



**TUGAS AKHIR - TF 181801**

**DESAIN DAN ANALISIS AERODINAMIKA *UNDERTRAY* PADA MOBIL  
*FORMULA STUDENT SAPUANGIN SPEED***

**BAKDAM KHOIRUL HAMZA**

**NRP. 02311940005015**

Dosen Pembimbing:

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

NIP. 19771127 200212 1 002

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2021

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



**FINAL PROJECT - TF 181801**

***DESIGN AND AERODYNAMICS ANALYSIS UNDERTRAY OF FORMULA  
STUDENT CAR SAPUANGIN SPEED***

**BAKDAM KHOIRUL HAMZA**

**NRP. 02311940005015**

Supervisors:

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

NIP. 19771127 200212 1 002

***DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS***

***Faculty of Industrial Technology and System Engineering***

***Institut Teknologi Sepuluh Nopember***

***Surabaya***

***2021***

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini.

Nama : Bakdam Khoirul Hamza  
NRP : 02311940005015  
Departemen / Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika  
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FTIRS)  
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "**DESIGN DAN ANALISIS AERODINAMIKA UNDERTRAY PADA MOBIL FORMULA STUDENT SAPUANGIN SPEED**" adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya-benarnya.

Surabaya, 30 Juni 2021

Yang membuat pernyataan,



Bakdam Khoirul Hamza

NRP. 02311940005015

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**LEMBAR PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR**

**DESIGN DAN ANALISIS AERODINAMIKA *UNDERTRAY* PADA  
MOBIL *FORMULA STUDENT* SAPUANGIN *SPEED***

Oleh:



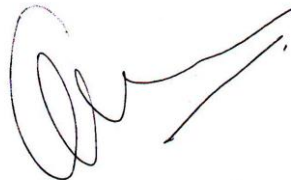
**Bakdam Khoirul Hamza**

**NRP. 02311940005015**

**Surabaya, 2021**

**Menyetujui,**

**Pembimbing I**



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

**NIP. 19771127 200212 1 002**

**Mengetahui,**

**Kepala Departemen**

**Teknik Fisika FTIRS-ITS**



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

**NIP. 19171113 199512 1 002**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## LEMBAR PENGESAHAN

### DESIGN DAN ANALISIS AERODINAMIKA *UNDERTRAY* PADA MOBIL *FORMULA STUDENT SAPUANGIN SPEED*

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika

Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FTIRS)

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**Bakdam Khoirul Hamza**

**NRP. 02311940005015**

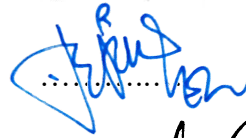
Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

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



(Pembimbing I)

2. Erna Septyaningrum, S.T., M.T.



(Ketua Penguji)

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



(Penguji I)

4. Dr.rer.nat Ruri Agung Wahyuono, S.T., M.T.



(Penguji II)

**SURABAYA**

**2021**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# DESIAN DAN ANALISIS AERODINAMIKA *UNDERTRAY* PADA MOBIL *FORMULA STUDENT SAPUANGIN SPEED*

**Nama** : Bakdam Khoirul Hamza  
**NRP** : 02311940005015  
**Departemen** : Teknik Fisika FTIRS - ITS  
**Dosen Pembimbing** : Gunawan Nugroho, S.T., M.T.,  
Ph.D.

## ABSTRAK

Kompetisi FSAE Japan diselenggarakan tiap tahun, melombakan *static events* dan *dynamic events*. Pada *dynamic events* memiliki beberapa bagian yaitu *acceleration*, *skidpad*, *autocross* dan *endurance*. Menunjang pada *dynamic events* kendaraan FSAE memiliki beberapa parameter untuk mendapatkan nilai tinggi salah satunya *aerodynamics package*. Pada *aerodynamics package* memiliki komponen yang paling berpengaruh pada FSAE yaitu *undertray*. Menggunakan *k –  $\omega$  turbulance model* dalam analisis 2D dan 3D untuk mengetahui pengaruh *undertray* pada mobil. Menghasilkan *undertray* 2D yang memiliki nilai rasio  $C_l / C_d$  tertinggi pada sudut *inlet*  $1^\circ$  dan sudut *diffuser*  $6^\circ$  dengan nilai  $C_d$  sebesar 0.031 dan  $C_l$  sebesar -1.594. sedangkan *undertray* 3D beserta mobil didapatkan nilai rasio  $C_l / C_d$  tinggi kecepatan 22.5 m/s pada *separate fin 2* sebesar 1.703, kecepatan 11.7 m/s pada *separate fin 1* sebesar 1.751, dan kecepatan 5 m/s pada *separate fin 1* sebesar 0.996. Pada perhitungan *laptime* didapatkan waktu tercepat *acceleration* menggunakan *undertray separate fin 2* sebesar 7.382 s. Sedangkan tercepat pada *skidpad*, *autocross*, dan *endurance* menggunakan *undertray separate fin 4* sebesar 12.510 s, 68.757 s, dan 80.043 s.

**Kata Kunci:** FSAE, Undertray, CFD, Laptime

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **DESIGN AND AERODYNAMICS ANALYSIS UNDERTRAY OF FORMULA STUDENT CAR SAPUANGIN SPEED**

**Name** : Bakdam Khoirul Hamza  
**NRP** : 02311940005015  
**Department** : Engineering Physics FTIRS - ITS  
**Supervisors** : Gunawan Nugroho, S.T., M.T.,  
Ph.D.

## **ABSTRACT**

*The FSAE Japan competition is held every year, contesting static events and dynamic events. In dynamic events, there are several parts among others acceleration, skidpad, autocross and endurance. Supporting dynamic events, FSAE vehicles have several parameters to get a high value one of which is the aerodynamics package. The aerodynamics package has the most influential component on the FSAE, namely the undertray. Using the  $k-\omega$  turbulence model in 2D and 3D analysis to determine the effect of the undertray on the car. Produces a 2D undertray which has the highest  $C_l / C_d$  ratio at the inlet angle of  $1^\circ$  and the diffuser angle of  $6^\circ$  with a  $C_d$  value of 0.031 and a  $C_l$  of -1.594. While the 3D undertray and the car obtained a high  $C_l / C_d$  ratio with a speed of 22.5 m/s on separate fin 2 of 1.703, a speed of 11.7 m/s on separate fin 1 of 1.751, and a speed of 5 m/s on separate fin 1 of 0.996. In the lap time calculation, the fastest acceleration time using undertray separate fin 2 is 7.382 s. While the fastest in skidpad, autocross, and endurance using a separate fin 4 undertray of 12,510 s, 68,757 s, and 80,043 s.*

**Keywords:** FSAE, Undertray, CFD, Lapttime

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis kepada Tuhan yang Maha ESA, karena rahmat dan hikmat-Nya sehingga penulis diberikan kesehatan, kemudahan dan kelancaran dalam menyusun laporan tugas akhir ini. Tidak lupa juga penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada keluarga dan para sahabat. Oleh karena dukungan mereka, penulis mampu menyusun laporan tugas akhir yang berjudul: **“DESIAN DAN ANALISIS AERODINAMIKA UNDERTRAY PADA MOBIL FORMULA STUDENT SAPUANGIN SPEED”**. Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademik yang harus dipenuhi dalam program studi S-1 Teknik Fisika FTIRS-ITS. Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua saya (bapak dan ibu) yang telah memberikan cinta kasih sayang, doa yang besar buat saya, motivasi, dukungan moril dan materil kepada saya, juga kepada Kakak dan Adik dan memberikan dukungan kepada saya.
2. Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang membimbing penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini dan telah membimbing serta memotivasi penulis selama berkuliah di Departemen Teknik Fisika FTIRS-ITS Surabaya.
3. Dr. Suyanto, ST., MT. selaku kepala Departemen Teknik Fisika FTIRS-ITS Surabaya.
4. Dyah Sawitri, S.T., M.T. selaku dosen wali yang telah membimbing dan memberikan motivasi selama menempuh perkuliahan di Departemen Teknik Fisika FTIRS-ITS.
5. Bapak Ir. Witantyo, M.eng.Sc. selaku dosen pembimbing ITS Team Sapuangin.
6. Tim dosen penguji yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam rangka perbaikan Tugas Akhir ini.
7. Bapak/Ibu dosen dan karyawan Departemen Teknik Fisika FTIRS-ITS Surabaya yang telah membimbing selama perkuliahan.
8. Rekan-rekan RPL Teknik Fisika 2019, Warga Teknik Fisika - ITS, dan Lab KSE yang senantiasa memberikan bantuan dan perhatian.
9. Keluarga M14 yang saling memberikan dukungannya dalam perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa mungkin masih ada kekurangan dalam laporan ini, sehingga kritik dan saran penulis terima. Semoga laporan ini dapat berguna dan bermanfaat bagi penulis dan pihak yang membacanya.

