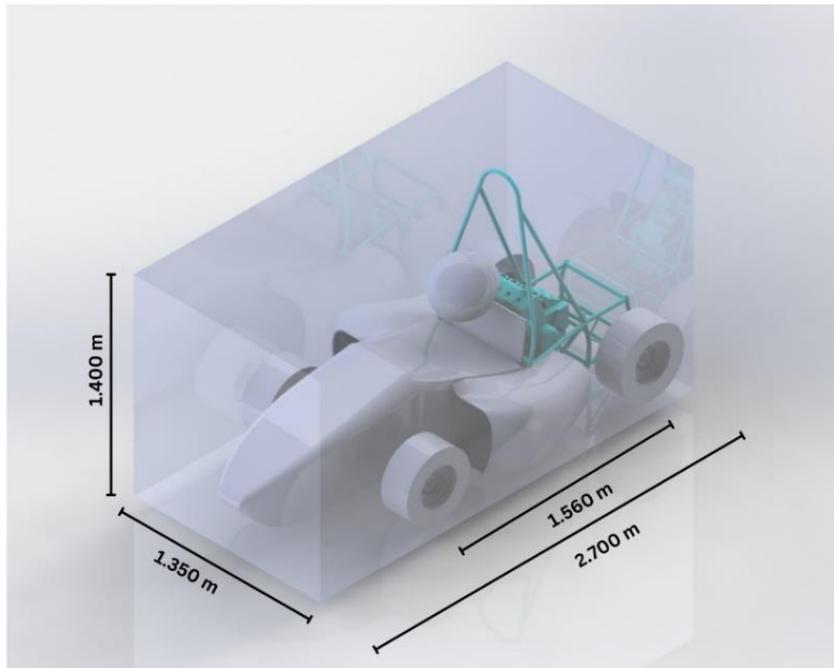
Penelitian dimulai dengan melakukan studi literatur untuk memberikan pemahaman untuk analisis hasil simulasi. Kemudian mendesain mobil Formula Sapuangin Speed kondisi *existing* dengan menggunakan software Solidworks 2021. Desain tersebut akan digunakan untuk melakukan simulasi CFD menggunakan Ansys Fluent 2021 R1, sehingga desain dari software Solidworks tersebut harus di-*export* dalam format netral (STEP, IGS, x_t, dll). Selanjutnya dilakukan simulasi CFD pada mobil *existing* dengan menggunakan parameter-parameter yang ditentukan sebagai acuan lalu data hasil simulasi tersebut harus divalidasi terlebih dahulu. Setelah mobil Sapuangin Speed kondisi *existing* dianalisis maka dilakukan desain *undertray diffuser* dalam berbagai jenis model seperti *separate rear diffuser*, *side diffuser*, dan *side & double diffuser*. Lalu dari beberapa model tersebut dilakukan simulasi CFD pada variasi ketinggian 7 cm, 6 cm, 5 cm, 4 cm, dan 3 cm, variasi sudut *diffuser* sebesar 10°, 15°, dan 20° serta pada variasi kecepatan 60 km/h, 70 km/h, 80 km/h, 90 km/h dan 100 km/h. dan hasilnya dibandingkan. Hasil simulasi beberapa model *undertray diffuser* akan dianalisis untuk mengetahui perbedaan performa mobil Sapuangin Speed setelah dan sebelum penggunaan *undertray diffuser*.

Tabel 3.1. Variasi Simulasi Penelitian

Variasi	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3	Variasi 4	Variasi 5
Model <i>Undertray Diffuser</i>	Single Diffuser	Separated Rear Diffuser	Separated Rear Diffuser with Splitter		
Ketinggian	3 cm	4 cm	5 cm	6 cm	7 cm
Sudut <i>Diffuser</i>	10°	15°	20°		
Kecepatan Mobil	60 km/h	70 km/h	80 km/h	90 km/h	100 km/h

3.1. Desain Mobil Formula Sapuangin Speed

Mobil Sapuangin Speed didesain sesuai dengan peraturan untuk kompetisi FSAE 2024, sehingga bentuk mobil tersebut menyerupai mobil Formula. Bagian depan mobil Sapuangin Speed berbentuk seperti segiempat yang bagian depannya tumpul dan melebar sampai bagian *driver*. Bagian *body* tersebut juga didesain mengikuti sasis mobil. Desain mobil tersebut dapat dilihat pada gambar 3.2.

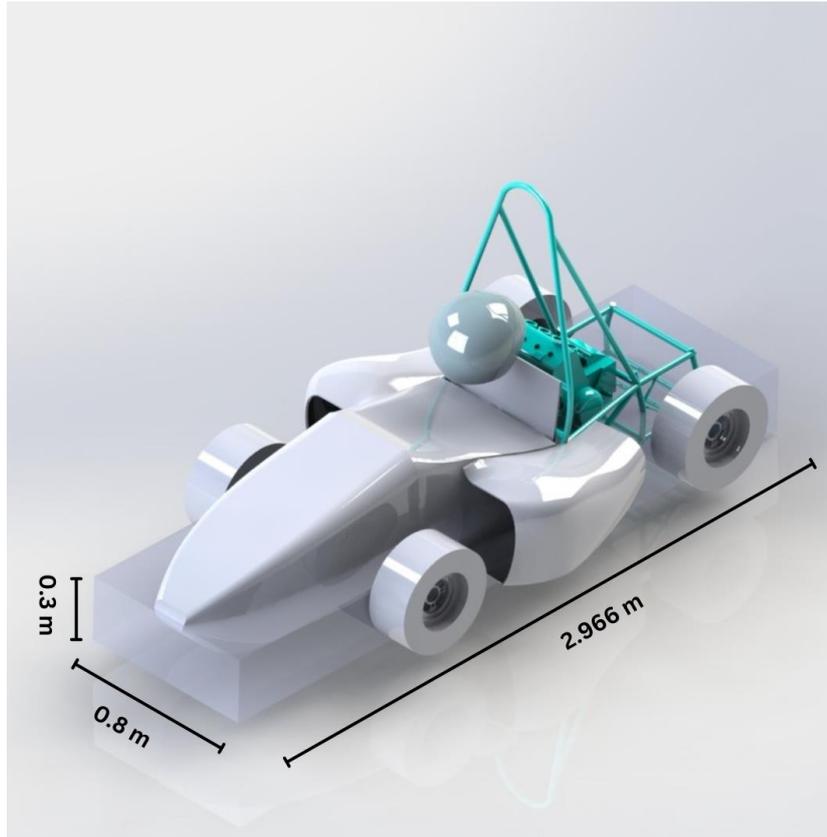


Gambar 3.2. Desain Mobil Sapuangin Speed

Untuk penelitian ini, desain mobil Sapuangin Speed disederhanakan dengan menghilangkan bagian elektrikal, radiator, *exhaust system*, dll. Meskipun simulasi dilakukan tanpa menghilangkan beberapa bagian pada mobil, hasil simulasi tidak memberikan perbedaan yang signifikan jika dibandingkan dengan melakukan penyederhanaan. Selain itu, simulasi dengan penggunaan bagian mobil yang lengkap dapat menghambat konvergensi perhitungan karena peningkatan *Reynolds Number*.

3.2. Dimensi *Undertray Diffuser*

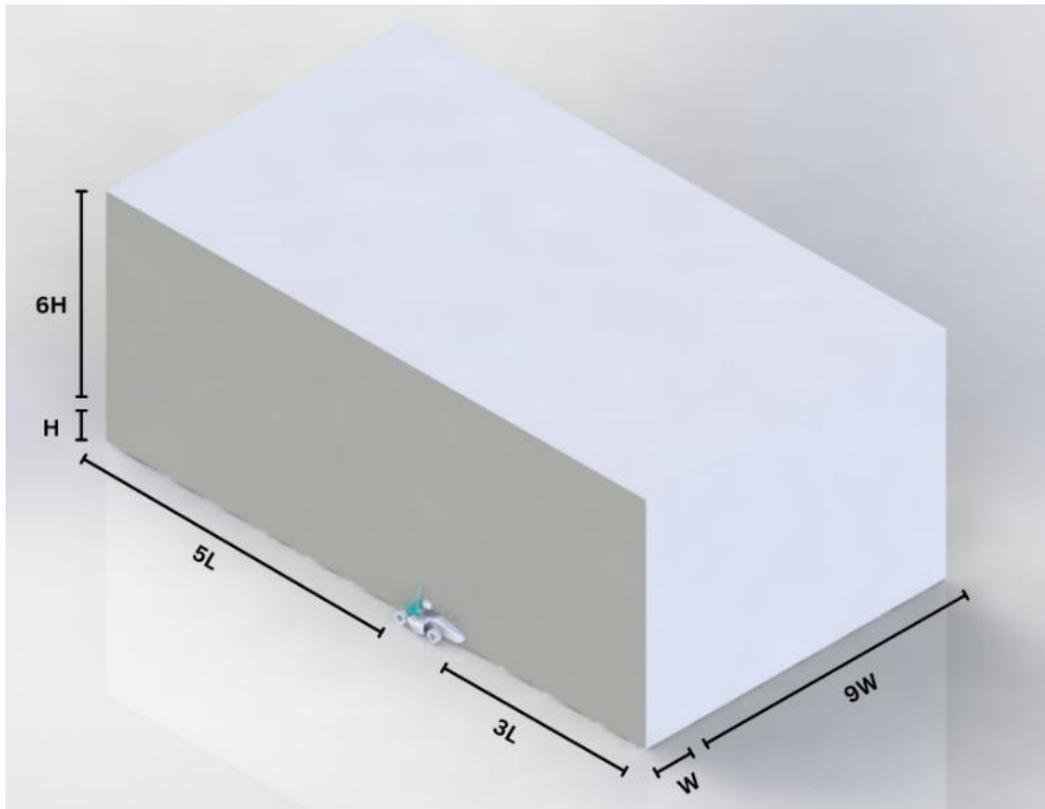
Berdasarkan aturan FSAE 2024, penempatan segala perangkat aerodinamis harus memenuhi kriteria yang sudah ditentukan. Kriteria tersebut yaitu perangkat aerodinamis harus berada tidak lebih dari 700 mm di depan roda depan, tidak lebih dari 250 mm di belakang roda belakang, tidak lebih tinggi dari 500 mm di atas tanah, dan tidak ada batasan ketinggian minimum (SAE, 2023). Dengan mempertimbangkan desain mobil Sapuangin Speed dan peraturan FSAE 2024, maka dimensi *undertray diffuser* yang bisa didesain yaitu sesuai dengan Gambar 3.3..



Gambar 3.3. Batasan desain volumetrik *undertray diffuser*

3.3. Computational Domain

Ketika melakukan simulasi pada kondisi jalan terbuka, luas penampang dari *wind tunnel* harus *blockage ratio* kurang dari atau sama dengan 0,2%. *Blockage ratio* dapat dihitung dengan menggunakan rasio dari bagian depan suatu objek dengan bagian depan *wind tunnel*. (Soliman et al., 2015) Luas penampang dari *wind tunnel* sebaiknya tidak terlalu besar karena dapat menghambat proses perhitungan. Simulasi juga dapat dilakukan dengan menggunakan setengah badan dari mobil untuk memudahkan komputasi agar lebih cepat dan meringankan kinerja *hardware*.



Gambar 3.4. Dimensi domain komputasi

3.4. Simulasi CFD

Tahap awal untuk melakukan simulasi yaitu dengan mengimpor desain dari Solidworks 2021 ke dalam ANSYS Fluent 2021 dengan format netral. Tahap kedua yaitu melakukan *meshing* pada geometri. *Meshing* dilakukan dengan membagi geometri menjadi beberapa domain *grid* dengan ukuran yang ditentukan menyesuaikan geometri yang ingin disimulasikan. Domain *grid* tersebut berfungsi untuk mempermudah perhitungan dan analisis. Kualitas *meshing* yang baik berpengaruh terhadap peningkatan akurasi, efisiensi simulasi, serta representasi visual dari geometri.

Tahap selanjutnya yaitu menentukan parameter-parameter pada simulasi termasuk kondisi awal dan kondisi batas. Aliran turbulen dipilih pada simulasi ini karena aliran fluida yang terjadi di sekitar mobil FSAE merupakan aliran turbulen. Ada beberapa model aliran fluida yang dapat dipilih seperti $k-\epsilon$, $k-\omega$, $k-\omega$ SST, Large Eddy Simulation (LES). Penggunaan pada industri menunjukkan bahwa model tersebut dapat mencapai hasil yang baik untuk nilai integral (seperti koefisien *drag*), dimana berkisar 2-5%. (Oxyzoglou, 2017)

Tabel 3.2. Parameter yang digunakan

Parameter	Nilai
Model Geometri	3D Solver
Kedadaan	<i>Steady State</i>
Viscous Model	k- ω
Material Properties	Fluid: air

Tabel 3.3. Kondisi batas simulasi CFD

No	Kondisi Batas	Kondisi
1	Velocity - inlet	Inlet udara
		• Kecepatan aliran : 60 km/h – 100 km/h
		• <i>Turbulence intensity : 1%</i>
		• <i>Turbulence viscosity ratio : 10</i>
2	Pressure - outlet	<i>Backflow Reference Frame: Absolut</i>
		• <i>Gauge pressure: 0 Pa</i>
		• <i>Backflow turbulence intensity: 1%</i>
		• <i>Backflow turbulent ratio: 10</i>
3	Road	<i>Moving wall</i>
4	Wall	<i>No Slip Wall</i>

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Grid Independence Test

Pada simulasi *Computational Fluid Dynamics (CFD)*, metode yang sering digunakan untuk mengetahui apakah suatu pola *mesh* sudah sesuai yaitu dengan melakukan pengujian *grid independence test (GIT)*. Pengujian ini dilakukan dengan mengubah ukuran *mesh* dari geometri yang akan disimulasikan. Sebuah *meshing* dapat dikatakan baik apabila ketika diberi perubahan ukuran *mesh* maka hasil simulasi akan konvergen atau dengan *error* paling besar sebesar 10% (Sadrehaghighi, 2021). Tabel 4.1. menunjukkan nilai Cd dan Cl untuk variasi jumlah *elements* yang berbeda untuk beberapa geometri

Tabel 4.1. Hasil *grid independence*

<i>No Diffuser</i>					
Nodes	Elements	Cd	Cl	Selisih Cd	Selisih Cl
1317504	7416336	0.572	0.121		
1417079	7953287	0.579	0.125	1.25%	3.22%
1562742	8740469	0.591	0.122	2.09%	2.67%
1825203	10142363	0.575	0.131	2.78%	7.30%
<i>Single Diffuser</i>					
Nodes	Elements	Cd	Cl	Selisih Cd	Selisih Cl
1366479	7659725	0.570	0.051		
1475756	8242666	0.565	0.054	0.97%	5.95%
1641473	9133182	0.559	0.055	0.94%	1.11%
1957989	10824927	0.583	0.060	4.16%	8.45%
<i>Separated Rear Diffuser</i>					
Nodes	Elements	Cd	Cl	Selisih Cd	Selisih Cl
1389248	7686063	0.467	0.031		
1534253	8462021	0.449	0.032	3.97%	4.80%
1738076	9556241	0.446	0.030	0.47%	7.31%
2060626	11271870	0.447	0.029	0.10%	3.14%
<i>Separated Rear Diffuser with Splitter</i>					
Nodes	Elements	Cd	Cl	Selisih Cd	Selisih Cl
1240397	6982956	0.582	0.052		
1321003	7414115	0.573	0.051	1.61%	3.41%
1438476	8045589	0.568	0.052	0.84%	3.40%
1660340	9232652	0.567	0.057	0.21%	7.77%

Dari hasil *grid independence* tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan mengubah ukuran *mesh* tetap membuat nilai Cd dan Cl nya konsisten dengan *error* di bawah 10%.