Surabaya, 30 Juni 2021

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
<i>COVER PAGE</i> .....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	v
LEMBAR PENGESAHAN .....	vii
LEMBAR PENGESAHAN .....	ix
ABSTRAK.....	xi
<i>ABSTRACT</i> .....	xiii
KATA PENGANTAR .....	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR .....	xix
DAFTAR TABEL.....	xxiii
NOMENKLATUR.....	xxv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Sistematika Laporan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka .....	5
2.2 <i>External Flow</i> .....	5
2.3 Aerodinamika.....	6
2.4 Gaya Angkat ( <i>Forcelift</i> ) dan Gaya Hambat ( <i>Forcedrag</i> ) .....	7
2.5 <i>Undertray</i> .....	7
2.6 <i>Aerodynamic Balance</i> .....	8
2.7 Dinamika Mobil .....	9
2.8 <i>CFD (Computational Fluid Dynamics)</i> .....	10
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	15
3.1 Desain Mobil Sapuangin <i>Speed VIII</i> .....	16
3.2 Desain <i>Undertray 2D</i> .....	17
3.3 Desain <i>Undertray 3D</i> dengan Mobil.....	18
3.4 Simulasi <i>Computatuional Fluid Dynamics</i> .....	19
3.5 Perhitungan <i>Laptime</i> .....	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	31
4.1 Analisis <i>Goemetry Undertray 2D</i> .....	33
4.2 Analisis <i>Goemetry Undertray 3D</i> dengan Mobilnya .....	38
4.3 Analisis <i>Laptime</i> .....	41

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

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Aliran <i>External</i> pada Silinder.....	5
<b>Gambar 2. 2</b> Skema Aerodinamika .....	6
<b>Gambar 2. 3</b> Bagian <i>Undertray</i> pada Mobil.....	8
<b>Gambar 2. 4</b> <i>Aerodynamic Balance</i> .....	8
<b>Gambar 2. 5</b> Kartesian Koordinat Mobil.....	9
<b>Gambar 2. 6</b> Konsep <i>Computational Fluid Dynamics</i> .....	10
<b>Gambar 2. 7</b> Skema proses melakukan <i>Computational Fluid Dynamics</i> .....	11
<b>Gambar 2. 8</b> <i>Geometry</i> .....	11
<b>Gambar 2. 9</b> Konsep <i>Meshing</i> .....	12
<b>Gambar 2. 10</b> Bagan pembagian kasus dalam CFD.....	12
<b>Gambar 2. 11</b> <i>Boundary Condition</i> .....	13
<b>Gambar 2. 12</b> Memonitor <i>Convergence</i> .....	14
<b>Gambar 2. 13</b> <i>Post-processing Computational Fluid Dynamics</i> .....	14
<b>Gambar 3. 1</b> Diagram Alir Metode Penelitian .....	15
<b>Gambar 3. 2</b> <i>Geometry</i> Mobil Sapuangin <i>Speed VIII</i> .....	16
<b>Gambar 3. 3</b> Kondisi Batas dari Desain Mobil dan <i>Rule FSAE</i> .....	17
<b>Gambar 3. 4</b> Dimensi <i>Undertray</i> secara 2D.....	17
<b>Gambar 3. 5</b> Bentuk <i>Separate</i> Aliran pada <i>Undertray</i> .....	18
<b>Gambar 3. 6</b> <i>Boundary Condition 2D</i> .....	19
<b>Gambar 3. 7</b> <i>Boundary Condition 3D</i> .....	20
<b>Gambar 3. 8</b> <i>Grid Independence 2D</i> .....	25
<b>Gambar 3. 9</b> <i>Grid Independence 3D</i> .....	25
<b>Gambar 3. 10</b> Jenis Kendaraan.....	27
<b>Gambar 3. 11</b> Data <i>Aerodynamics</i> pada Kendaraan.....	27
<b>Gambar 3. 12</b> Data <i>Tire</i> pada Kendaraan.....	28
<b>Gambar 3. 13</b> Grafik <i>Torque and Power vs Engine Speed</i> .....	28
<b>Gambar 3. 14</b> <i>Track Acceleration</i> .....	29
<b>Gambar 3. 15</b> <i>Track Skidpad</i> .....	29
<b>Gambar 3. 16</b> <i>Track Autocross</i> .....	30
<b>Gambar 3. 17</b> <i>Track Endurance</i> .....	30
<b>Gambar 3. 1</b> Diagram Alir Metode Penelitian .....	15
<b>Gambar 3. 2</b> <i>Geometry</i> Mobil Sapuangin <i>Speed VIII</i> .....	16

<b>Gambar 3. 3</b> Kondisi Batas dari Desain Mobil dan <i>Rule</i> FSAE.....	17
<b>Gambar 3. 4</b> Dimensi <i>Undertray</i> secara 2D .....	17
<b>Gambar 3. 5</b> Bentuk <i>Separate</i> Aliran pada <i>Undertray</i> .....	18
<b>Gambar 3. 6</b> <i>Boundary Condition</i> 2D.....	19
<b>Gambar 3. 7</b> <i>Boundary Condition</i> 3D.....	20
<b>Gambar 3. 8</b> <i>Grid Independence</i> 2D.....	25
<b>Gambar 3. 9</b> <i>Grid Independence</i> 3D.....	25
<b>Gambar 3. 10</b> Jenis Kendaraan .....	27
<b>Gambar 3. 11</b> Data <i>Aerodynamics</i> pada Kendaraan.....	27
<b>Gambar 3. 12</b> Data <i>Tire</i> pada Kendaraan .....	28
<b>Gambar 3. 13</b> Grafik <i>Torque and Power vs Engine Speed</i> .....	28
<b>Gambar 3. 14</b> <i>Track Acceleration</i> .....	29
<b>Gambar 3. 15</b> <i>Track Skidpad</i> .....	29
<b>Gambar 3. 16</b> <i>Track Autocross</i> .....	30
<b>Gambar 3. 17</b> <i>Track Endurance</i> .....	30
<b>Gambar 4. 1</b> <i>Contour Velocity</i> pada <i>Infuser Undertray</i> Sudut <i>Inlet</i> 1 ° dan Sudut <i>Diffuser</i> 3 ° dengan <i>Moving Wall</i> (kiri) dan <i>Stationary Wall</i> (kanan) .....	31
<b>Gambar 4. 2</b> <i>Contour Velocity</i> pada <i>Throat Undertray</i> Sudut <i>Inlet</i> 1 ° dan Sudut <i>Diffuser</i> 3 ° dengan <i>Moving Wall</i> (kiri) dan <i>Stationary Wall</i> (kanan) .....	32
<b>Gambar 4. 3</b> <i>Contour Velocity</i> pada <i>Diffuser Undertray</i> Sudut <i>Inlet</i> 1 ° dan Sudut <i>Diffuser</i> 3 ° dengan <i>Moving Wall</i> (kiri) dan <i>Stationary Wall</i> (kanan) .....	32
<b>Gambar 4. 4</b> <i>Contour Velocity</i> pada Mobil Menggunakan <i>Undertray Separate Fin 1</i> dengan <i>Velocity</i> 11.7 m/s <i>Moving Wall</i> (a) dan <i>Stationary Wall</i> (b).....	32
<b>Gambar 4. 5</b> Aliran yang Melalui <i>Diffuser Undertray</i> pada Sudut <i>Inlet</i> 1 ° (kiri) dan 1.5 ° (kanan) dengan Sudut <i>Diffuser</i> 3 °.....	33
<b>Gambar 4. 6</b> Aliran yang Melalui <i>Diffuser Undertray</i> pada Sudut <i>Inlet</i> 1 ° (kiri) dan 1.5 ° (kanan) dengan Sudut <i>Diffuser</i> 6 °.....	33
<b>Gambar 4. 7</b> <i>Contour Pressure Diffuser Undertray</i> pada Sudut <i>Inlet</i> 1 ° (kiri) dan 1.5 ° (kanan) dengan Sudut <i>Diffuser</i> 3 °.....	34
<b>Gambar 4. 8</b> <i>Contour Pressure Diffuser Undertray</i> pada Sudut <i>Inlet</i> 1 ° (kiri) dan 1.5 ° (kanan) dengan Sudut <i>Diffuser</i> 6 °.....	34
<b>Gambar 4. 9</b> <i>Separation flow Diffuser Undertray</i> pada Sudut <i>Inlet</i> 1 ° (kiri) dan 1.5 ° (kanan) dengan Sudut <i>Diffuser</i> 6 °.....	35
<b>Gambar 4. 10</b> Grafik Nilai <i>Cd</i> Terhadap Sudut <i>Diffuser</i> .....	36

<b>Gambar 4. 11</b>	Grafik Nilai $C_l$ terhadap Sudut <i>Diffuser</i> .....	37
<b>Gambar 4. 12</b>	<i>Coefficient of Pressure</i> pada <i>Undertray</i> Sudut <i>Diffuser</i> 6 °.....	37
<b>Gambar 4. 13</b>	Hasil Aerodinamika tiap kecepatan vs Jumlah <i>Fin</i> .....	39
<b>Gambar 4. 14</b>	<i>Streamline</i> pada <i>Undertray fin 2</i> .....	39
<b>Gambar 4. 15</b>	<i>Countur Velocity Separate Fin 2</i> .....	40
<b>Gambar 4. 16</b>	<i>Countur Pressure Undertray Separate Fin 2</i> .....	40
<b>Gambar 4. 17</b>	<i>Coefficient of Pressure</i> Bawah Mobil (Atas) dan Atas Mobil (Bawah) .....	41
<b>Gambar 4. 18</b>	Jumlah <i>Fin</i> vs <i>Acceleration</i> dan <i>Skidpad</i> .....	42
<b>Gambar 4. 19</b>	Jumlah <i>Fin</i> vs <i>Autocross</i> dan <i>Endurance</i> .....	42
<b>Gambar 4. 20</b>	<i>Dragforce</i> saat <i>Track Acceleration</i> .....	42
<b>Gambar 4. 21</b>	<i>Downforce Undertray Fin 2</i> terhadap <i>Engine (Rpm)</i> .....	43
<b>Gambar 4. 22</b>	<i>Time Acceeleration</i> menggunakan <i>Undertray Fin 2</i> .....	43
<b>Gambar 4. 23</b>	<i>Downforce vs Distance Skidpad</i> .....	44
<b>Gambar 4. 24</b>	<i>Downforce Undertay Fin 4</i> vs <i>Engine (Rpm)</i> .....	44
<b>Gambar 4. 25</b>	<i>Velocity</i> saat <i>Skidpad</i> .....	44
<b>Gambar 4. 26</b>	<i>Downforce vs Distance Autocross</i> .....	45
<b>Gambar 4. 27</b>	<i>Downforce Undertray Fin 1</i> vs <i>Engine (Rpm)</i> .....	45
<b>Gambar 4. 28</b>	<i>Velocity</i> saat <i>Autocorss</i> .....	46
<b>Gambar 4. 29</b>	<i>Downforce vs Distance Endurance</i> .....	46
<b>Gambar 4. 30</b>	<i>Downforce Undertray Fin 1</i> vs <i>Distance Endurance</i> .....	46
<b>Gambar 4. 31</b>	<i>Velocity</i> saat <i>Endurance</i> .....	47

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3. 1</b> Dimensi Mobil Sapuangin <i>Speed VIII</i> .....	16
<b>Tabel 3. 2</b> Matriks <i>Velocity</i> .....	17
<b>Tabel 3. 3</b> Matriks <i>Undertray</i> secara 2D.....	18
<b>Tabel 3. 4</b> Matriks <i>Undertray</i> secara 3D.....	19
<b>Tabel 3. 5</b> Kondisi Batas Simulasi CFD .....	22
<b>Tabel 3. 6</b> Hasil <i>Grid Independence</i> .....	24
<b>Tabel 4. 1</b> Validasi Hasil .....	31
<b>Tabel 4. 2</b> Perbedaan Kondisi <i>Ground</i> .....	33
<b>Tabel 4. 3</b> Nilai <i>Cl</i> dan <i>Cd</i> pada Sudut <i>Inlet</i> 1 ° .....	35
<b>Tabel 4. 4</b> Nilai <i>Cl</i> dan <i>Cd</i> pada Sudut <i>Inlet</i> 1.5 ° .....	36
<b>Tabel 4. 5</b> Nilai <i>Cl</i> dan <i>Cd</i> Berdasarkan Jumlah <i>Fin</i> pada Kecepatan 22.5 m/s .....	38
<b>Tabel 4. 6</b> Nilai <i>Cl</i> dan <i>Cd</i> Berdasarkan Jumlah <i>Fin</i> pada Kecepatan 11.7 m/s .....	38
<b>Tabel 4. 7</b> Nilai <i>Cl</i> dan <i>Cd</i> Berdasarkan Jumlah <i>Fin</i> pada Kecepatan 5 m/s .....	38
<b>Tabel 4. 8</b> Hasil Perhitungan <i>Laptime</i> .....	41

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## NOMENKLATUR

$A$	= <i>Frontal Area</i> (m <sup>2</sup> )
$C_d$	= <i>Coefficient of Drag</i>
$C_f$	= <i>Skin Friction Coefficient</i>
$C_l$	= <i>Coefficient of Lift</i>
$F_d$	= <i>Forcedarg</i> (N)
$F_{dr}$	= <i>Force Drag Rear Wing</i>
$F_f$	= <i>Downforce Front Wing</i>
$F_l$	= <i>Forcelift</i> (N)
$F_r$	= <i>Downforce Rear Wing</i>
$F_u$	= <i>Downforce Undertray</i>
$F_x$	= <i>Gaya terhadap Sumbu x</i>
$H_d$	= <i>Distance Between Road and Center Pressure Rear Wing</i>
$I_{xx}$	= <i>Moment Inertia terhadap Sumbu x</i>
$L$	= <i>Wheelbase</i>
$L_f$	= <i>Distance between Axle Front Wheel and Center Pressure Front Wing</i>
$L_r$	= <i>Distance between Axle Rear Wheel and Center Pressure Rear Wing</i>
$L_u$	= <i>Distance between Axle Front Wheel and Center Pressure Undertray</i>
$M$	= <i>Mass mobil</i>
$P$	= <i>Pressure</i>
$Re$	= <i>Reynolds Number</i>
$T_x$	= <i>Torsi terhadap Sumbu x</i>
$U$	= <i>Free Stream Velocity</i> (m/s)
$F$	= <i>Velocity</i> (m/s)
$W_{FD}$	= <i>Force Front Wheel</i>
$W_{RD}$	= <i>Force Rear Wheel</i>
$a_x$	= <i>Acceleration terhadap Sumbu x</i>
$I_{xx}$	= <i>Inertia Axis x</i>
$p$	= <i>Kecepatan Roll terhadap Sumbu x</i>
$q$	= <i>Kecepatan Pitch terhadap Sumbu y</i>
$r$	= <i>Kecepatan Yaw terhadap Sumbu z</i>
$u_t$	= <i>Friction Velocity</i>

$v$	= <i>Velocity fluid dan kecepatan mobil (m/s)</i>
$x$	= <i>Gerakan Kedepan dan Sumbu longitudinal</i>
$y$	= <i>Sumbu lateral Kesamping dari Mobil</i>
$y$	= <i>Tinggi Pertama Meshing dari Wall</i>
$y^+$	= <i>Dimensionless untul wall treatment</i>
$z$	= <i>Gerakan Kebawah dari Mobil</i>
$\theta$	= <i>Angel of Attack</i>
$\mu$	= <i>Dynamics Viscosity (<math>1.7894 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}</math>)</i>
$\nu$	= <i>Kinematics Viscosity</i>
$\rho$	= <i>Density (<math>1.225 \text{ kg/m}^3</math>)</i>
$\tau_w$	= <i>Shear Stress pada Wall</i>

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

FSAE (*Formula Society Automotive Engineering*) merupakan kompetisi yang diselenggarakan oleh SAE Internasional (*Society Automotive Engineering*). Kompetisi FSAE diselenggarakan setiap tahun dan memiliki beberapa yang diselenggarakan oleh SAE Internasional seperti FSAE Germany, FSAE Austria, FSAE Michigan, dan FSAE Japan. (International, Formula SAE, 2021) Kompetisi FSAE memiliki dua *event* besar yaitu *static events* dan *dynamic events*. *Static events* terdiri beberapa *sub-events* yang dilombakan seperti *presentation bussiness event*, *design event* dan *cost report event*. Sedangkan *dynamic events* yang bertujuan untuk mengetahui performa mobil berjalan dalam lintasan atau sirkuit yang sudah ditentukan. Dalam *Dynamic events* terdiri beberapa *sub-event* yang dikompetisikan yaitu *acceleration*, *skidpad*, *autocross*, dan *endurance*. ITS Team Sapuangin merupakan salah satu peserta kompetisi FSAE Japan yang menjalankan riset dalam bidang mobil *Formula Student*. Team Sapuangin merupakan salah satu tim perwakilan dari ITS (Institut Teknologi Sepuluh Nopember) untuk mengikuti kompetisi FSAE Japan yang diselenggarakan oleh SAE Japan. (International, Formula SAE Rules 2020, 2019)

Pengembangan mobil *Formula Student* memiliki beberapa parameter yang mempengaruhi performa mobil saat dilintasan. Salah satunya *aerodynamics package* yang dikembangkan untuk menaikkan performa mobil. Komponen *aerodynamics package* memiliki fungsi pada mobil untuk memberikan arah aliran udara diarea sekitar mobil dan memiliki fungsi lain menaikkan *downforce* dan menurunkan *forcedrag*. *Downforce* berfungsi memberikan gaya tekanan kebawah mobil untuk menaikkan *grip* atau gaya cengkram pada ban. Sedangkan *forcedrag* merupakan gaya hambat yang dialami oleh mobil saat bergerak. Komponen *aerodynamics package* pada mobil yang menghasilkan *downforce* berupa *front wing*, *rear wing* dan *undertray*. (International, Formula SAE Rules 2020, 2019) Komponen *aerodynamics package* pada mobil yang menghasilkan *downforce* paling besar yaitu *undertray*. *Undertray* merupakan komponen pada mobil yang berupa *floor* dan *diffuser* dibagian bawah mobil. Pada *undertray* terjadi *ventury effect* yang dapat menaikkan 50 % *downforce* akan tetapi keniakan *forcedrag* kurang dari 13 %. (Toet, 2013)

Pengembangan *undertay* memiliki parameter-parameter yang mempengaruhi performa mobil yaitu sudut *inlet* dan sudut *diffuser* pada *undertray*. Parameter tersebut menghasilkan aliran yang *uniform* pada *inlet* dan menghasilkan *downforce* pada *diffuser*.

(Humenic & Humenic, 2012) Selain menggunakan parameter sudut *inlet* dan sudut *diffuser* pada *undertray*, yang perlu dikembangkan yaitu *separate* aliran pada *diffuser*. *Separate* aliran pada *diffuser* memiliki fungsi menjadikan aliran *uniform*, sehingga menghasilkan kecepatan aliran lebih tinggi dan menghasilkan *pressure* lebih rendah. Hal tersebut mengakibatkan semakin tinggi perbandingan *pressure* antara diatas dan bawah mobil. (Oxyzoglou, 2017) Sehingga dalam penelitian tugas akhir ini melakukan perancangan desain dan analisis *undertay* untuk meningkatkan performa mobil dilintasan atau *track*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana perancangan desain *undertray* terhadap mobil Sapuangin *Speed* yang mengikuti kompetisi FSAE Japan?
2. Bagaimana performa *undertray* terhadap mobil Sapuangin *Speed* yang mengikuti kompetisi FSAE Japan?
3. Bagaiman pengaruh penggunaan *undertray* terhadap mobil Sapuangin *Speed* yang mengikuti kompetisi FSAE Japan?

## 1.3 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Perancangan desain *undertray* mobil Sapuangin *Speed* terhadap kompetisi *acceleration*, *skidpad*, *autocross*, dan *endurance* di FSAE Japan.
2. Menganalisis performa *undertray* terhadap mobil Sapuangin *Speed* pada kompetisi *acceleration*, *skidpad*, *autocross*, dan *endurance* di FSAE Japan.
3. Memberikan rekomendasi berdasarkan analisis performa *undertray* terhadap mobil Sapuangin *Speed* pada kompetisi *acceleration*, *skidpad*, *autocross*, dan *endurance* di FSAE Japan.

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Menggunakan *properties* fluida berupa udara pada ketinggian *sea level*.
2. Dalam perhitungan mengabaikan *heat transfer* dan pengaruh variable *vehicle dynamic* terhadap waktu.
3. Menggunakan aliran *steady* dan *incompressible flow*.

## 1.5 Sistematika Laporan

Sistematika laporan berisi gambaran singkat bagaimana struktur penulisan laporan tugas akhir ini untuk memudahkan pembaca dalam memahami alur laporan.

### Bab I. Pendahuluan

Pada bab I berisi tentang tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, dan sistematika laporan untuk penelitian tugas akhir ini.

### Bab II. Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Pada bab II berisi tentang *external flow*, aerodinamika, *undertray*, kinematika kendaraan dan CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Bab II bertujuan sebagai penunjang dasar teori pada penelitian tugas akhir ini.

### Bab III Metodologi Penelitian

Pada bab III berisi tentang alur penelitian tugas akhir. Alur penelitian tugas akhir terdiri dari perumusan masalah, desain *undertray* pada mobil sapuan angin *speed*, simulasi CFD dan simulasi *laptime* pada *track*, analisa data, kesimpulan data.