4.2. Hasil dan Validasi Simulasi Mobil Kondisi Eksisting

Validasi pada hasil simulasi diperlukan untuk mengetahui apakah penelitian dapat dilanjutkan. Validasi dapat dilakukan dengan membandingkan data hasil simulasi dengan penelitian sebelumnya. Hasil simulasi dapat dikatakan tervalidasi apabila perbedaan nilai parameter yang digunakan tidak lebih dari 10%. Parameter yang digunakan pada proses validasi ini ialah nilai Cd pada mobil Sapuangin Speed kondisi eksisting dengan mobil FSAE berjenis open wheel tanpa menggunakan *device* aerodinamis. Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan oleh (Seward, 2014) dan (Oxyzoglou, 2017) pada bukunya terkait aerodinamika mobil FSAE menyebutkan bahwa nilai Cd pada mobil Formula Student tanpa *device* aerodinamis adalah masing-masing 0,60 dan 0,63. Meskipun desain mobil pada penelitian tersebut berbeda dengan mobil Sapuangin Speed, tetapi kedua mobil tersebut masih satu jenis mobil yang sama yaitu mobil FSAE.

Tabel 4.2. Validasi hasil simulasi

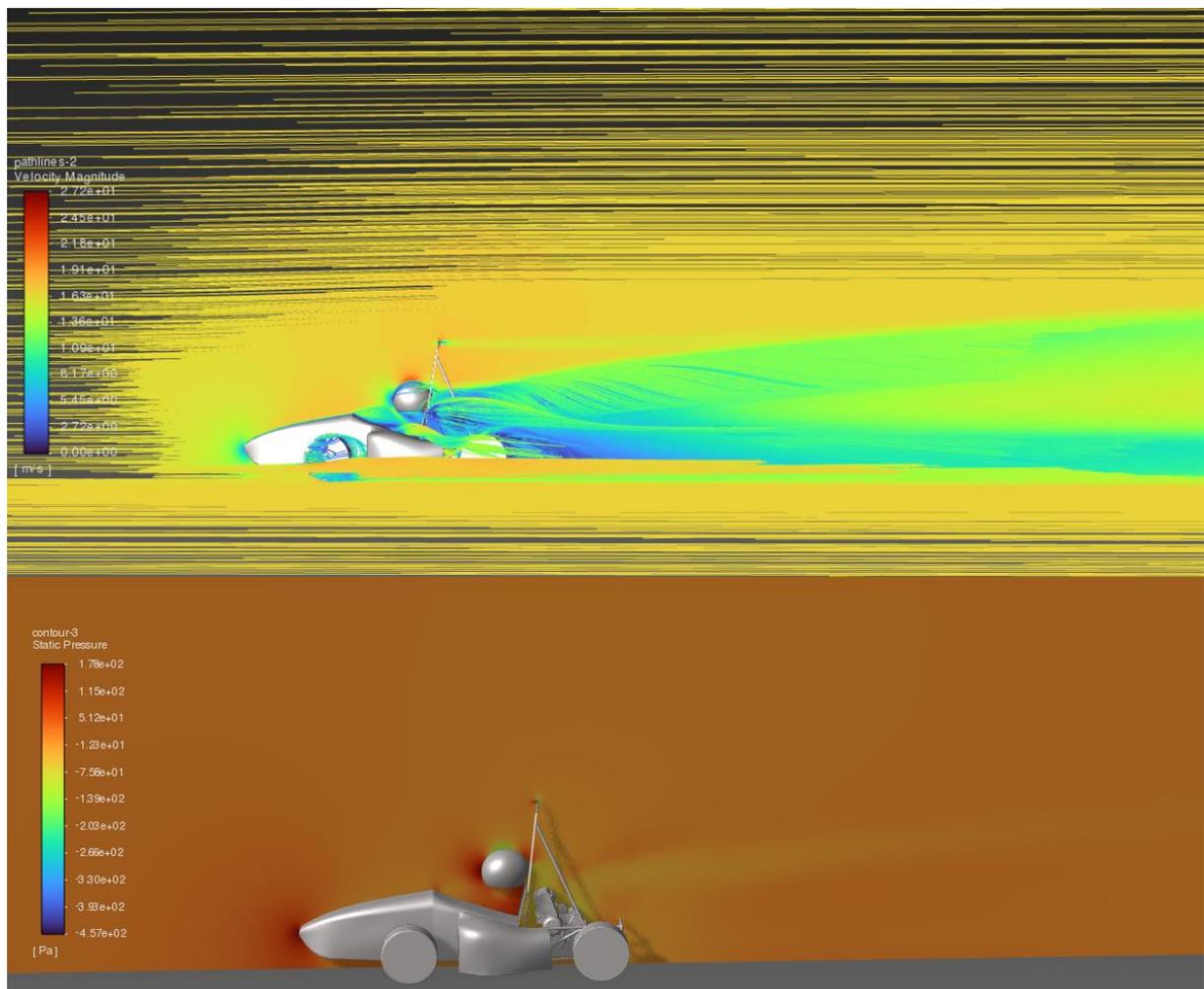
Berdasarkan	Nilai Cd Simulasi	Nilai Cd standar	Error
Seward	0,591	0,60	1,44%
Oxyzoglou		0,63	6,32%

Berdasarkan tabel tersebut, dapat dilihat bahwa error yang paling besar antara Cd hasil simulasi dengan Cd standar pada penelitian mengenai aerodinamika mobil FSAE adalah sebesar 6,32%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil penelitian ini sudah tervalidasi karena nilai Cd hasil simulasi dan Cd standar dari penelitian memiliki perbedaan di bawah 10%.

Hasil simulasi CFD dari mobil Sapuangin Speed kondisi eksisting mendapatkan nilai Cd sebesar 0,5914 dan nilai Cl sebesar 0,1220 dengan gaya *drag* sebesar 81,68 N dan gaya *lift* sebesar 16,85 N. Nilai tersebut menunjukkan bahwa mobil Sapuangin Speed mempunyai gaya *drag* yang tinggi sehingga menyebabkan performa mobil yang belum maksimal karena terkena gaya *drag*. Selain itu, gaya angkat yang tinggi pada mobil Sapuangin Speed juga menyebabkan kehilangan traksi pada ban sehingga mobil tidak stabil pada kecepatan tinggi

dan tikungan. Oleh sebab itu, maka diperlukan sebuah perangkat aerodinamis yang dapat mengurangi gaya *drag* yang disebabkan mobil dan yang dapat menambah *downforce* sehingga performa mobil Sapu angin Speed lebih meningkat.

Dengan menggunakan *Ansys Post-processing* dapat dilihat tampilan visual distribusi tekanan pada kendaraan dan daerah di dekat kendaraan. Gambar 4.1. menunjukkan persebaran tekanan pada mobil dan daerah di dekat mobil. Titik stagnasi terjadi di depan *nosecone* dan helm ditandai dengan warna merah pekat. Daerah stagnasi tersebut akan menghasilkan gaya *drag* yang dapat menghambat pergerakan mobil. Selain itu, dengan bentuk geometri mobil dengan tanpa perangkat aerodinamis apapun akan menyebabkan tekanan di belakang mobil menjadi rendah sehingga akan menghasilkan *drag*.

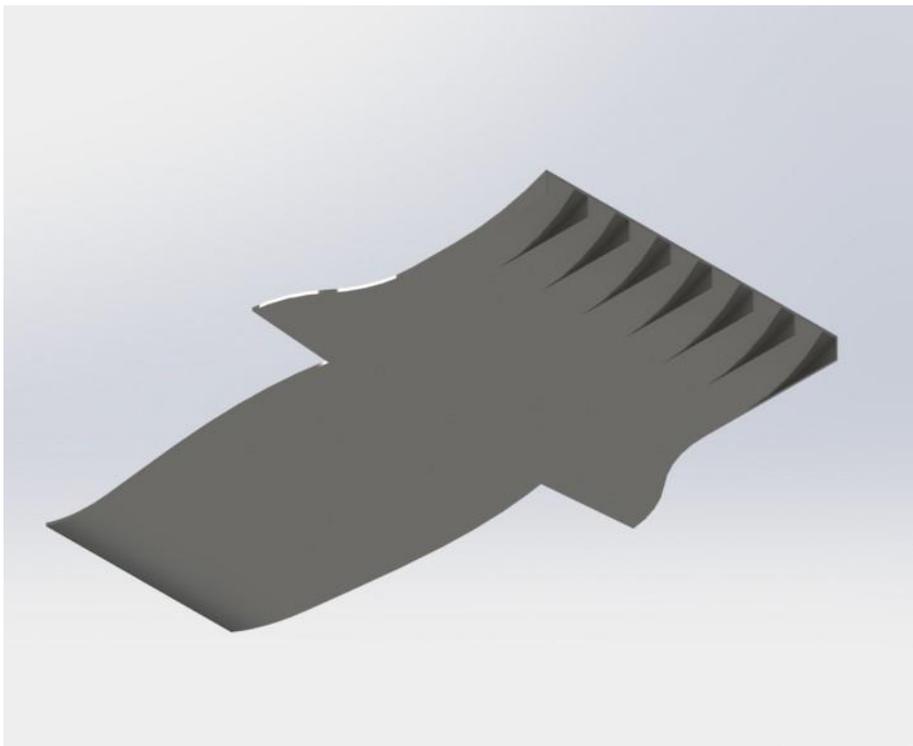


Gambar 4.1. *Streamlines* kecepatan dan kontur tekanan di sekitar mobil kondisi eksisting dengan aliran udara dari kiri ke kanan

Dengan menggunakan perangkat aerodinamis *undertray diffuser*, maka didapatkan keuntungan yaitu mengurangi gangguan aliran fluida di belakang mobil sehingga dapat mengurangi gaya *drag* pada mobil. Pada Gambar 4.1. menunjukkan area *wake* yang besar di belakang mobil yang dapat dikurangi dengan menambahkan *undertray diffuser*.

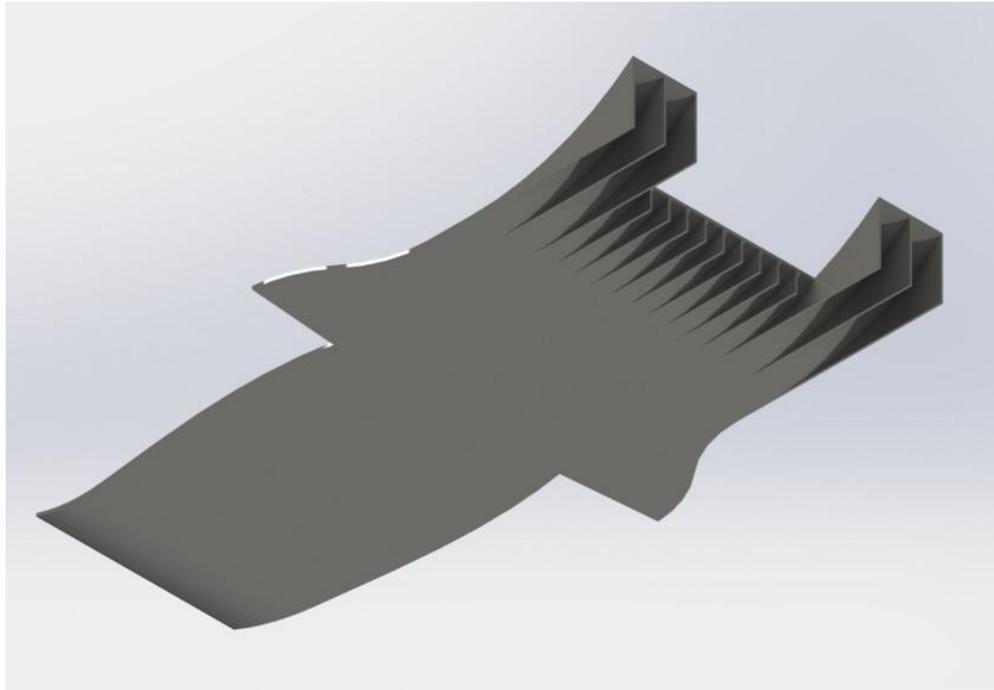
4.3. Desain *Undertray Diffuser*

Dalam mendesain sebuah *diffuser*, langkah pertama yaitu dengan memilih bentuk *undertray diffuser* yang paling optimal. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Oxyzoglou, 2017). terdapat lima model *undertray diffuser* yang dapat digunakan pada mobil FSAE. Dari ketiga model *undertray* tersebut dipilih tiga jenis yang dapat diterapkan pada mobil Sapu angin Speed. Tiga model tersebut ialah *single diffuser*, *separated rear diffuser*, dan *separated rear diffuser with splitter*. Gambar 4.2. merupakan model *undertray diffuser* yang pertama yaitu *single diffuser* dimana model *undertray* ini mempunyai *diffuser* yang besar di belakang mobil dan diberi 6 *flaps* yang berguna untuk menjaga aliran udara agar tetap melekat pada *undertray* dan tidak terjadi *stall*. Di setiap samping *diffuser* ditambahkan *side-skirt* agar tidak ada udara yang keluar dari *undertray* dan untuk mengarahkan aliran udara agar melewati *diffuser*.



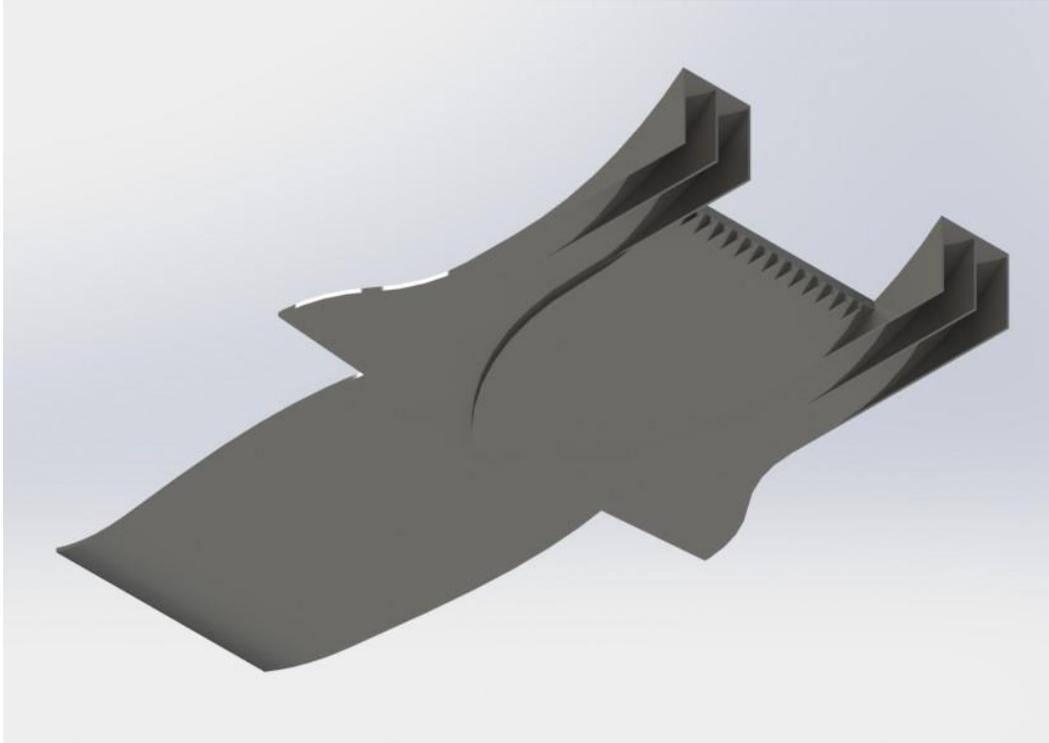
Gambar 4.2. *Single diffuser*

Gambar 4.3. merupakan model *undertray diffuser* yang kedua yaitu *separated rear diffuser* yang mirip dengan *single diffuser* tetapi dengan menambahkan dua *diffuser* di bagian sampingnya yang lebih panjang daripada di bagian tengah. *Diffuser* tersebut lebih panjang di bagian samping agar aliran udara di bagian samping dapat dikontrol lebih jauh karena di bagian tengah terhalang oleh sasis mobil.



Gambar 4.3 *Separated rear diffuser*

Gambar 4.4. ialah model *undertray diffuser* yang ketiga yang mirip dengan model kedua tetapi ditambahkan *splitter* di bagian tengah *undertray*. Model ini disebut dengan *separated rear diffuser with splitter*. Fungsi *splitter* ini adalah untuk memisahkan aliran udara yang datang dan mengarahkannya langsung ke dua *diffuser* belakang yang memanjang.



Gambar 4.4. Separated rear *diffuser* with splitter

4.4. Hasil Simulasi *Undertray Diffuser* pada Mobil Sapuangin Speed

Ketiga model *undertray diffuser* akan disimulasikan dengan variasi sudut *diffuser*, ketinggian *diffuser*, dan kecepatan mobil. Variasi ketinggian yang digunakan yaitu sebesar 3 cm, 4 cm, 5 cm, 6 cm, dan 7 cm Untuk sudut *diffuser* divariasikan pada sudut *diffuser* sebesar 10°, 15°, dan 20°. Sedangkan kecepatan mobil yang digunakan pada simulasi yaitu 60 km/h, 70 km/h, 80 km/h, 90 km/h, dan 100 km/h.

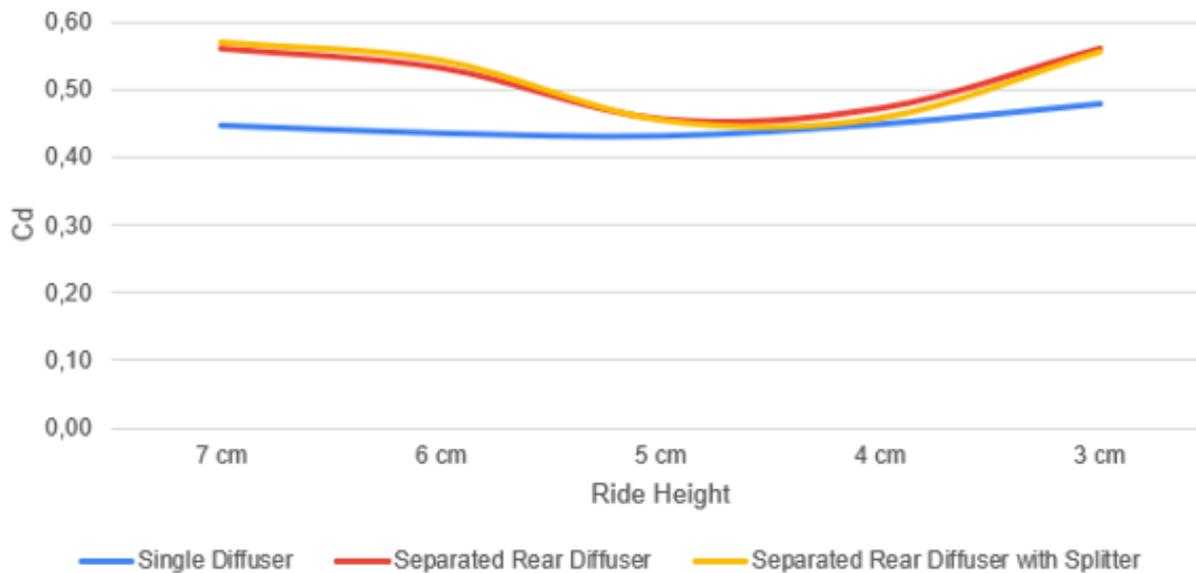
4.4.1. Hasil Simulasi Variasi Ketinggian *Undertray Diffuser*

Hasil simulasi untuk variasi sudut *diffuser* dengan sudut *diffuser* dan kecepatan mobil yang sama berturut-turut yaitu 20° dan 60 km/h dapat dilihat pada Tabel 4.3.

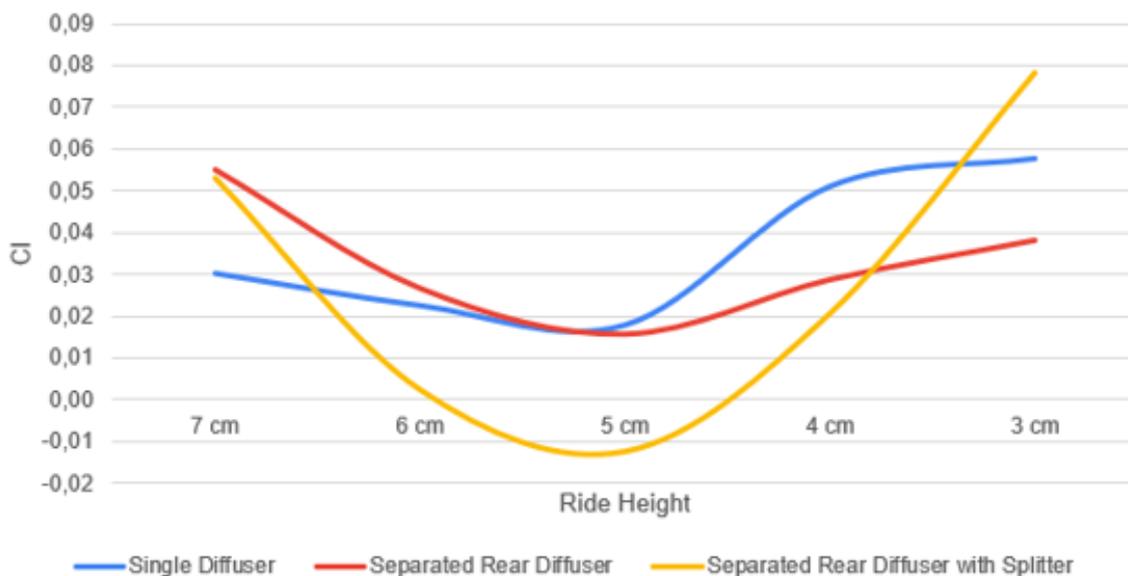
Tabel 4.3 Hasil simulasi variasi ketinggian pada ketiga model *undertray diffuser*

Without <i>Diffuser</i>				
Ride Height	Cd	Cl	Fd (N)	Fl (N)
7 cm	0,591	0,122	81,676	16,851
Single <i>Diffuser</i>				
Ride Height	Cd	Cl	Fd (N)	Fl (N)
7 cm	0,446	0,030	66,169	4,401
6 cm	0,434	0,022	62,944	8,325
5 cm	0,430	0,017	61,457	2,518
4 cm	0,448	0,051	67,071	7,264
3 cm	0,479	0,057	74,838	8,280
Separated Rear <i>Diffuser</i>				
Ride Height	Cd	Cl	Fd (N)	Fl (N)
7 cm	0,559	0,055	79,081	7,803
6 cm	0,531	0,026	70,869	3,782
5 cm	0,455	0,015	65,088	2,235
4 cm	0,471	0,028	66,985	4,144
3 cm	0,560	0,038	81,858	5,588
Separated Rear <i>Diffuser</i> with Splitter				
Ride Height	Cd	Cl	Fd	Fl
7 cm	0,568	0,052	80,572	7,494
6 cm	0,542	0,002	83,035	0,308
5 cm	0,456	-0,012	65,514	-1,811
4 cm	0,459	0,020	66,138	2,932
3 cm	0,555	0,078	81,046	11,399

Dari hasil simulasi variasi ketinggian *diffuser* pada setiap model *undertray diffuser* menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai Cd pada ketinggian 5 cm dari tanah seperti ditunjukkan pada Gambar 4.5. Pada gambar tersebut juga dapat dilihat bahwa ketinggian *undertray diffuser* yang paling optimal adalah pada ketinggian 5 cm. Hal ini ditunjukkan dengan nilai Cd yang paling minimum pada ketinggian tersebut.



Gambar 4.5. Grafik Cd terhadap ketinggian *undertray*

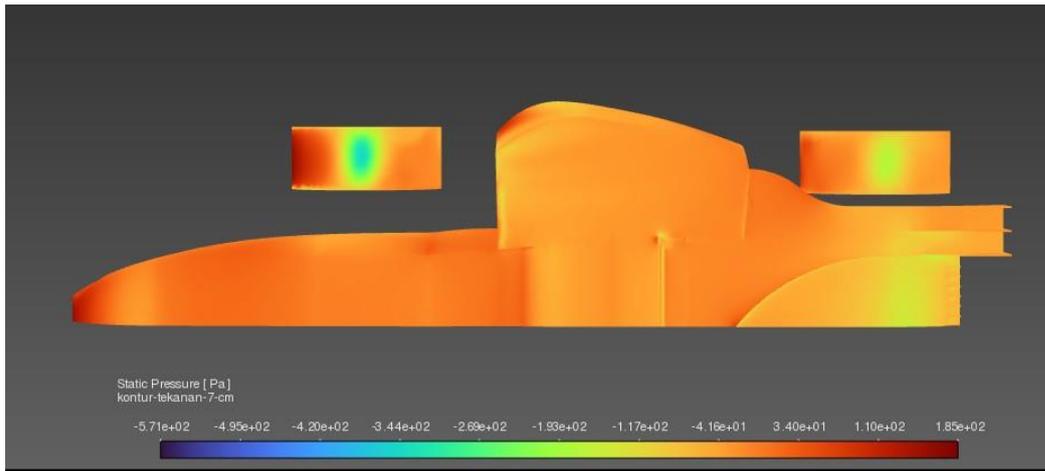


Gambar 4.6. Grafik Cl terhadap ketinggian *undertray*

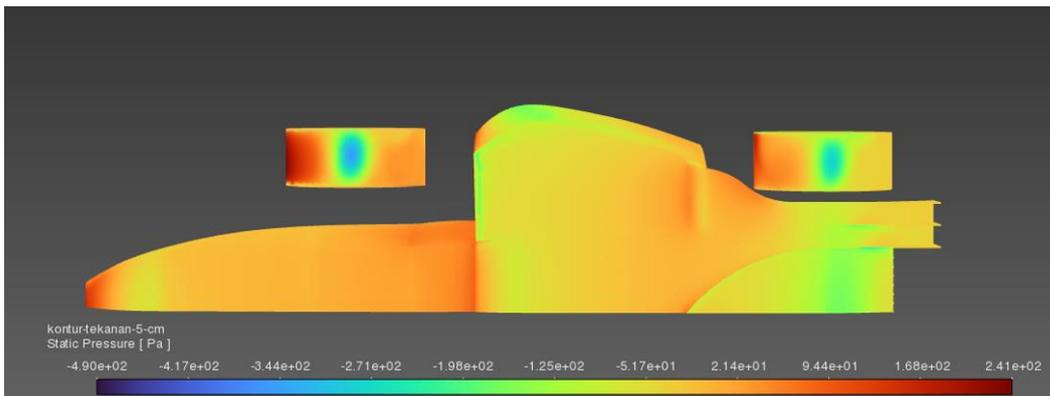
Dari hasil simulasi variasi ketinggian *diffuser* pada setiap model *undertray diffuser* menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai Cl pada ketinggian 5 cm dari tanah seperti ditunjukkan pada Gambar 4.. Pada gambar tersebut dapat dilihat grafik perbandingan nilai Cl terhadap ketinggian *undertray diffuser* yang menunjukkan bahwa ketinggian *undertray* yang terbaik pada mobil Sapuangin Speed ialah pada ketinggian 5 cm. Nilai Cd dan Cl semakin mengecil dari ketinggian *undertray* 7 cm sampai pada ketinggian 5 cm dan meningkat lagi

ketika ketinggian *undertray* dinaikkan sampai dengan ketinggian 3 cm. Nilai Cd dan Cl dapat menurun seiring dengan menurunnya ketinggian *undertray* karena aliran udara melewati celah yang lebih sempit sehingga menyebabkan kecepatan udaranya menjadi lebih cepat dan tekanannya menjadi lebih rendah dikarenakan oleh efek Venturi (Anderson, 2009). Hal ini menyebabkan gaya *lift* pada mobil semakin berkurang atau *downforce*-nya meningkat karena tekanan di bawah mobil menjadi lebih rendah. Nilai Cd juga semakin rendah karena area separasi dan wake di belakang mobil menjadi berkurang karena adanya aliran udara yang diarahkan oleh *diffuser* (Khokhar & Shirolkar, 2015).