### Bab IV Hasil dan Pembahasan

Pada bab IV berisi tentang hasil data yang diperoleh selama penelitian tugas akhir serta pembahasan dari setiap data yang diperoleh selama penelitian tugas akhir ini.

### Bab V Kesimpulan dan Saran

Pada bab V berisi tentang kesimpulan dari penelitian tugas akhir yang telah dilakukan selama ini dan pada bagian saran, merupakan rekomendasi yang dapat diberikan untuk pengerjaan tugas akhir berikutnya.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB II

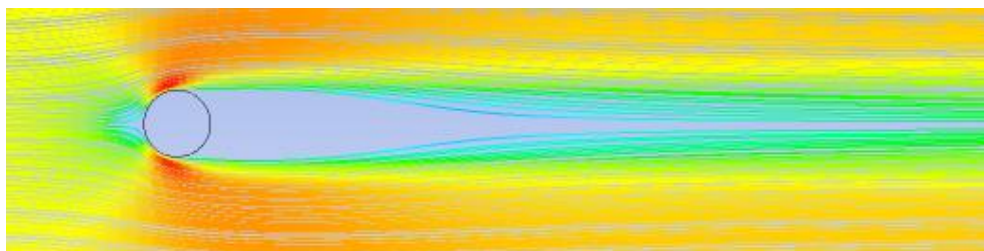
### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Aerodinamika merupakan pengaruh besar untuk menaikkan performa dari kendaraan. Perkembangan komponen aerodinamika dengan kenaikan 10 % perbandingan *downforce* dan *drag*, dapat mengurangi nilai *laptime* 1%. Pada mobil F1 2009 komponen yang menghasilkan *downforce* paling besar yaitu *floor* dan *diffuser* akan tetapi menyumbang *drag* sebesar 13%. Penggunaan Aerodinamika menghasilkan kecepatan saat *cornering* naik sebesar 69% pada *high-speed*, kecepatan saat *cornering* sebesar naik 25% pada *medium-speed*, dan kecepatan saat *cornering* sebesar naik 12% pada *low-speed*. (Toet, 2013) Menggunakan perubahan sudut *inlet* 3, 6, 9, 12, dan 15 derajat dengan menetapkan panjang *inlet* dan sudut *diffuser* menggunakan 18, 22, 24, dan 26 derajat pada kecepatan sebesar 15 m/s, 22,5 m/s dan 30 m/s. Menghasilkan *down force* terbesar menggunakan sudut inlet 9 dan sudut *outlet* 26 dilengkapi dengan *gurney flap* pada ujung *diffuser*.(Jalappa, 2015) Penggunaan *undertray* diberikan *separate fin* untuk pemisah aliran pada *diffuser* bertujuan menghasilkan *downforce* dan mempercepat aliran dari *throat* menuju *diffuser*. Hal tersebut mengakibatkan peningkatan performa mobil pada saat *cornering*. (Oxyzoglou, 2017)

#### 2.2 External Flow

*External flow* merupakan salah satu cabang ilmu mekanika fluida yang berfokus dalam mempelajari pola aliran melalui benda. Dalam *external flow* fenomena *viscous effect* yang terjadi dikarena udara mengenai benda. Fenomena tersebut menghasilkan *boundary layer*, *separation region*, *wake region* dan *adverse pressure gradient* disekitar benda. Aliran fluida yang melewati benda mengakibatkan *pressure* terhadap gaya *normal* pada permukaan dan gaya *shear* secara paralel pada permukaan. Kedua gaya tersebut menghasilkan *forcedrag* dan *forcelift*, dimana *forcedrag* berasal dari gaya *shear* pada permukaan sedangkan gaya *normal* yang bekerja pada benda dinamakan *forcelift* sesuai arah aliran fluida.

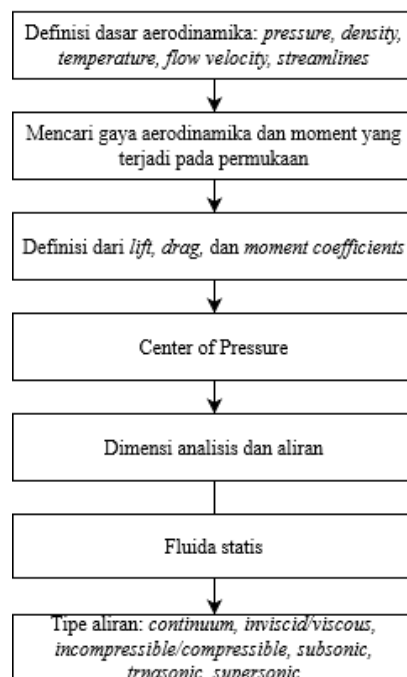


**Gambar 2. 1** Aliran *External* pada Silinder

Untuk melihat keadaan aliran pada *external flow* menggunakan dua jenis analisis aliran yaitu secara 2D dan 3D *flow* aliran terhadap benda. Menggunakan dua jenis analisis aliran tersebut akan memudahkan menganalisis aliran mengenai benda. Akan tetapi untuk lebih jelasnya mengetahui pola aliran mengenai benda dengan menggunakan 3D yang sesuai keadaan benda nyata. *External flow* dibagi menjadi dua yaitu aliran *incompressible* dan aliran *compressible*. Aliran *incompressible* digunakan untuk aliran pada mobil, *submarine*, dan *building*. Sedangkan untuk aliran *compressible* digunakan untuk *high-speed aircraft*, *rockets*, dan *missiles*. Pada *external flow* terjadi *compressible effect* akan tetapi pada aliran *incompressible* tidak diperhitungkan karena memiliki nilai *Mach number*  $< 0,3$ . (Çengel & Cimbala, 2014)

### 2.3 Aerodinamika

Aerodinamika merupakan fenomena fluida yang berkerja melewati bodi. Dalam aerodinamika terdapat perilaku fluida mengenai permukaan benda berupa gaya tangensial yang mengenai permukaan benda. Benda akan mengalami *finite deformation* permukaan dan gaya tangensial per satuan luas dinamakan *shear stress*. Aerodinamika merupakan penerapan sains yang banyak digunakan pada dunia teknik, sepertinya *external flow* yang berkerja pada bodi mobil, digunakan pada merancang roket maupun misil. Untuk prediksi gaya dan momen maupun *heat transfer* pada aliran yang melewati daerah benda. Menghasilkan prediksi gaya dan momen pada aliran melewati benda digunakan sebagai dasar perhitungan gaya angkat (*forcelift*) dan gaya hambat (*forcedrag*). (Anderson, 2001)



Gambar 2. 2 Skema Aerodinamika



## 2.4 Gaya Angkat (*Forcelift*) dan Gaya Hambat (*Forcedrag*)

Gaya angkat (*forcelift*) disebabkan karena perubahan aliran disekitar benda. Ketika *pressure* udara dibawah benda lebih tinggi daripada *pressure* diatas benda, maka terjadilah gaya angkat (*forcelift*). Perbedaan tekanan tersebut disebabkan oleh *normal force* yang terjadi pada permukaan benda. *Normal force* terbentuk dari pola aliran yang melewati benda. Dibawah ini merupakan metode dalam menghitung besarnya gaya angkat (*forcelift*): (Çengel & Cimbala, 2014)

$$dF_l = -PdA \sin \theta - \tau_w dA \cos \theta \quad (2.1)$$

$$F_l = \int_A dF_l = - \int_A (P \sin \theta + \tau_w \cos \theta) dA \quad (2.2)$$

Dalam menganalisis *external flow* menggunakan  $C_l$  untuk mengetahui seberapa besar *forcelift* yang didapatkan. Hal tersebut diketahui karena dalam  $C_l$  dipengaruhi *velocity* untuk menghasilkan *forcelift*. Besarnya *forcelift* untuk aliran *incompressible* dapat dinyatakan berikut:

$$C_l = \frac{F_l}{\frac{1}{2} \rho V^2 A} \quad (2.3)$$

*Forcedrag* merupakan gaya hambat yang sejajar dengan arah aliran melalui benda. Besarnya *forcedrag* dipengaruhi oleh bentuk benda. Menggunakan luas *frontal area* ( $A$ ) yang terkena aliran mengakibatkan besar *forcedrag*. Besarnya *forcedrag* untuk aliran *incompressible* dapat dinyatakan berikut:

$$dF_d = -PdA \cos \theta + \tau_w dA \sin \theta \quad (2.4)$$

$$F_d = \int_A dF_d = \int_A (-P \cos \theta + \tau_w \sin \theta) dA \quad (2.5)$$

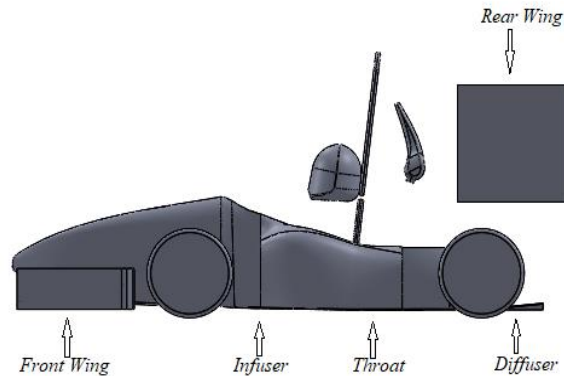
Dalam penerapan di *external flow* menggunakan  $C_d$  untuk mengetahui seberapa besar pengaruh luas *frontal area* ( $A$ ) terhadap *forcedrag* yang dihasilkan. Hal tersebut dapat diketahui menggunakan persamaan berikut:

$$C_d = \frac{F_d}{\frac{1}{2} \rho V^2 A} \quad (2.6)$$

## 2.5 Undertray

Perkembangan *aerodynamics package* untuk kendaraan berkembang pesat dikarenakan pada kecepatan tinggi kestabilan kendaraan dipengaruhi oleh desain *aerodynamics package*. Selain menggunakan *wing* untuk menunjang kestabilan kendaraan bisa menggunakan *undertray*. *Undertray* merupakan bagian dari *floor-pan* dan *diffuser* pada

mobil yang terletak pada bagian bawah mobil. *Undertray* terdiri dari tiga *section* yaitu *infuser*, *throat*, dan *diffuser*. Bagian *infuser* digunakan untuk mengontrol aliran yang akan masuk pada *undertray* tetap *laminar flow* dan *uniform*. Bagian *throat* berfungsi untuk menaikkan kecepatan pada *undertray* yang bertujuan menghasilkan maksimum *negative pressure (downforce)* pada mobil. Sedangkan pada *diffuser* berfungsi untuk melambatkan aliran keluar dari *throat* mendekati kecepatan disekitarnya, dan untuk menghasilkan *negative pressure (downforce)* disebabkan naiknya kecepatan aliran dibawah mobil. (Seward, 2014)