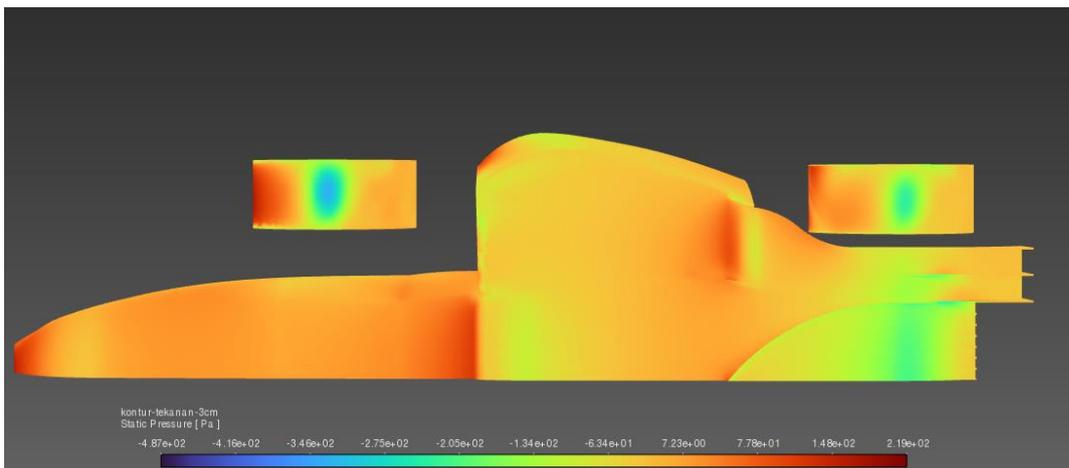
Gambar 4.7. menunjukkan distribusi tekanan di bagian bawah mobil terutama bagian *undertray diffuser* yang menunjukkan bahwa pada ketinggian 7 cm tekanan di bawah mobil relatif tinggi pada sebagian besar bagian *undertray* daripada variasi 5 cm dan 3 cm ditunjukkan dengan warna oranye pada hampir semua bagian *undertray*. Sedangkan pada variasi ketinggian 5 cm mempunyai tekanan yang lebih rendah pada sebagian besar *undertray* yang ditunjukkan dengan warna kuning yang dominan, tetapi pada bagian inlet *undertray* terdapat tekanan yang besar ditunjukkan dengan adanya warna oranye pada bagian tersebut. Seperti pada variasi ketinggian 5 cm, untuk variasi ketinggian 3 cm sebagian besar *undertray* juga berwarna kuning, tetapi terdapat warna merah pada bagian inlet yang berarti terdapat tekanan yang besar pada inlet.



(a)



(b)

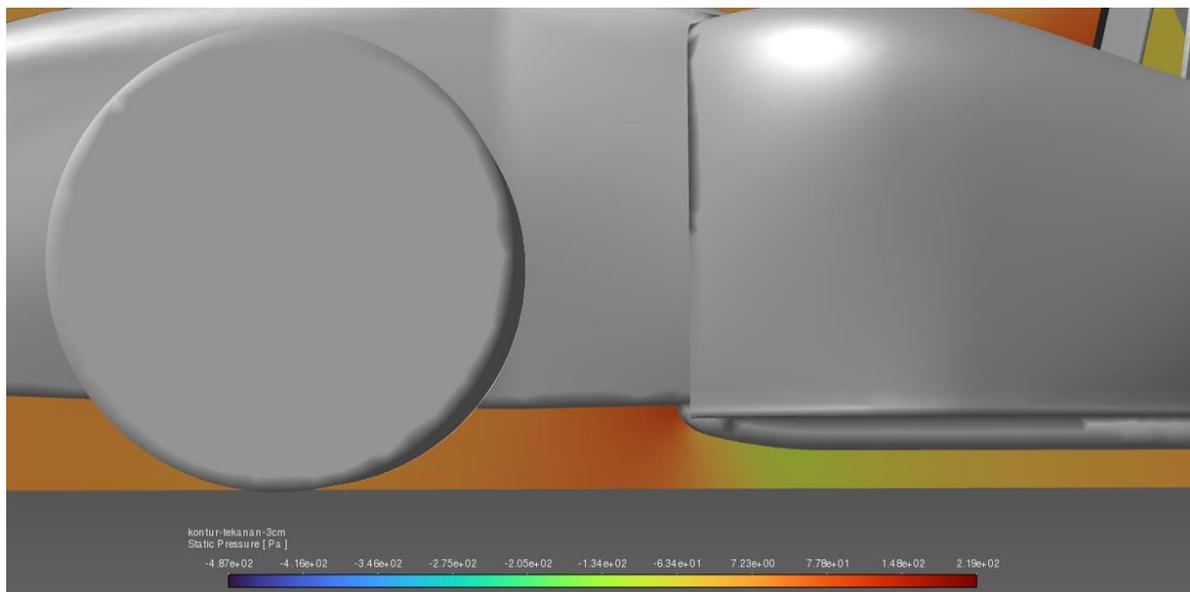


(c)

Gambar 4.7. Kontur tekanan *separated rear diffuser with splitter* pada ketinggian (a) 7 cm, (b) 5 cm, (c) 3 cm dengan aliran udara dari kiri ke kanan

Dengan menggunakan Gambar 4.8. dapat dilihat distribusi tekanan pada bawah mobil pada variasi ketinggian 3 cm. Setelah ketinggian 5 cm nilai Cd dan Cl kembali meningkat

karena terjadi stagnansi yang disebabkan ekspansi yang besar akibat penurunan posisi *undertray* dan sudut inlet yang kurang landai sehingga sebagian aliran udara bertabrakan dengan inlet *undertray* sebelum memasuki *undertray*. Aliran udara yang stagnan tersebut menyebabkan penurunan kecepatan dan meningkatkan tekanan di bagian bawah mobil sehingga mengurangi *downforce* dan meningkatkan gaya *drag*



Gambar 4.8. Kontur tekanan di inlet *undertray* pada ketinggian 3 cm dengan aliran udara dari kiri ke kanan

Dengan menggunakan Gambar 4.8. dapat dilihat distribusi tekanan pada bawah mobil pada variasi ketinggian 3 cm. Setelah ketinggian 5 cm nilai C_d dan C_l kembali meningkat karena terjadi stagnansi yang disebabkan ekspansi yang besar akibat penurunan posisi *undertray* dan sudut inlet yang kurang landai sehingga sebagian aliran udara bertabrakan dengan inlet *undertray* sebelum memasuki *undertray*. Aliran udara yang stagnan tersebut menyebabkan penurunan kecepatan dan meningkatkan tekanan di bagian bawah mobil sehingga mengurangi *downforce* dan meningkatkan gaya *drag*

4.4.2. Hasil Simulasi Variasi Sudut *Diffuser*

Dari kelima variasi ketinggian didapatkan kesimpulan ketinggian yang optimal untuk pemasangan *undertray diffuser* yaitu pada ketinggian 5 cm dari tanah. Maka dapat dilanjutkan untuk simulasi variasi selanjutnya yaitu variasi sudut *diffuser* yaitu 10° , 15° , dan 20° .

Simulasi untuk variasi ini tetap menggunakan semua variasi ketinggian *undertray* untuk mengetahui apakah terdapat pengaruh pada nilai Cd dan Cl ketika besar sudutnya berbeda pada setiap ketinggian *undertray*. Simulasi tersebut menggunakan geometri *undertray diffuser* dengan masing-masing variasi ketinggian pada kecepatan 60 km/h. Hasil simulasi variasi sudut tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.4. sampai Tabel 4.8

Tabel 4.4. Hasil simulasi variasi sudut pada ketiga model *undertray diffuser* pada ketinggian 7 cm

Ketinggian 7 cm				
Without Diffuser				
Angle	Cd	Cl	Fd	Fl
-	0.591	0.122	81.676	16.851
Single Diffuser				
Angle	Cd	Cl	Fd	Fl
10°	0.572	0.112	84.589	19.316
15°	0.526	0.072	78.268	9.430
20°	0.446	0.030	66.169	4.401
Separated Rear Diffuser				
AoA	Cd	Cl	Fd	Fl
10°	0.600	0.120	95.107	16.839
15°	0.585	0.094	91.712	13.685
20°	0.559	0.055	79.081	7.803
Separated Rear Diffuser with Splitter				
AoA	Cd	Cl	Fd	Fl
10°	0.592	0.090	91.048	17.281
15°	0.582	0.072	87.453	9.859
20°	0.568	0.052	80.5728	7.494

Berdasarkan Tabel 4.4. pada ketinggian 7 cm terjadi penurunan nilai Cl dan Cd seiring dengan bertambahnya besar sudut *diffuser*. Pada ketinggian ini, nilai Cl dan Cd paling kecil dimiliki oleh model *Single Diffuser*.

Tabel 4.5. Hasil simulasi variasi sudut pada ketiga model *undertray diffuser* pada ketinggian 6 cm

Ketinggian 6 cm				
Without Diffuser				
Angle	Cd	Cl	Fd	Fl
-	0.591	0.122	81.676	16.851
Single Diffuser				
Angle	Cd	Cl	Fd	Fl
10°	0.535	0.094	84.781	18.981
15°	0.463	0.064	72.719	12.872
20°	0.434	0.022	62.944	8.325
Separated Rear Diffuser				
AoA	Cd	Cl	Fd	Fl
10°	0.608	0.115	94.550	16.901
15°	0.559	0.084	82.398	12.859
20°	0.531	0.026	70.869	3.782
Separated Rear Diffuser with Splitter				
AoA	Cd	Cl	Fd	Fl
10°	0.626	0.094	91.962	15.977
15°	0.588	0.074	89.564	10.782
20°	0.542	0.002	83.0359	0.308

Tabel 4.5. merupakan hasil simulasi untuk setiap variasi sudut pada ketinggian 6 cm. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai Cl dan Cd terjadi penurunan ketika sudut *diffuser* diperbesar. Pada ketinggian 6 cm, nilai Cd paling rendah ditunjukkan pada model *single diffuser*. Sedangkan nilai Cl yang paling rendah ditunjukkan pada model *Separated Rear Diffuser with Splitter*.

Tabel 4.6. Hasil simulasi variasi sudut pada ketiga model *undertray diffuser* pada ketinggian 5 cm

Ketinggian 5 cm				
Without Diffuser				
Angle	Cd	Cl	Fd	Fl
-	0.591	0.122	81.676	16.851
Single Diffuser				
Angle	Cd	Cl	Fd	Fl
10°	0.560	0.117	78.699	19.316
15°	0.515	0.085	72.429	1.030
20°	0.430	0.017	61.457	2.518
Separated Rear Diffuser				
AoA	Cd	Cl	Fd	Fl
10°	0.560	0.119	79.191	16.839
15°	0.552	0.096	78.536	13.685
20°	0.455	0.015	65.088	2.235
Separated Rear Diffuser with Splitter				
AoA	Cd	Cl	Fd	Fl
10°	0.482	0.120	69.848	17.281
15°	0.472	0.082	67.453	11.859
20°	0.456	-0.012	65.514	-1.811

Tabel 4.6. menampilkan hasil simulasi untuk variasi sudut pada ketinggian 5 cm. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai Cl dan Cd menurun seiring dengan peningkatan sudut diffuser. Pada ketinggian 5 cm, nilai Cd terendah terdapat pada model *Single Diffuser*, sedangkan nilai Cl terendah ditemukan pada model *Separated Rear Diffuser with Splitter*.

Tabel 4.7. Hasil simulasi variasi sudut pada ketiga model *undertray diffuser* pada ketinggian 4 cm

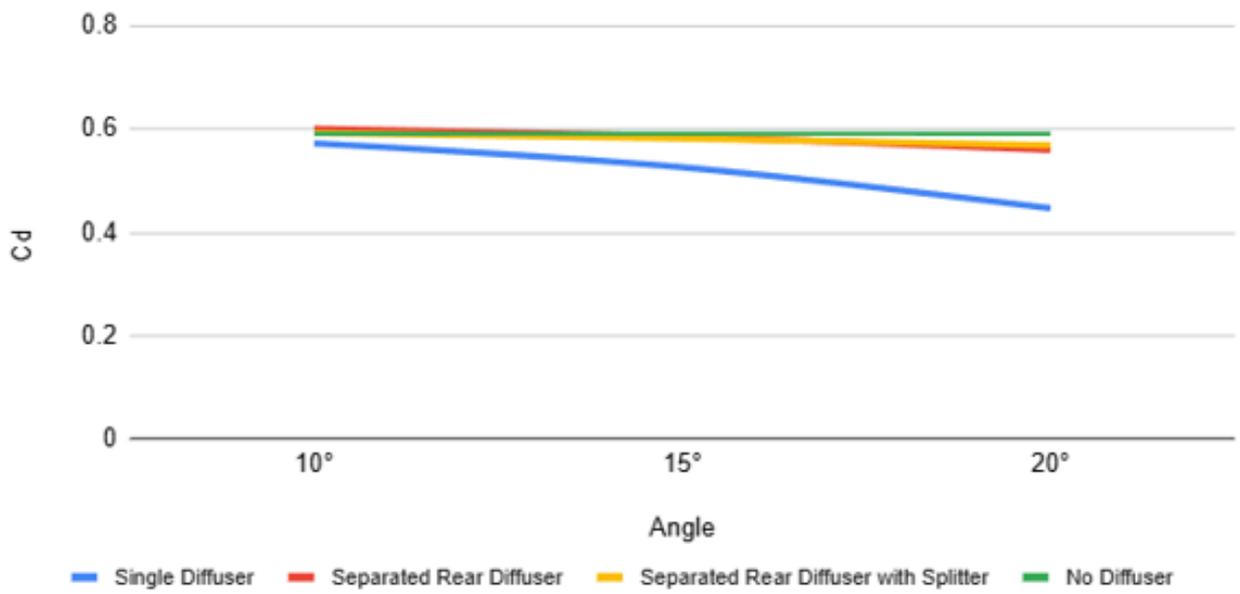
Ketinggian 4 cm				
Without Diffuser				
Angle	Cd	Cl	Fd	Fl
-	0.591	0.122	81.676	16.851
Single Diffuser				
Angle	Cd	Cl	Fd	Fl
10°	0.535	0.118	83.238	17.542
15°	0.471	0.095	71.581	14.912
20°	0.448	0.051	67.071	7.264
Separated Rear Diffuser				
AoA	Cd	Cl	Fd	Fl
10°	0.578	0.099	93.239	16.858
15°	0.518	0.068	81.978	10.646
20°	0.471	0.028	66.985	4.144
Separated Rear Diffuser with Splitter				
AoA	Cd	Cl	Fd	Fl
10°	0.588	0.096	91.759	15.614
15°	0.506	0.051	84.605	11.163
20°	0.459	0.020	66.138	2.932

Seperti dengan ketinggian yang lain, pada ketinggian 4 cm juga terjadi penurunan nilai Cd dan Cl seiring dengan meningkatnya sudut *diffuser* seperti ditunjukkan pada Tabel 4.7. Sama dengan variasi ketinggian yang lain, pada ketinggian 4 cm nilai Cd terendah terdapat pada model *Single Diffuser*, sedangkan nilai Cl terendah ditemukan pada model *Separated Rear Diffuser with Splitter*.

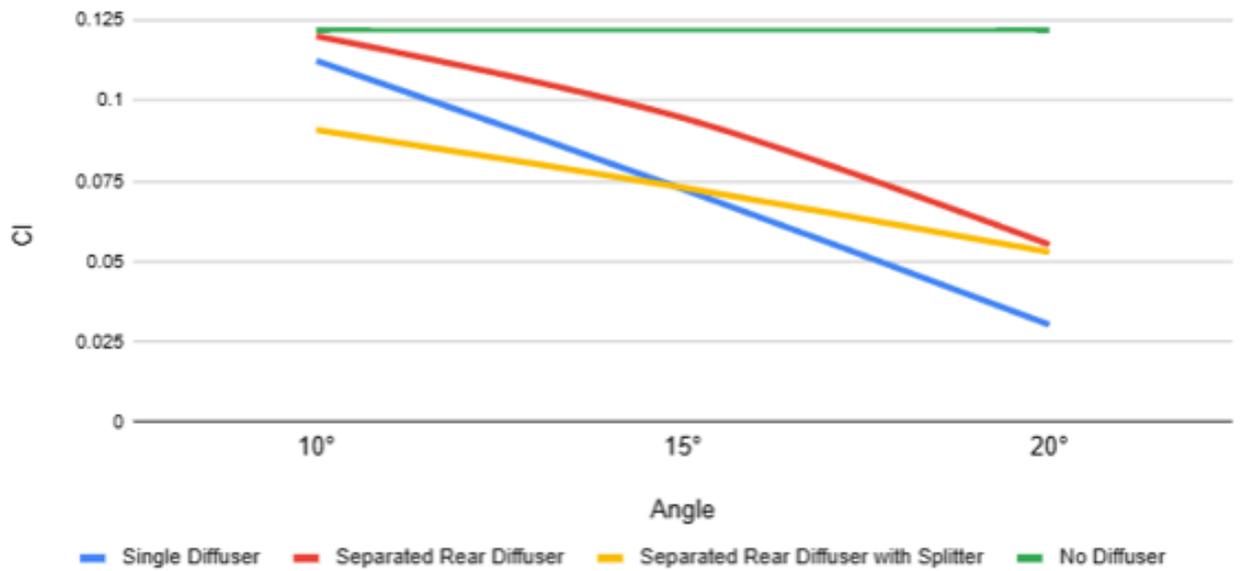
Tabel 4.8. Hasil simulasi variasi sudut pada ketiga model *undertray diffuser* pada ketinggian 3 cm

Ketinggian 3 cm				
Without Diffuser				
Angle	Cd	Cl	Fd	Fl
-	0.591	0.122	81.676	16.851
Single Diffuser				
Angle	Cd	Cl	Fd	Fl
10°	0.602	0.112	84.589	19.316
15°	0.556	0.102	78.268	1.430
20°	0.479	0.057	74.838	8.280
Separated Rear Diffuser				
AoA	Cd	Cl	Fd	Fl
10°	0.610	0.122	93.191	16.839
15°	0.595	0.104	88.536	13.685
20°	0.560	0.038	81.858	5.588
Separated Rear Diffuser with Splitter				
AoA	Cd	Cl	Fd	Fl
10°	0.582	0.110	69.848	17.281
15°	0.572	0.092	67.453	13.859
20°	0.555	0.078	81.046	11.399

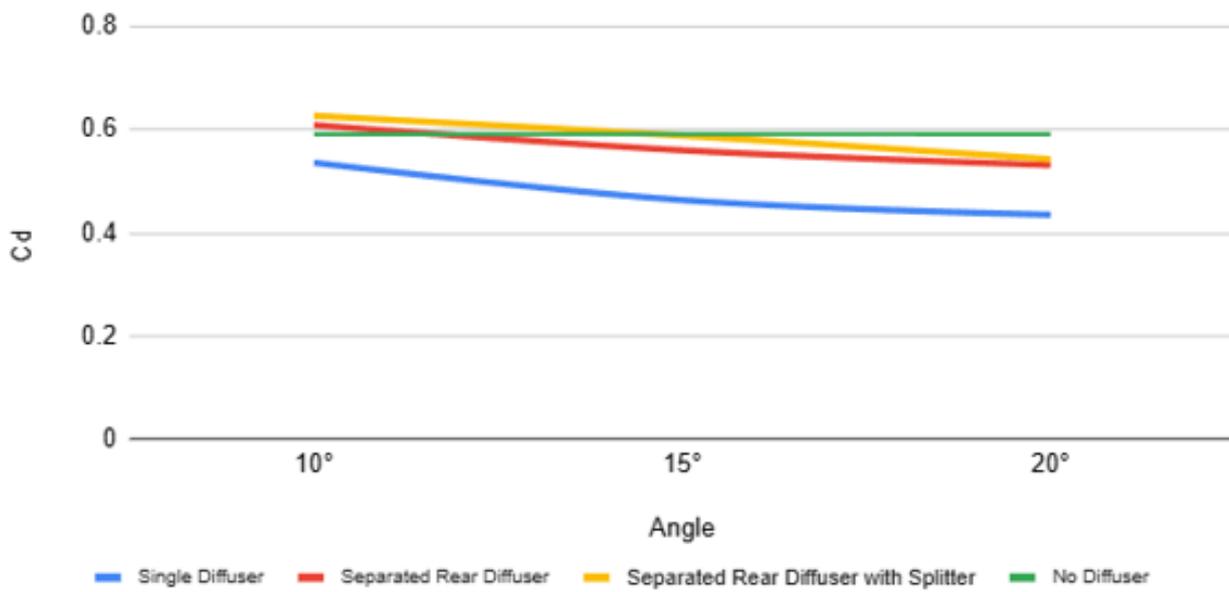
Gambar.4.9 sampai Gambar 4.18. Menunjukkan pengaruh perbedaan sudut *diffuser* terhadap Cd dan Cl mobil. Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar sudut *diffuser* maka semakin kecil nilai Cd dan Cl yang dihasilkan pada mobil.



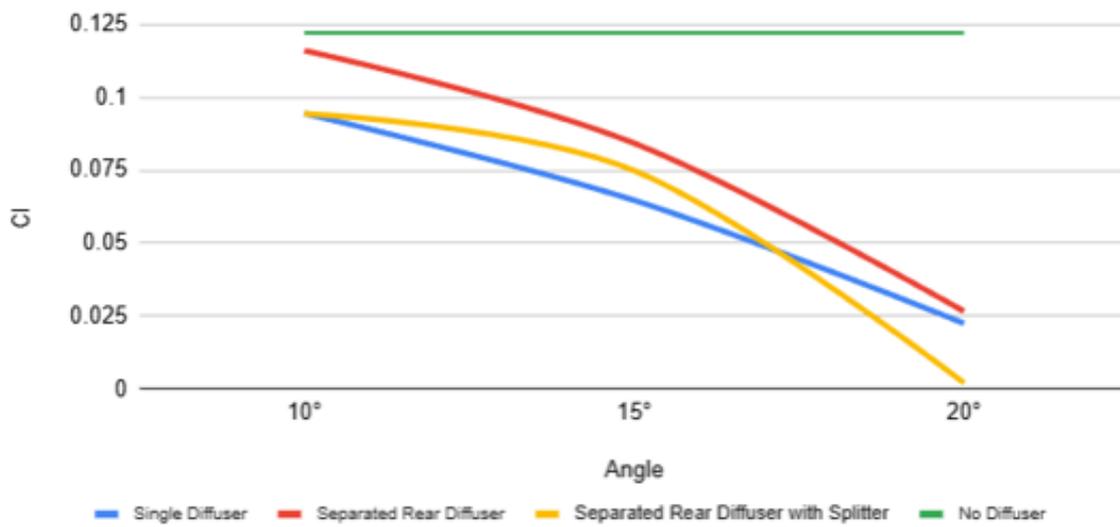
Gambar 4.9. Grafik Cd terhadap sudut *diffuser* pada ketinggian 7 cm



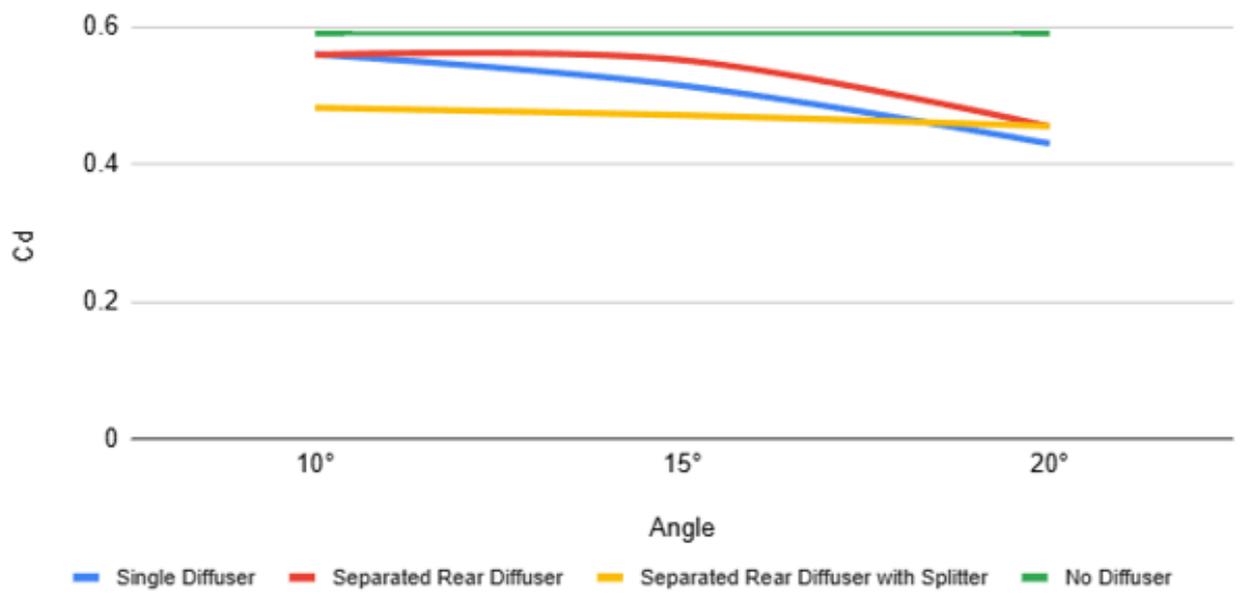
Gambar 4.10. Grafik Cl terhadap sudut *diffuser* pada ketinggian 7 cm



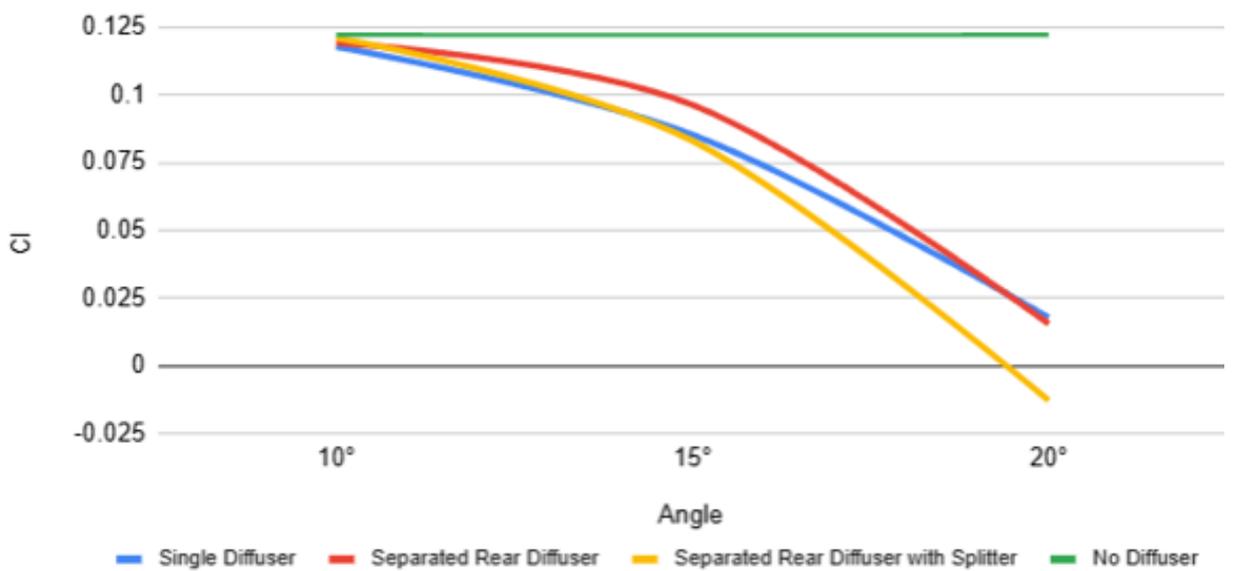
Gambar 4.11. Grafik Cd terhadap sudut *diffuser* pada ketinggian 6 cm



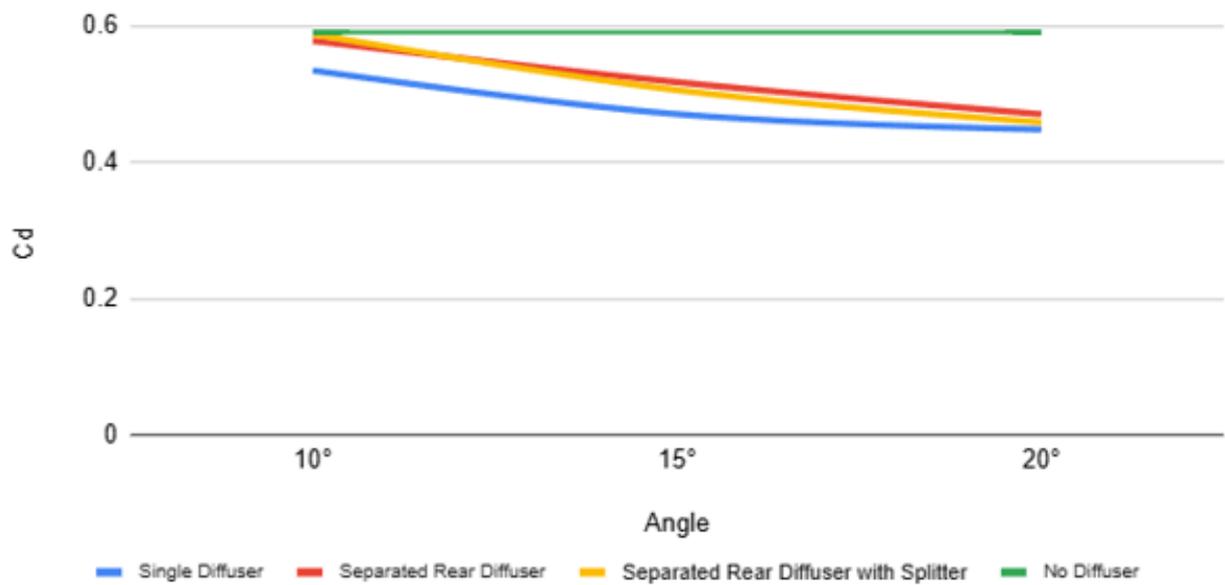
Gambar 4.12. Grafik Cl terhadap sudut *diffuser* pada ketinggian 6 cm