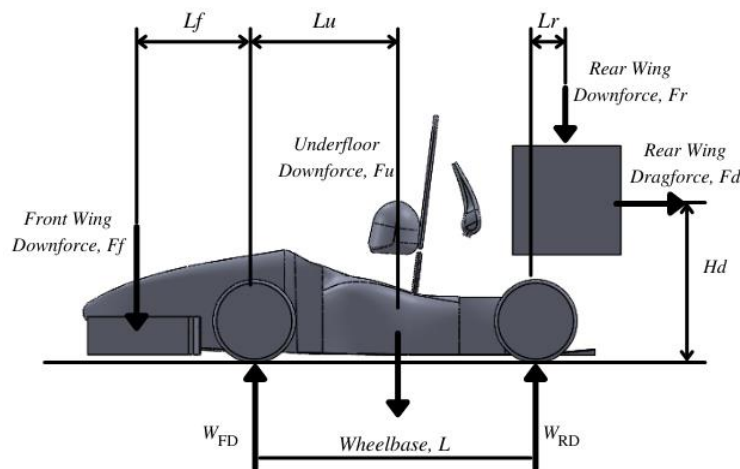


Gambar 2. 3 Bagian *Undertray* pada Mobil

*Undertray* menghasilkan *downforce* yang lebih stabil, dikarenakan distribusi *normal force* berada diantara kedua ban yaitu ban depan dan ban belakang.

## 2.6 Aerodynamic Balance

Tahapan desain aerodinamika perlu memperhitungan distribusi *force* dari *aerodynamic package* untuk mengetahui *normal force* yang diterima ban. Hal tersebut dapat mempengaruhi gerak mobil *understeer* atau *oversteer*. Seperti gambar dibawah menunjukan perhitungan dari distribusi gaya yang disebabkan oleh *aerodynamic*. (Seward, 2014)



Gambar 2. 4 Aerodynamic Balance

Perhitungan *front axle* untuk *downforce* dari *rear axle*,  $W_{RD}$ :

$$W_{RD} \times L = F_u \times L_u + F_r \times (L + L_r) + F_{dr} \times H_d \quad (2.7)$$

$$W_{RD} = \frac{[F_u L_u + F_r (L + L_r) + F_{dr} H_d - F_f L_f]}{L} \quad (2.8)$$

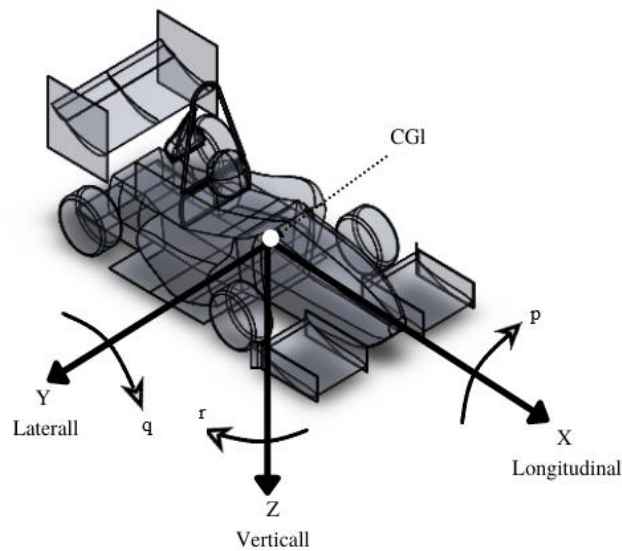
Perhitungan *rear axle* untuk *downforce* dari *front axle*,  $W_{FD}$ :

$$W_{FD} \times L = F_f \times (L + L_f) + F_u \times (L + L_u) - F_r \times L_r - F_{dr} \times H_d \quad (2.9)$$

$$W_{FD} = \frac{[F_f (L + L_f) + F_u (L + L_u) + F_r L_r - F_{dr} H_d]}{L} \quad (2.10)$$

## 2.7 Dinamika Mobil

Mobil mempunyai komponen-komponen yang gerak diperhitungkan. Banyaknya komponen tersebut mempengaruhi posisi CG (*Center of Gravity*) atau pusat berat mobil. Dalam kondisi mobil memiliki koordinat seperti gambar dibawah ini. (Gillespie, 2017)



**Gambar 2.5** Kartesian Koordinat Mobil

Pergerakan mobil memiliki referensi gerak yang berpusat pada CG. Analisis gerakan mobil terdapat dua sistem yaitu *translational system* dan *rotational system*. *Translational system* merupakan penjumlahan *external force* yang mengenai mobil ketika gerak.

$$\sum F_x = M \cdot a_x \quad (2.11)$$

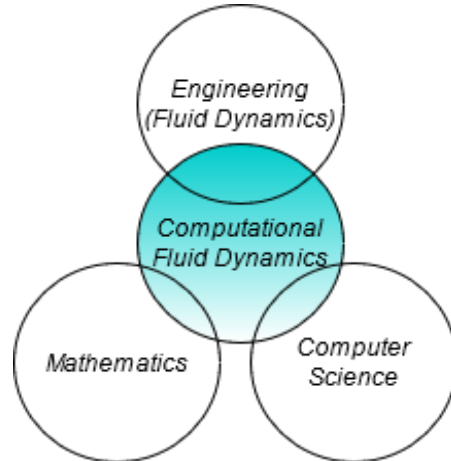
*Rotational system* merupakan penjumlahan torsi yang berkerja di mobil terhadap sumbunya.

$$\sum T_x = I_{xx} \cdot a_x \quad (2.12)$$

## 2.8 CFD (*Computational Fluid Dynamics*)

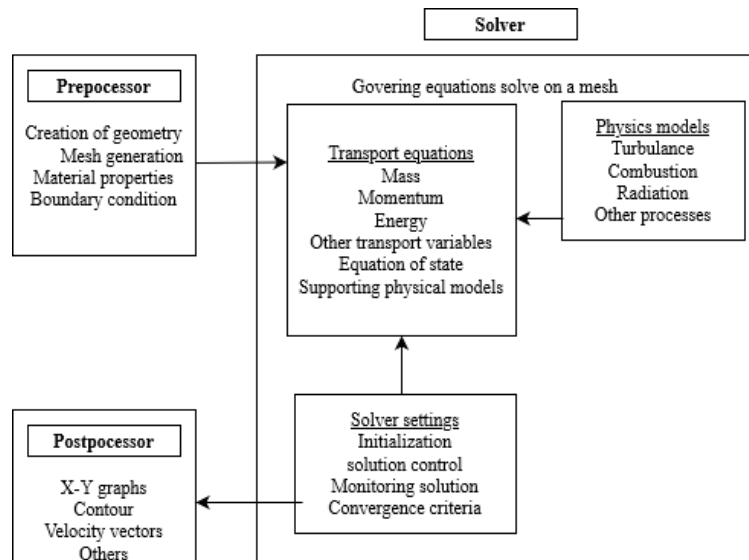
*Computational Fluid Dynamics* (CFD) adalah cabang CAE yang mensimulasikan gerakan fluida dan perpindahan panas menggunakan pendekatan numerik. Berguna untuk memudahkan memprediksikan gerakan aliran fluida, *heat and mass transfer*, *chemical reactions*, dan fenomena yang lain. CFD menggunakan *modelling physics* untuk menyelesaikan permasalahan numerik aliran. Menggunakan data CAD untuk dasar perhitungan *modelling physics* lalu dibagi menjadi *cell* dan *element*. Membagi *geometry* CAD menjadi *cell* atau *element* menggunakan *meshing*. Perhitungan CFD menggunakan *based mesh* yang berupa volume dan *node*. Dengan begitu bisa menghasilkan perhitungan *high performance computing (HPC)* untuk menyelesaikan permasalahan *Computational Fluid Dynamics*. (Ansys, 2021)

Pengkondisian keadaan simulasi dibedakan menjadi dua yaitu keadaan *dynamics* dan *statics* yang merupakan implentasi dari keadaan sebenarnya. Keadaan tersebut bisa mendiskripsikan *boundary condition* atau keadaan batas dari simulasi. Konsep tersebut dapat mempercepat dan menurunkan *cost* dari pengembangan suatu produk. Dalam penyelesaian CFD menggunakan tiga factor yang menjadikan model simulasi tersebut yaitu *engineering (fluid dynamics)*, *mathematics*, dan *computer science*.



**Gambar 2. 6** Konsep *Computational Fluid Dynamics*

Menggunakan ketiga factor tersebut dapat mengkondisikan *boundary condition* sebuah simulasi. Selain itu, pengkondisian dalam sebuah simulasi berdasarkan keadaan dari sistem yang ingin diketahui perilakunya. (Tu, Yeoh, & Liu, 2018) *Computational Fluid Dynamics* memiliki prosedur yang digunakan dalam perhitungan komputasi berupa *numerical algorithms* untuk menghitung dari tiap *note* dan *face element mesh*. *Computational Fluid Dynamics* menyelesaikan dengan tiga prosedur yaitu *preprocessor*, *solver*, dan *postprocessor*. (Tu, Yeoh, & Liu, 2018)



**Gambar 2. 7** Skema proses melakukan *Computational Fluid Dynamics*

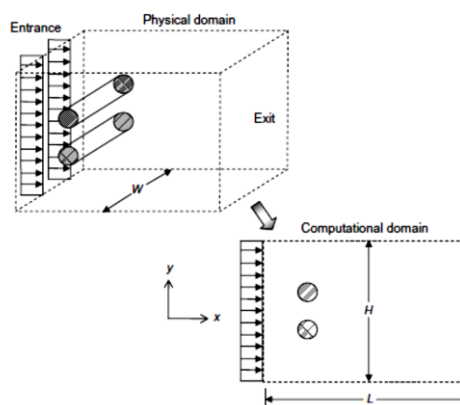
Dari gambar 2.7, untuk mencapai hasil simulasi yang baik perlu mengikuti step-step tersebut. Berikut ini prosedur dalam simulasi *Computational Fluid Dynamics*:

### 2.8.1 *Pre-Processing*

Dalam *Pre-Processing* memiliki beberapa tahapan sebagai berikut:

#### a. *Geometry*

Merupakan bentuk dari benda yang akan disimulasikan, dalam *geometry* ini terdapat dua daerah yaitu benda dan *surrounding*. Dimana benda memiliki bentuk dari benda yang akan disimulasikan baik berupa 2D maupun 3D. Sedangkan *surrounding* merupakan daerah sekitar benda yang akan dikondisikan sesuai keadaan sebenarnya (*boundary condition*).

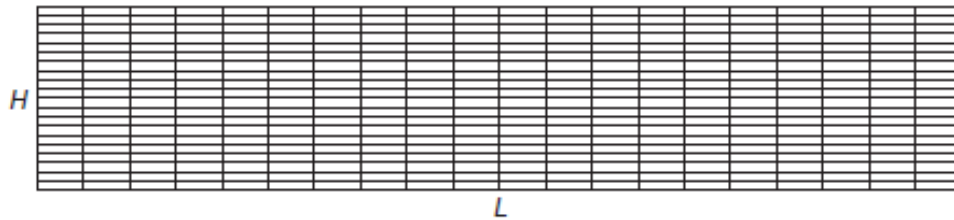


**Gambar 2. 8** *Geometry*

#### b. *Meshing*

Merupakan lanjutan untuk membagi *geometry* menjadi *grip* atau *cell* tiap *element* maupun volume. Hal tersebut sangat penting karena perhitungan dari

*Computational Fluid Dynamics* menggunakan perhitungan fisis tiap *cell* atau *grid*.

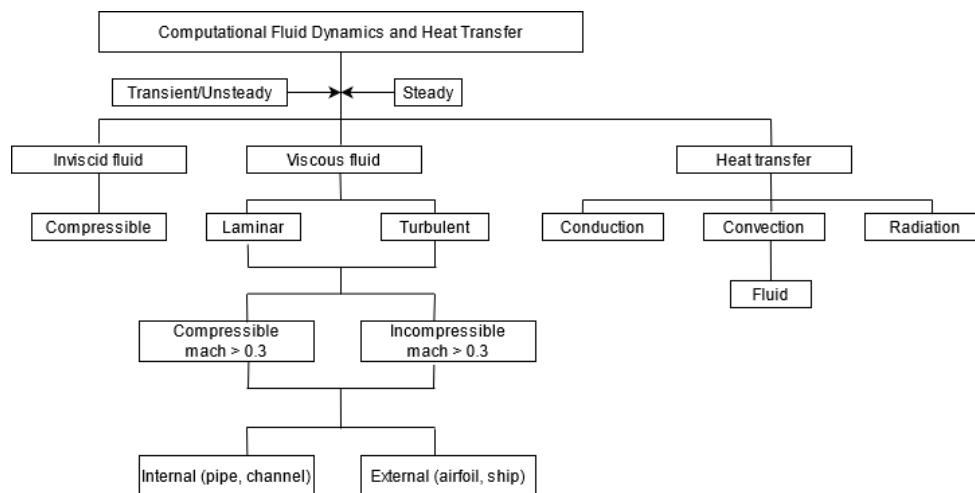


**Gambar 2. 9** Konsep *Meshing*

Penggunaan *mesh* pada *geometry* bertujuan mempersentasikan bentuk *geometry* benda tersebut. Untuk *geometry* yang kompleks bisa menggunakan *triangular*, *prima*, dan *hexagonal*. Beberapa jenis *mesh* ini akan optimal tergantung dari *complexity* dari *geometry*.

c. Pemilihan secara fisis dan *fluid properties*

Merupakan pengkondisian besaran fisis yang digunakan dan propertiesnya. Hal tersebut sangat penting karena dasar perhitungan dari CFD menggunakan perhitungang *fluid mechanic* dan *heat and mass transfers*. Sehingga tiap properties yang digunakan sangat mempengaruhi dari hasilnya. Pemilihan besaran fisis maupun *fluid properties* dapat mempertimbangkan aspek pada *flowchart* berikut:

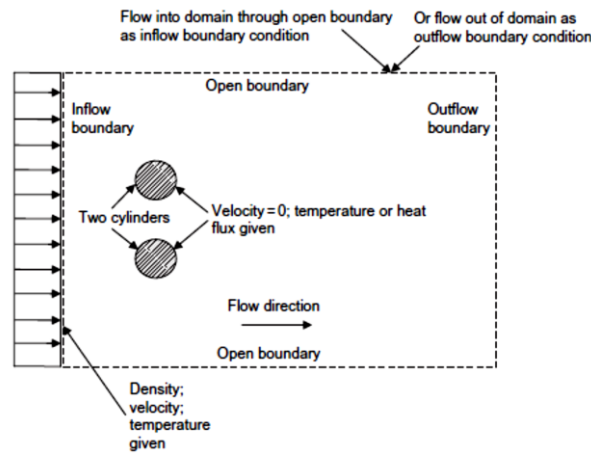


**Gambar 2. 10** Bagan pembagian kasus dalam CFD

d. *Boundary Condition*

Merupakan pengkondisian sebuah aliran, dimana dalam simulasi harus mengkondisikan sesuai keadaan sebenarnya. Simulasi tersebut memberikan berupa ruang lingkup berupa batas-batas sesuai keadaan sebenarnya. Sehingga

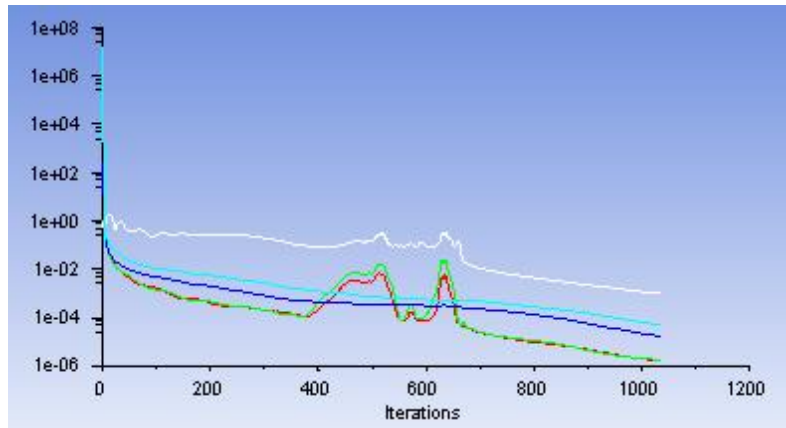
dalam keadaan *intenal flow* dengan *external flow* sangat berbeda. Kondisi yang membedakan berupa keadaan dari *inlet*, *wall*, maupun *output* dari *fluid flow*.



**Gambar 2. 11** *Boundary Condition*

### 2.8.2 Solver

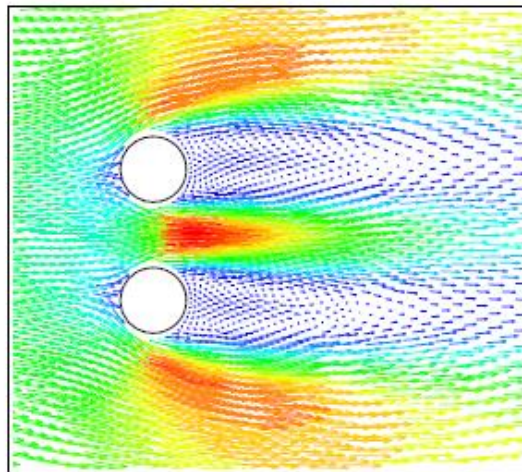
*Computational Fluid Dynamics* banyak digunakan pada *engineering* untuk mengetahui perilaku *turbulent flow*. Penyelesaian *Computational Fluid Dynamics* terdapat beberapa penyelesaian model seperti RANS (*Reynolds-averaged Navier-Stokes*), LES (*Large Eddy Simulation*), dan DNS (*Direct Numerical Simulation*). Permodelan *turbulent* RANS memiliki beberapa persamaan seperti *Spalart-Allmaras model*, *k – ε model*, *k – ω model*, *Algebraic Stress model*, dan *Reynolds Stress model*. Solver tidak hanya *turbulence model* saja akan tetapi ada *initialization*, *solution control* dan memonitor *convergence*. *Initialization* merupakan persiapan komputer untuk memberikan analisis awal ketika diberikan beban perhitungan CFD. *Solution control* merupakan parameter spesifik perhitungan dari *iteration*. *Solution control* menggunakan perhitungan *finite volume method* (FVM) untuk memberikan perhitungan dari tiap *cell* atau *grid* dalam *boundary condition*. *Solution control* terdapat penyelesaian numerik menggunakan metode *first-order upwind*, *second-order upwind*, *second-order central*, and *quadratic upstream interpolation convective kinetics (QUICK)*. Memonitor *convergence* merupakan operasi *Computational Fluid Dynamics* yang meliputi: *monitoring solution*, *CFD calculation* dan *checking for convergence*. Tujuan memonitor *convergence* untuk mengetahui perhitungan yang sedang berjalan mengalami pola *convergen*. Sehingga persamaan tersebut dapat diselesaikan. (Versteeg & Malalasekera, 2007)



**Gambar 2. 12** Memonitor *Corvergence*

### 2.8.3 *Post-Processing*

Merupakan proses untuk mengetahui hasil dan *visualization* data yang disimulasikan. Berfungsi menampilkan data untuk dianalisis yang berupa data komulatif dan *visualization* *x-y plot*, *vector plots*, *contour plots*, dan *animation* pergerakan dari *fluid flow*.