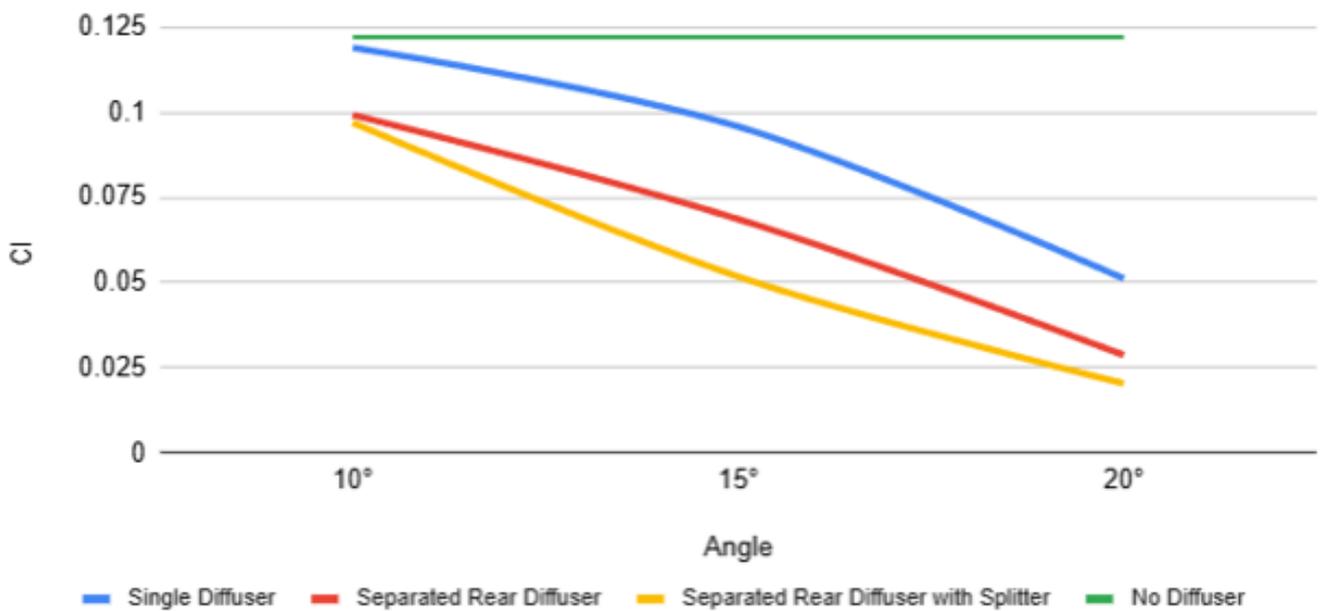
Gambar 4.13. Grafik C_d terhadap sudut *diffuser* pada ketinggian 5 cm



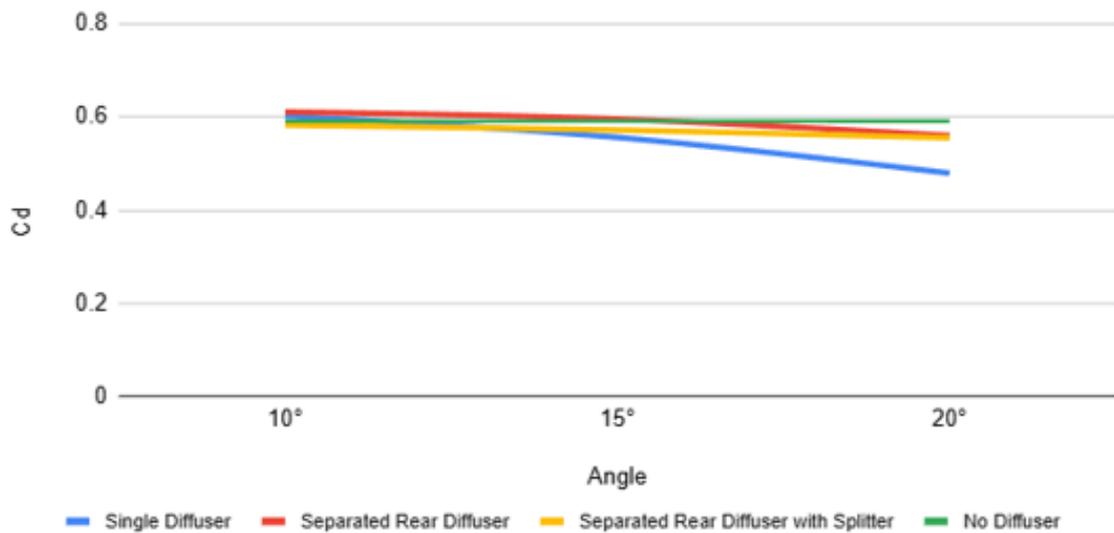
Gambar 4.14. Grafik C_l terhadap sudut *diffuser* pada ketinggian 5 cm



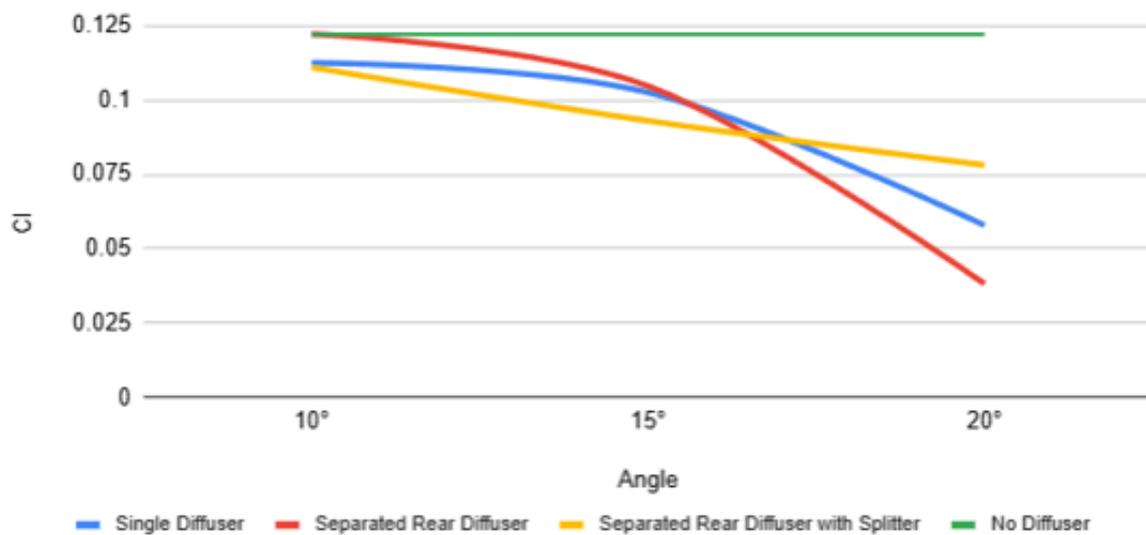
Gambar 4.15. Grafik Cd terhadap sudut *diffuser* pada ketinggian 4 cm



Gambar 4.16. Grafik Cl terhadap sudut *diffuser* pada ketinggian 4 cm

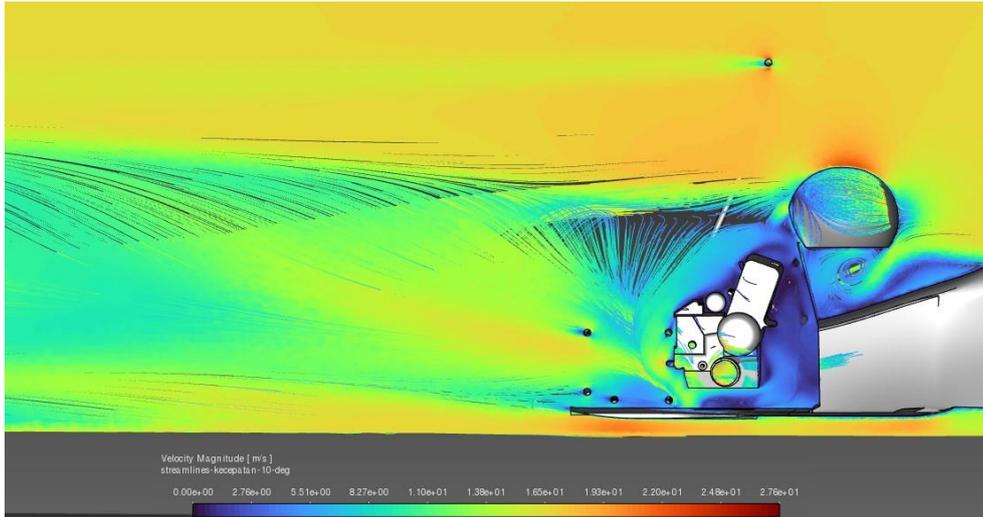


Gambar 4.17. Grafik Cd terhadap sudut *diffuser* pada ketinggian 3 cm

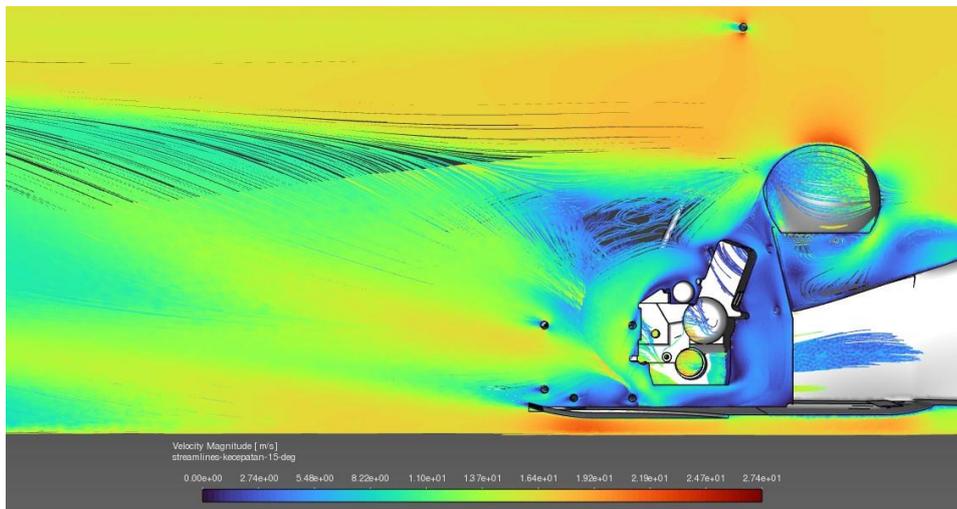


Gambar 4.18. Grafik Cl terhadap sudut *diffuser* pada ketinggian 3 cm

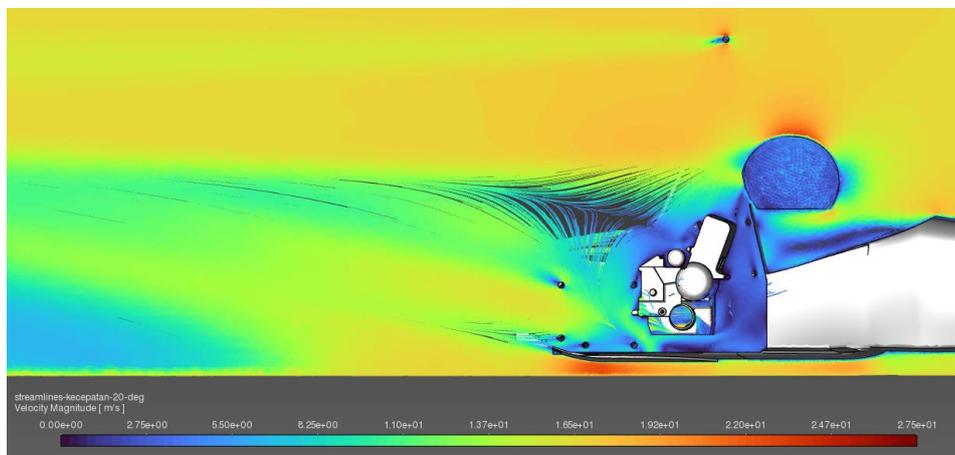
Tabel 4.4. sampai Tabel 4.8. menyajikan hasil simulasi untuk variasi sudut *diffuser* pada setiap variasi ketinggian *undertra diffuser*. Hasil dari simulasi tersebut mengindikasikan bahwa ketinggian yang paling optimal tetap pada ketinggian 5 cm meskipun menggunakan besar sudut *diffuser* yang berbeda. Temuan ini konsisten dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa semakin besar sudut *diffuser* maka semakin berkurang nilai Cd dan Cl yang dihasilkan.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.19. Streamlines kecepatan pada *diffuser* dengan sudut (a) 10°, (b) 15°, dan (c) 20° dengan aliran udara dari kiri ke kanan

Untuk mengetahui alasan mengapa perbedaan sudut *diffuser* dapat mempengaruhi nilai Cd dan Cl dapat dianalisis dengan melakukan *plotting streamlines* kecepatan untuk setiap variasi sudut *diffuser*. Hasil *plot streamlines* kecepatan dapat dilihat pada Gambar 4.19. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa aliran udara yang melewati *undertray diffuser* selalu membentuk aliran yang sama dengan bentuk *diffuser*. Sehingga apabila sudut *diffuser* semakin besar maka aliran udara dapat diarahkan lebih jauh ke atas.

Nilai Cl akan semakin turun ketika sudut *diffuser* semakin tinggi, hal ini terjadi karena semakin besar sudut maka semakin cepat pula udara mengembang untuk keluar dari bawah mobil. Ekspansi tersebut menyebabkan tekanan turun lebih cepat di bagian bawah mobil sehingga meningkatkan *downforce*. Hal ini sesuai dengan Gambar 4.19. yang menunjukkan perbedaan kecepatan pada *diffuser* dengan sudut 20° dan sudut 10° . Pada *diffuser* dengan sudut 20° terdapat warna merah yang pekat di bagian bawah yang berarti kecepatan aliran udara di bagian bawah mobil sangatlah cepat sehingga tekanannya menjadi rendah. Perbedaan tekanan yang besar antara bagian bawah dan bagian atas mobil inilah yang menyebabkan *downforce* pada *diffuser* dengan sudut 20° lebih besar daripada pada *diffuser* dengan sudut 10° yang perbedaannya warnanya kurang jauh.

Penurunan nilai Cd yang dihasilkan mobil dapat terjadi ketika sudut *diffuser* yang digunakan semakin besar. Penyebab penurunan nilai Cd ini dapat dilihat ada Gambar 4.19. yang menunjukkan bahwa terdapat daerah *wake* yang lebih besar pada *diffuser* dengan sudut 10° dibandingkan dengan *diffuser* dengan sudut 20° . Dengan adanya area *wake* yang besar menyebabkan perbedaan tekanan yang cukup signifikan antara bagian depan dan belakang mobil yang menyebabkan nilai Cd nya menjadi tinggi. Oleh karena itu, besar sudut yang optimal yang dapat digunakan untuk mobil Sapu angin Speed yaitu sebesar 20° .

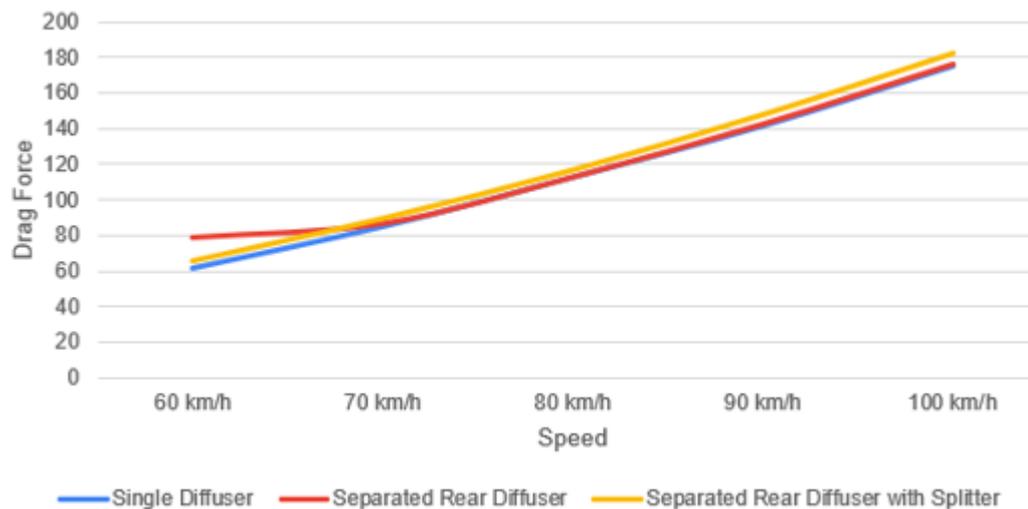
4.4.3. Hasil Simulasi Variasi Kecepatan Mobil

Selanjutnya, untuk mengetahui model *undertray diffuser* yang terbaik diperlukan simulasi pada setiap *undertray diffuser* dengan variasi kecepatan dari 60 km/h sampai 100 km/h.

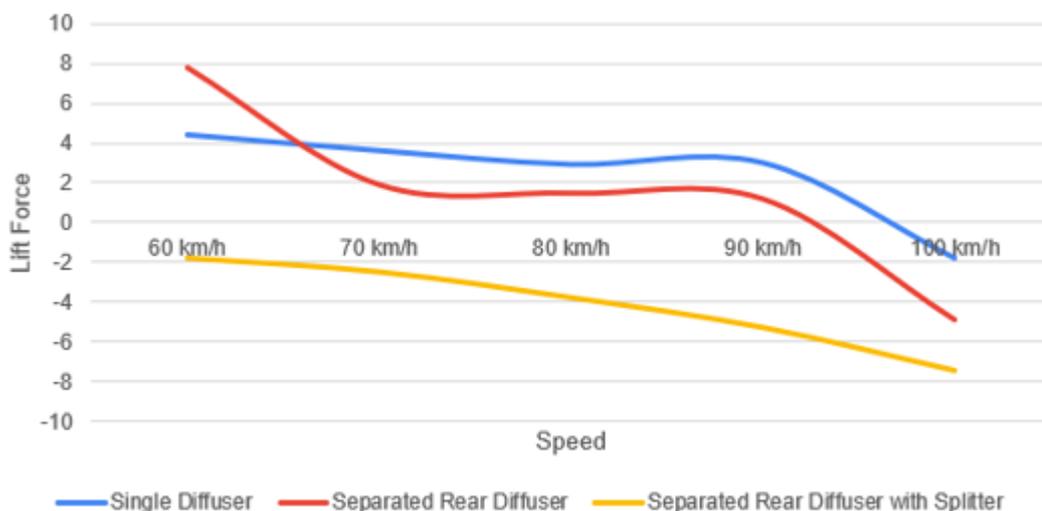
Tabel 4.9. Hasil simulasi variasi kecepatan pada ketiga model *undertray diffuser*

Single Diffuser				
Speed	Cd	Cl	Fd	Fl
60 km/h	0,430	0,030	61,457	4,401
70 km/h	0,443	0,018	84,949	3,605
80 km/h	0,450	0,011	112,758	2,910
90 km/h	0,447	0,009	141,779	2,992
100 km/h	0,448	-0,004	175,610	-1,803
Separated Rear Diffuser				
Speed	Cd	Cl	Fd	Fl
60 km/h	0,559	0,055	79,081	7,803
70 km/h	0,444	0,009	86,901	1,911
80 km/h	0,442	0,005	112,973	1,488
90 km/h	0,441	0,003	142,757	1,198
100 km/h	0,440	-0,012	176,412	-4,880
Separated Rear Diffuser with Splitter				
Speed	Cd	Cl	Fd	Fl
60 km/h	0,456	-0,012	65,514	-1,811
70 km/h	0,457	-0,012	89,354	-2,509
80 km/h	0,456	-0,014	116,554	-3,795
90 km/h	0,457	-0,016	147,625	-5,296
100 km/h	0,456	-0,018	182,030	-7,452

Dari hasil simulasi *undertray diffuser* untuk variasi kecepatan yang berbeda pada Tabel 4.9. Dapat dilihat bahwa terdapat tren kenaikan gaya *drag* dan penurunan gaya *lift* yang berarti meningkatnya *downforce* seiring dengan bertambahnya kecepatan mobil. Hasil ini sesuai dengan persamaan (2.7) dan (2.8) yang menyatakan bahwa semakin besar kecepatan mobil maka semakin besar pula gaya *lift* dan gaya *drag* yang dihasilkan.



Gambar 4.20. Grafik gaya *drag* terhadap kecepatan mobil



Gambar 4.21. Grafik gaya *lift* terhadap kecepatan mobil

Gambar 4.20. dan Gambar 4.21. menunjukkan bahwa kecepatan optimal yang dapat digunakan untuk mendapatkan *downforce* paling besar yaitu pada kecepatan 100 km/h. Namun, pada kecepatan tersebut akan mengakibatkan bertambahnya gaya *drag* yang akan menghambat laju kecepatan mobil.

4.4.4. Hasil Simulasi Variasi Model *Undertray Diffuser*

Setelah dilakukannya simulasi untuk setiap variasi ketinggian *undertray diffuser*, sudut *diffuser*, dan kecepatan mobil, maka dapat disimpulkan bahwa variasi yang terbaik adalah pada ketinggian 5 cm, sudut 20°, dan kecepatan yang sebesar-besarnya. Maka,

selanjutnya dapat dipilih model *undertray diffuser* yang paling terbaik dilihat dari nilai Cd dan Cl nya untuk ketinggian 5 cm dan sudut 20°. Tabel 4.10. Menunjukkan pengaruh beberapa model *undertray diffuser* terhadap Cd dan Cl.

Tabel 4.10. Pengaruh model *undertray diffuser* terhadap nilai Cd dan Cl

Model	Cd	Cl	Pengurangan Cd	Pengurangan Cl
<i>No Diffuser</i>	0,591	0,122		
<i>Single Diffuser</i>	0,430	0,030	0,160	0,091
<i>Separated Rear Diffuser</i>	0,559	0,055	0,031	0,066
<i>Separated Rear Diffuser with Splitter</i>	0,456	-0,012	0,135	0,134

Setiap model *undertray diffuser* memiliki keunggulannya masing-masing. Model *single diffuser* memiliki keunggulan karena nilai Cd nya yang paling rendah diantara yang lain. Sedangkan model *separated rear diffuser with splitter* memiliki keunggulan pada nilai Cl nya yang paling rendah daripada yang lain. Tabel tersebut juga menunjukkan penggunaan *diffuser* pada kendaraan dapat secara signifikan mengurangi koefisien *drag* dan *lift*, dengan *single diffuser* memberikan pengurangan terbesar pada Cd dan *separated rear diffuser with splitter* memberikan pengurangan terbesar pada Cl. Namun, penggunaan *separated rear diffuser with splitter* juga menyebabkan nilai Cl menjadi negatif, yang berdampak pada bertambahnya grip pada kendaraan.

4.5. Analisis Performa Kendaraan

Salah satu faktor untuk mendapatkan kecepatan yang tinggi pada tikungan adalah traksi pada ban yang tergantung dengan gaya normal. Hal ini dapat dicapai dengan menambah massa mobil, tetapi akan menyebabkan kerugian pada saat akselerasi. Oleh sebab itu, opsi yang dapat dipakai yaitu dengan menambah *downforce* pada mobil. Perangkat aerodinamis dapat dipakai untuk menambahkan *downforce* pada mobil. Akan tetapi, penambahan divais aerodinamika seringkali juga menambah hambatan mobil. Keunggulan menggunakan divais aerodinamika *undertray diffuser* daripada menggunakan *front wing* dan *rear wing* ialah meningkatkan *downforce* tetapi tidak dengan menghambat pergerakan mobil. Hasil simulasi

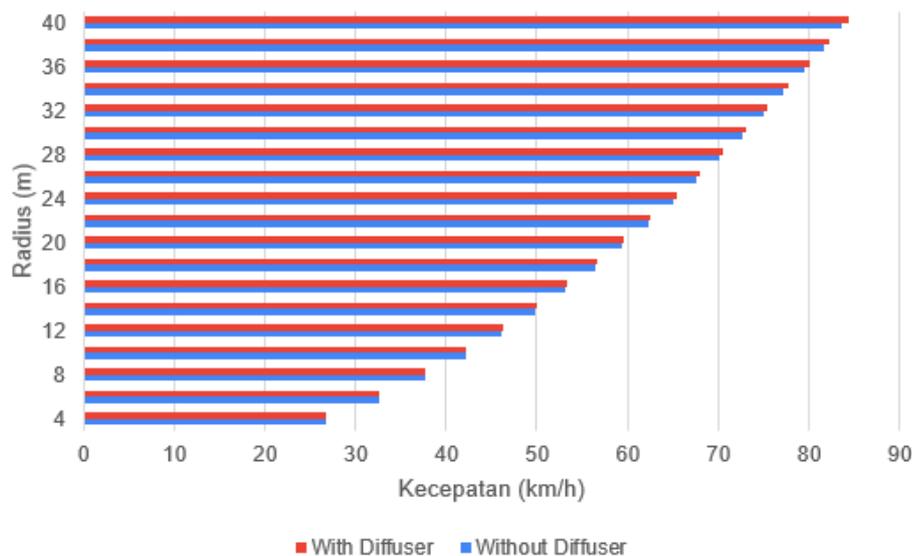
mobil Sapuangin Speed menggunakan *undertray diffuser* menunjukkan bahwa terjadi penambahan *downforce* yang disertai dengan pengurangan hambatan mobil. Untuk mengetahui efek tersebut pada mobil maka perlu dianalisis performa mobil ketika di trek lurus dan pada saat berbelok.

Untuk mengetahui performa mobil pada trek lurus maka dapat digunakan persamaan (2.12) dengan mensubstitusi nilai P yaitu daya maksimum engine sebesar 40,450 kW (40450 W). Dari persamaan tersebut didapatkan kecepatan maksimum pada mobil dengan kondisi eksisting yaitu sebesar 162,634382 km/h dan kecepatan pada mobil ketika menggunakan *separated rear diffuser with splitter* menjadi 175,7829816 km/h.

Tabel 4.11. Performa mobil pada trek lurus

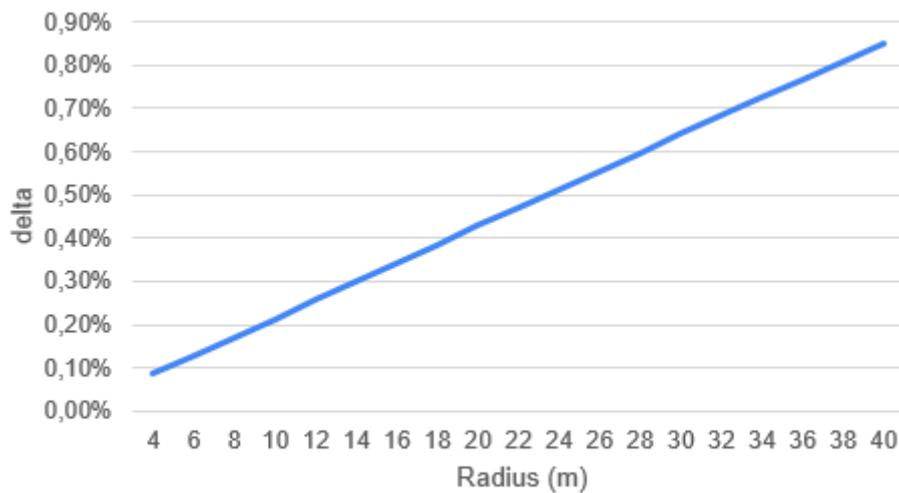
Kondisi mobil	Top Speed (m/s)	Top Speed (km/h)
Without <i>diffuser</i>	45,17	162,63
Separated Rear <i>Diffuser</i> with Splitter	48,82	175,78

Performa mobil pada saat berbelok dapat diketahui dengan memanipulasi persamaan (2.14) sehingga performa mobil ketika tidak menggunakan divais aerodinamika dan dengan menggunakan *undertray diffuser* dapat dibandingkan. Hasil perbandingan performa tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.21.



Gambar 4.22. Performa mobil pada saat berbelok

Dengan menggunakan radius berbelok yang bervariasi, dapat dilihat bahwa semakin besar radius belokna maka semakin terlihat perbedaan kecepatan yang dihasilkan oleh kedua jenis mobil. Ketika menggunakan *undertray diffuser*, kecepatan maksimum pada radius belok 40 m memiliki kecepatan yang lebih tinggi daripada mobil tanpa *undertray diffuser*. Perbedaan performa mobil tersebut menyebabkan perbedaan waktu untuk menempuh radius 40 m sebesar hampir 0,01 detik lebih cepat saat menggunakan *separated rear diffuser with splitter*.