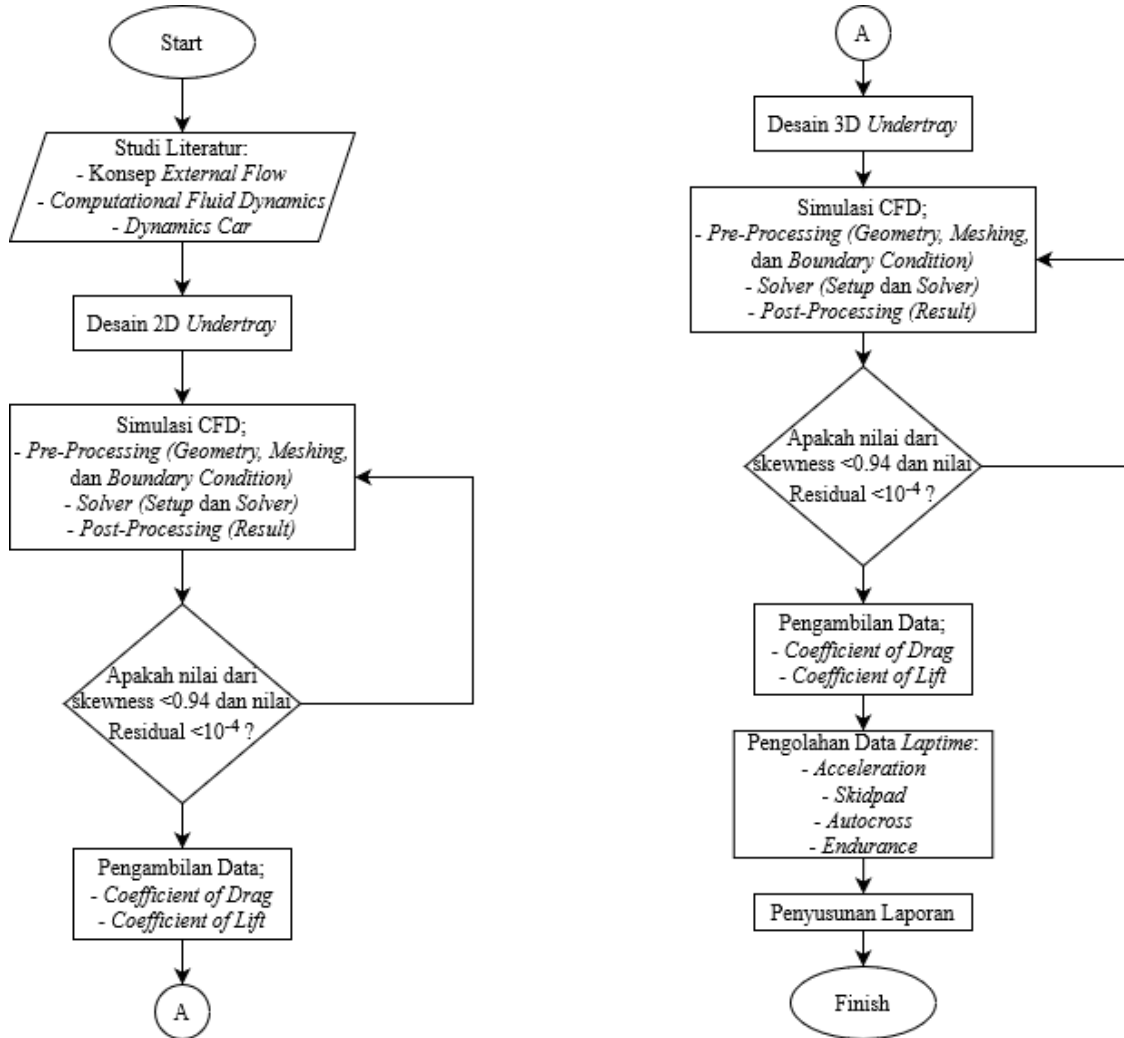


**Gambar 2. 13** *Post-processing Computational Fluid Dynamics*



### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Melalui diagram alir dibawah dapat diketahui tahapan–tahapan pelaksanaan penelitian pada tugas akhir.



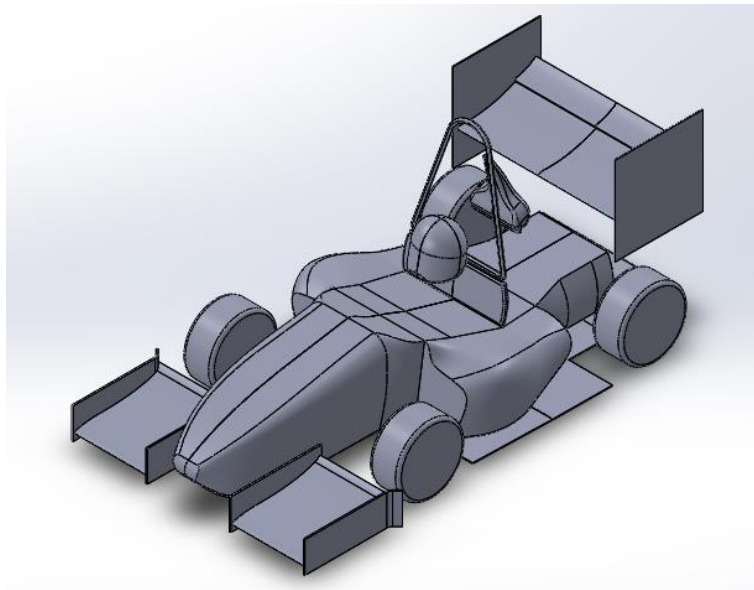
**Gambar 3. 1** Diagram Alir Metode Penelitian

Pada studi literatur meliputi pencarian dan mempelajari bahan pustaka yang berkaitan dengan aerodinamika kendaraan, gaya aerodinamika, *underbody* atau *undertray*, *ventury effect*, *computational fluid dynamics*, dan kinematika kendaraan. Literatur ini diperoleh dari berbagai sumber antara lain buku atau *text book*, diktat yang mengacu pada referensi, jurnal ilmiah, *thesis* yang berkaitan, dan media internet. Memberikan pengetahuan parameter *undertray* dan simulasi. Setelah mengetahui parameter dalam mendesain *undertray*, maka dilakukan desain dan simulasi menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Setelah itu mengambil data berupa *Coeffisient of Drag* ( $C_d$ ) dan

*Coeffisient of Lift ( $C_l$ )* dilakukan perhitungan *laptime* untuk mengetahui performa mobil menggunakan *undertray* di *track*.

### 3.1 Desain Mobil Sapuangin *Speed VIII*

Penelitian ini, menggunakan *geometry* mobil Sapuangin *Speed VIII* yang dikembangkan dari ITS Team Sapuangin. *Geometry* mobil Sapuangin *Speed VIII* dipengaruhi oleh *rule*, posisi *driver* dan *packaging* dari semua komponen mobil. (International, Formula SAE Rules 2020, 2019) Sehingga didapatkan *geometry* keadaan sebagai berikut:



**Gambar 3. 2** *Geometry* Mobil Sapuangin *Speed VIII*

Proses desain 3D model menggunakan *software* CAD dengan menyederhanakan *geometry* mobil tanpa beberapa komponen. Komponen-komponen tersebut memiliki dimensi *minor* dan tidak terkena aliran ketika kendaraan bergerak seperti sistem pengereman, sistem elektronik, sistem transmisi, *engine*, dan *control engine*. Berikut ini spesifikasi dari mobil Sapuangin *Speed VIII*:

**Tabel 3. 1** Dimensi Mobil Sapuangin *Speed VIII*

Parameter	Dimesion	
Panjang (L)	2.979	m
Lebar (W)	1.475	m
Tinggi (H)	1280	m
Wheelbase	1560	m
Tinggi CG	0,300	m

Mobil Sapuangin *Speed VIII* melalui pengujian dan perhitungan *vehicle dynamics* oleh ITS Team Sapuangin didapatkan *velocity* pada *track acceleration* sebesar 22.5 m/s,

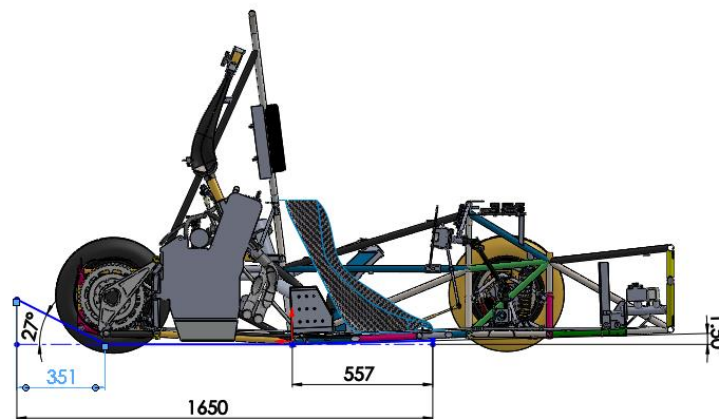
pada *track skidpad* sebesar 11.7 m/s dan pada tikungan tajam sebesar 5 m/s. menggunakan data tersebut dilakukan variasi *velocity* untuk mengetahui pengaruh penggunaan *undertray* pada mobil Sapuangin *Speed VIII*.

**Tabel 3. 2** Matriks *Velocity*

Variasi Velocity		
Tipe	Velocity	
A	22.5	m/s
B	11.7	m/s
C	5	m/s

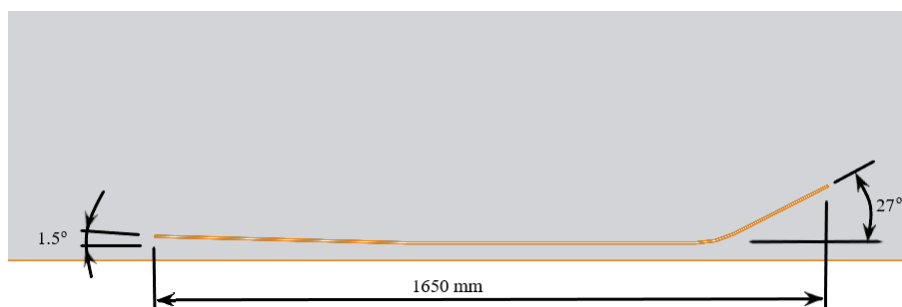
### 3.2 Desain *Undertray* 2D

Pada tahap ini dilakukan perancangan desain *undertray* pada *software* CAD dipengaruhi oleh batasan dimensi pada *global rule FSAE* yang diterbitkan oleh *SAE Internasional*. (International, Formula SAE Rules 2020, 2019)



**Gambar 3. 3** Kondisi Batas dari Desain Mobil dan *Rule* FSAE

*Geometry* 2D didapatkan bahwa untuk sudut *inlet* dan sudut *diffuser* memiliki batas maksimum karena dari *geometry* mobil. Batas maksimum dipengaruhi oleh desain *frame* mobil dan ruang pada mobil SAS VIII. *Geometry* *undertray* secara 2D sebagai berikut.