Gambar 4.23. Perbedaan performa mobil pada saat berbelok

Gambar 4.23. Menunjukkan perbedaan performa mobil untuk setiap radius belok. Ditinjau dari grafik tersebut, semakin besar radius belok maka terdapat kenaikan performa mobil pada saat berbelok

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis data yang sudah dilakukan, maka kesimpulan yang dapat diambil pada tugas akhir ini ialah sebagai berikut

- Desain *undertray diffuser* yang paling optimal digunakan pada mobil Formula Student Sapuangin Speed ialah model *separated rear diffuser with rear diffuser*. Nilai Cd dan Cl pada mobil tanpa *undertray diffuser* ialah 0,591 dan 0,122 sedangkan pada mobil dengan *undertray diffuser* model *separated rear diffuser with splitter* nilai Cd dan Cl ialah 0,456 dan -0,012.
- Performa mobil pada trek lurus untuk mobil tanpa *undertray diffuser* ialah 45,17 m/s sedangkan pada mobil dengan *undertray diffuser* mengalami kenaikan sebesar 3,65 m/s menjadi 48,82 m/s. Sedangkan Performa mobil pada saat berbelok ketika menggunakan *undertray diffuser* mengalami kenaikan sebesar 0,1 - 0,85% tergantung dengan radius belok.

5.2. Saran

Berikut adalah saran yang diberikan terkait penelitian ini untuk dikembangkan pada penelitian selanjutnya

- Perlu dilakukan simulasi setengah lingkaran untuk mengetahui kecepatan relatif kendaraan saat berbelok.
- Perlu dilakukan simulasi untuk variasi ketinggian *undertray diffuser*, sudut *diffuser*, kecepatan mobil, dan model *undertray diffuser* yang lebih bervariasi.
- Perlu dilakukan studi eksperimen untuk memvalidasi hasil simulasi yang telah dilakukan.
- Perlu dilakukan analisis sesuai dengan kondisi trek untuk perlombaan FSAE agar dapat mengetahui performa mobil pada saat perlombaan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, J. D. (2009). *Fundamentals of Aerodynamics* (5th ed.). McGraw-Hill.
- Asgar, A., Khokhar, S., & Shirolkar, S. S. (2015). Design and Analysis of *Undertray Diffuser* for a Formula Style Racecar. *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology*, 04(11), 202–210. <https://doi.org/10.15623/ijret.2015.0411035>
- Cengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2018). *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications* (4th ed., Vol. 4th). McGraw-Hill Education.
- Ehirim, O. H., Knowles, K., & Saddington, A. J. (2019). A Review of GroundEffect *Diffuser* Aerodynamics. *Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME*, 141(2). <https://doi.org/10.1115/1.4040501>
- Fujii, K. (2005). Progress and Future Prospects of CFD in Aerospace - Wind Tunnel and Beyond. In *Progress in Aerospace Sciences* (Vol. 41, Issue 6, pp. 455–470). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2005.09.001>
- Hoerner, S. F., & Borst, H. v. (1975). *Fluid-Dynamic Lift: Practical Information on Aerodynamic and Hydrodynamic Lift*. NASA STI/Recon Technical Report A, 76.
- Indjra Dj, M., & Nugroho, G. (2020). Desain dan Analisa Aerodinamika Front Wing dan Rear Wing pada Mobil Student Formula Sapuangin Speed. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Kang, S. O., Cho, J. H., Jun, S. O., Park, H. Il, Song, K. S., Kee, J. Do, Kim, K. H., & Lee, D. H. (2012). A Study of an Active Rear *Diffuser* Device for Aerodynamic *Drag* Reduction of Automobiles. *SAE Technical Papers*. <https://doi.org/10.4271/2012-01-0173>
- Kishore, R., Nivethan, M. H., Khumar, S. P., & Bharathi, A. A. (2022). Design and CFD Analysis of *Undertray Diffuser* for Formula Student Car. *AIP Conference Proceedings*, 2446. <https://doi.org/10.1063/5.0108113>
- McBeath, S. (1998). *Competition Car Downforce*. Somerset: Haynes Publishers Oxyzoglou, I. (2017). Design & Development of an Aerodynamic Package for an FSAE Race Car. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24595.37920/1>
- Puranik, A. S. (2021). Design optimization of an *Undertray* in Formula Student Competitions. *International Research Journal of Engineering and Technology*. www.irjet.net
- SAE, I. (2023). *Formula SAE® Rules 2024*.

- Soliman, P. A., Martins, M. E., & Schommer, A. (2015). Formula SAE Aerodynamics: Design Process with Focus on Drivability. 24th SAE Brasil International Congress and Display. <https://doi.org/10.4271/2015-36-0359>
- Tu, J., Yeoh, G. H., & Liu, C. (2018). Computational Fluid Dynamics: a Practical Approach (3rd ed.). Butterworth-Heinemann.
- Versteeg, H. K., & Malalasekera, W. (2007). An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method (2nd ed.). Pearson Education Ltd. www.pearsoned.co.uk/versteeg
- Wang, J., Li, H., Liu, Y., Liu, T., & Gao, H. (2018). Aerodynamic Research of a Racing Car Based on Wind Tunnel Test and Computational Fluid Dynamics. MATEC Web of Conferences, 153. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815304011>
- Wilcox, D. C. (2008). Formulation of the $k-\omega$ Turbulence Model Revisited. AIAA Journal, 46(11), 2823–2838. <https://doi.org/10.2514/1.36541>
- Willemsen, D. H. J. (2012). CFD - Based Aerodynamic Optimisation of a 2D Race Car *Diffuser*. Eindhoven University of Technology.

LAMPIRAN

1. Regulasi FSAE 2024

V – Vehicle Requirements

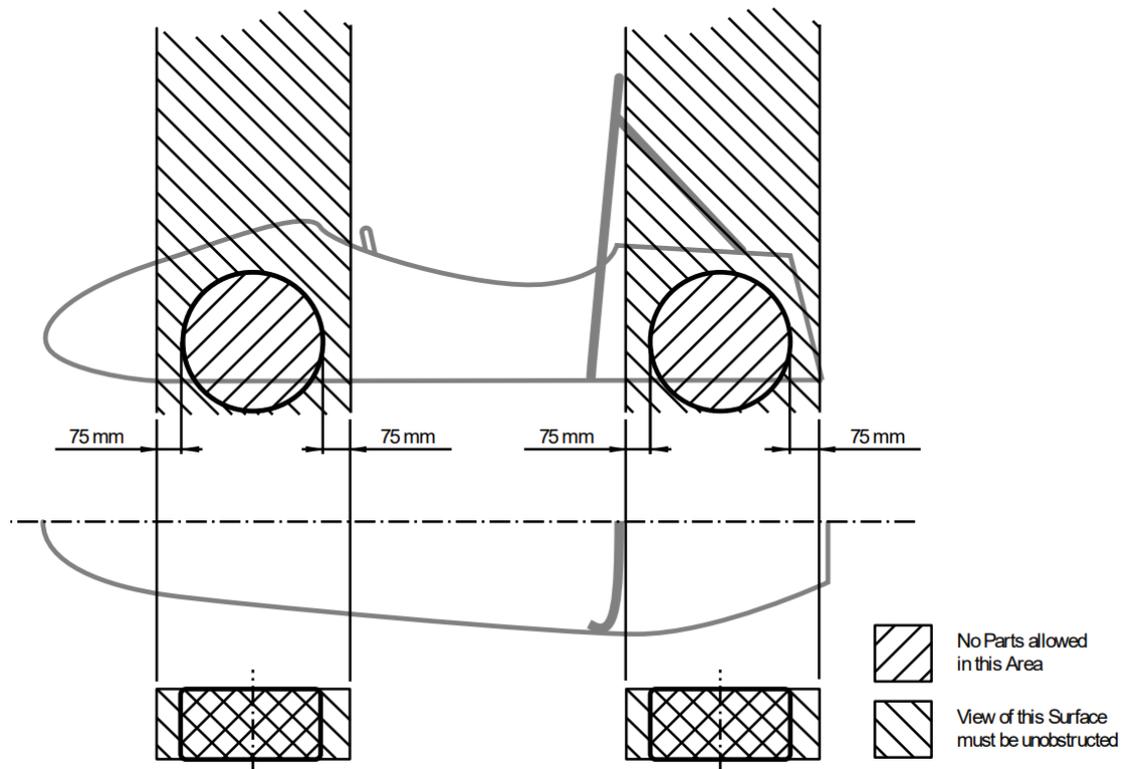
V.1. Configuration

The vehicle must be open wheeled and open cockpit (a formula style body) with four wheels that are not in a straight line.

V.1.1. Open Wheel

Open Wheel vehicles must satisfy all of the following criteria:

- The top 180° of the wheels/tires must be unobstructed when viewed from vertically above the wheel.
- The wheels/tires must be unobstructed when viewed from the side.
- No part of the vehicle may enter a keep out zone defined by two lines extending vertically from positions 75 mm in front of and 75 mm aft of, the outer diameter of the front and rear tires in the side view elevation of the vehicle, with tires steered straight ahead. This keep out zone will extend laterally from the outside plane of the wheel/tire to the inboard plane of the wheel/tire.



T.7. Bodywork and Aerodynamic Devices

T.7.1 Aerodynamic Devices

T.7.1.1 Aerodynamic Device A part on the vehicle which guides airflow for purposes including generation of *downforce* and/or change of *drag*. Examples include but are not limited to: wings, *undertray*, splitter, endplates, vanes

T.7.1.2 No power device may be used to move or remove air from under the vehicle. Power ground effects are strictly prohibited.

T.7.1.3 All Aerodynamic Devices must meet:

- a. The mounting system provides sufficient rigidity in the static condition
- b. The Aerodynamic Devices do not oscillate or move excessively when the vehicle is moving. Refer to IN.8.2

T.7.1.4 All forward facing edges that could contact a pedestrian (wings, end plates, and *undertrays*) must have a minimum radius of 5 mm for all horizontal edges and 3 mm for vertical edges. This may be the radius of the edges themselves, or additional permanently attached pieces designed to meet this requirement.

T.7.2 Bodywork

T.7.2.1 Conventionally designed Bodywork or a nose cone is not considered an Aerodynamic Device

T.7.2.2 Bodywork, a nose cone, or another component mounted to the vehicle is an Aerodynamic Device if is designed to, or may possibly, produce force due to aerodynamic effects

T.7.2.3 Bodywork must not contain openings into the cockpit from the front of the vehicle back to the Main Hoop or Firewall. The cockpit opening and minimal openings around the front suspension components are allowed.

T.7.3 Measurement

T.7.3.1 All Aerodynamic Device limitations are measured: a. With the wheels pointing in the straight ahead position b. Without a driver in the vehicle The intent is to standardize the measurement, see GR.6.4.1

T.7.3.2 Head Restraint Plane A transverse vertical plane through the rearmost portion of the front face of the driver head restraint support, excluding any padding, set (if adjustable) in its fully rearward position

T.7.3.3 Rear Aerodynamic Zone The volume that is: • Rearward of the Head Restraint Plane • Inboard of two vertical planes parallel to the centerline of the chassis touching the inside of the rear tires at the height of the hub centerline

T.7.4 Location Any part of any Aerodynamic Device or Bodywork must meet V.1.1 and V.1.4.1

T.7.5 Length In plan view, any part of any Aerodynamic Device must be: a. No more than 700 mm forward of the fronts of the front tires b. No more than 250 mm rearward of the rear of the rear tires

T.7.6 Width In plan view, any part of any Aerodynamic Device must be:

T.7.6.1 When forward of the centerline of the front wheel axles: Inboard of two vertical planes parallel to the centerline of the chassis touching the outside of the front tires at the height of the hubs.

T.7.6.2 When between the centerlines of the front and rear wheel axles: Inboard of a line drawn connecting the outer surfaces of the front and rear tires at the height of the wheel centers

T.7.6.3 When rearward of the centerline of the rear wheel axles: In the Rear Aerodynamic Zone

T.7.7 Height

T.7.7.1 Any part of any Aerodynamic Device that is located:

a. In the Rear Aerodynamic Zone must be no higher than 1200 mm above the ground

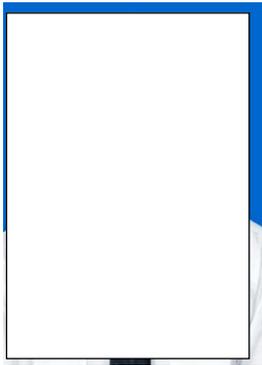
b. Outside of the Rear Aerodynamic Zone must be no higher than 500 mm above the ground

2. Spesifikasi Mobil

Spesifikasi	Model
Mesin	ZX-6R 600 cc 4 cylinders
Power	40,45 kW
ECU	Motec M130
Sasis	Tubular space frame
Body	Carbon fiber
Berat dengan Driver	327 kg

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Nama : Riantama Ichsanun Arief
Jenis Kelamin : Laki-laki
Program Studi : Teknik Fisika
NRP : 5009201130
Tempat, Tanggal Lahir : Ponorogo, 05 November 2001
E-mail : riantamastare@gmail.com
Nomor Telepon/HP : 081285561461

B. Kegiatan Kemahasiswaan Yang Sedang/Pernah diikuti

No	Jenis Kegiatan	Status Dalam Kegiatan	Waktu dan Tempat
1	Pelatihan Karya Tulis Ilmiah Tingkat Dasar	Peserta	2020, ITS (daring)
2	Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa Pra Tingkat Dasar	Peserta	2020, ITS (daring)
3	Engineering Physics Week	Staff Sub-divisi Perlengkapan	2021, ITS
4	Engineering Physics Week	Ketua Sub-divisi Perlengkapan	2022, ITS
5	ITS Team Sapuangin	Staff Divisi Frame & Body	2023, ITS
6	ITS Team Sapuangin	Ketua Divisi Frame & Body	2024, ITS

C. Penghargaan Yang Pernah Diterima

No	Jenis Kegiatan	Pihak Pemberi Penghargaan	Tahun
1	Juara 1 On Track Internal Combustion Engine Asia Pacific & Middle East – Shell Eco Marathon 2023	Shell Eco Marathon	2023
2.	Juara 1 Data & Telemetry Awards –	Shell Eco Marathon	2023

	Shell Eco Marathon 2023		
3.	Juara 3 Driver World Championship – Shell Eco Marathon 2023	Shell Eco Marathon	2023
4.	Juara 2 Data & Telemetry Awards – Shell Eco Marathon 2024	Shell Eco Marathon	2024
5.	Juara 1 On Track Internal Combustion Engine Asia Pacific & Middle East – Shell Eco Marathon 2024	Shell Eco Marathon	2024
6.	Juara 1 Driver Regional Championship – Shell Eco Marathon	Shell Eco Marathon	2024