**Gambar 3. 4** Dimensi *Undertray* secara 2D

Menggunakan batasan dari *rule* FSAE dan ruang dari mobil didapatkan nilai seperti atas dan diambil matriks penelitian sebagai berikut:

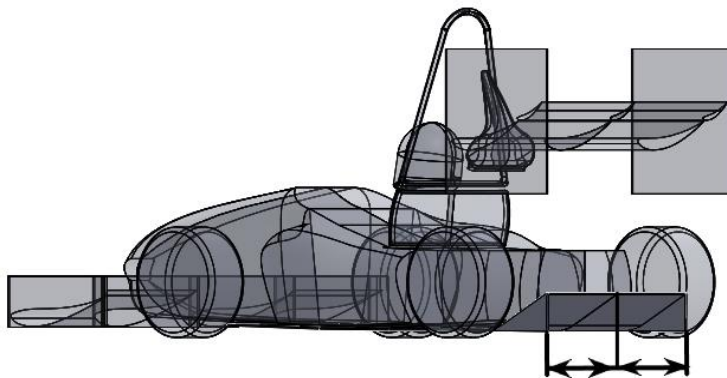
**Tabel 3. 3** Matriks *Undertray* secara 2D

Variasi Undertray 2D		
Panjang Undertray	1650	mm
Panjang Inlet	557	mm
Panjang Throat	742	mm
Panjang Diffuser	351	mm
Sudut Inlet	1	Derajat
	1.5	Derajat
Sudut Diffuser	3	Derajat
	6	Derajat
	9	Derajat
	12	Derajat
	15	Derajat
	18	Derajat
	21	Derajat
	24	Derajat
	27	Derajat

Menggunakan matriks *undertray* 2D, dilakukan simulasi *computational fluid dynamics* secara 2D. Hasil simulasi 2D diambil rasio *Coeffisient of Drag* ( $C_d$ ) dan *Coeffisient of Lift* ( $C_l$ ) tertinggi akan dikembangkan menjadi 3D beserta mobil.

### 3.3 Desain *Undertray* 3D dengan Mobil

Pada tahap ini dilakukan desain *undertray* beserta mobil secara 3D pada *software* CAD yang nantinya akan dilakukan simulasi 3D. Desain *undertray* ditambahkan *separate* untuk aliran pada *diffuser* yang bertujuan mengarahkan dan menaikkan *velocity* pada *diffuser*. (Oxyzoglou, 2017) *Separate* aliran berupa *fin* secara vertikal yang berjumlah 1, 2, 3, 4, dan 5 buah. Dapat dilihat pada gambar dibawah ini:

**Gambar 3. 5** Bentuk *Separate* Aliran pada *Undertray*

**Tabel 3. 4** Matriks *Undertray* secara 3D

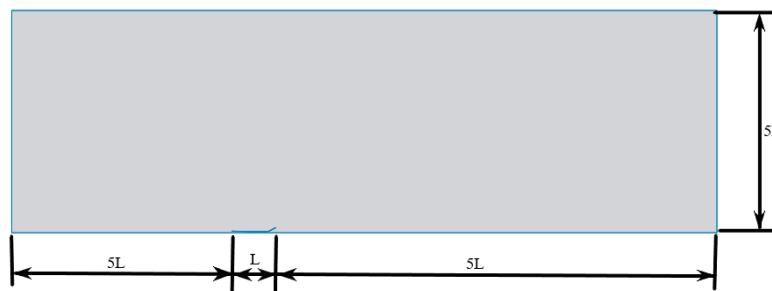
Variasi Separate Fin pada Diffuser 3D		
Fin	Jarak Antar Fin	
1	400	mm
2	263.3	mm
3	195	mm
4	154	mm
5	126.7	mm

### 3.4 Simulasi *Computatuional Fluid Dynamics*

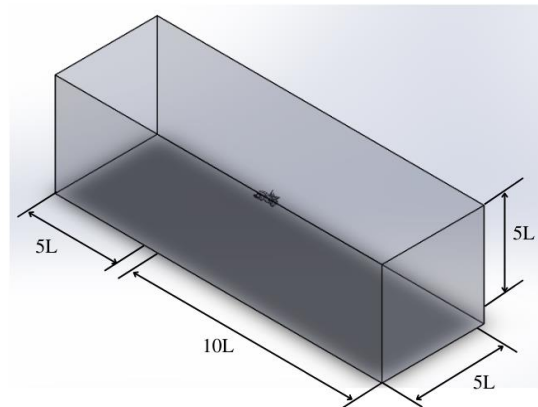
Simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamics*) untuk memperoleh karakteristik perilaku aliran melalui mobil. Pada simulasi CFD terdiri dari tiga proses yaitu *Pre-Processing*, *Solver*, dan *Post-Propessing*. Berikut merupakan tahapan yang dilakukan pada simulasi:

#### 3.4.1 *Pre-Processing*

Pada *pre-processing* dengan membuat *geometry* dan mendefinisikan dari aliran yang melalui *undertray* dan mobil. Penelitian ini menggunakan *geometry undertray* dalam bentuk 2D, dan 3D beserta mobil. Pembuatan *geometry undertray* menggunakan *software CAD* yang mempresentasikan bentuk *undertray* dan mobil. Setelah didapatkan *geometry* membuat *boundary condition* untuk mendefinisikan keadaan aliran melalui mobil. Menggunakan dimensi *boundary condition* kearah depan sebesar 5L, kearah belakang sebesar 10L, dan kearah samping dan atas sebesar 5L (L = panjang mobil). (Jalappa, 2015)



**Gambar 3. 6** *Boundary Condition 2D*



**Gambar 3. 7** *Boundary Condition 3D*

Menggunakan *boundary condition* dilakukan *meshing* dengan membagi domain aliran menjadi *nodes* atau *elements* kecil dan tidak *overlapping*. Aliran yang di *meshing* menjadi *grid* atau *cells* untuk *control volume* pada *domain fluid*. Untuk menghasilkan akurasi dari CFD dipengaruhi kualitas yang berupa nilai *skewness* sebesar  $< 0.94$ . *Meshing* pada 2D menggunakan *proximity* dan *curvature* sedangkan dalam 3D menggunakan *tetrahedral*. Penggunaan ukuran minimum *elements* sebesar 50 mm dan maksimum *elements* sebesar 250 mm. (Oxyzoglou, 2017) Aliran yang melalui benda *solid* akan menghasilkan *viscous force* yang tidak bisa diabaikan. Sama halnya pada permukaan *undertray* dan mobil bergerak dengan kecepatan tertentu yang menghasilkan *slip condition* pada *free stream* dan *no slip condition* pada permukaan kendaraan. Keadaan yang dimanakan *viscous effect*, memberikan profil kecepatan pada *wall* dan profil kecepatan pada *free stream* yang berbeda. *Viscous effect* disebabkan kecepatan ( $U$ ) fluida disekitar permukaan benda memiliki *viscous shear force* yang berada didaerah *adverse pressure gradient*. Memperhatikan keadaan tersebut dapat menghasilkan *drag* dan *separation flow* yang lebih akurat. (Çengel & Cimbala, 2014) Untuk memperoleh hasil tersebut maka dilakukan *wall treatment* pada saat *meshing* dengan menggunakan  $y^+$ . Dimana  $y^+$  merupakan *dimensionless* yang menentukan tinggi *meshing* pertama dari *wall*, yaitu daerah *adverse pressure gradient*. Didapatkan  $y^+$  dengan menggunakan persamaan (3.1). (C.P & Milton, 25 - 28 June 2007)

$$y^+ = \frac{y u_t}{u_t \rho} \quad (3.1)$$

Menggunakan nilai  $y^+ \leq 1$  untuk *turbulence* model  $k - \omega$  *SST model* dihasilkan *drag* yang *error* dibawah 12%. Sehingga menggunakan nilai  $y^+$  sebesar 1 untuk menentukan  $y$  yaitu tinggi pertama *meshing* dari *wall*.

$$y = \frac{y^+ \mu}{u_t \rho} \quad (3.2)$$

$$u_t = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} \quad (3.3)$$

$$\tau_w = \frac{1}{2} \rho U^2 c_f \quad (3.4)$$

$$c_f = \frac{0.0594}{(Re)^{1/5}} \quad (3.5)$$

$$Re = \frac{\rho UL}{\mu} \quad (3.6)$$

Pada simulasi 2D menggunakan nilai  $y^+$  untuk menentukan tinggi  $y$  dari *wall* sebagai berikut:

$$Re = \frac{(1.225 \text{ kg/m}^3 \times 22.5 \text{ m/s} \times 1.65 \text{ m})}{1.7894 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}} = 2.54 \times 10^6 \quad (3.7)$$

$$c_f = \frac{0.0594}{(2.54 \times 10^6)^{1/5}} = 3.11 \times 10^{-3} \quad (3.8)$$

$$\tau_w = \frac{1}{2} \times 1.225 \text{ kg/m}^3 \times (22.5 \text{ m/s})^2 \times 3.11 \times 10^{-3} = 0.96435 \quad (3.9)$$

$$u_t = \sqrt{\frac{0.96435}{1.225 \text{ kg/m}^3}} = 0.887 \quad (3.10)$$

$$y = \frac{1 \times 1.7894 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}}{0.887 \times 1.225 \text{ kg/m}^3} = 1.646 \times 10^{-5} \text{ m} \quad (3.11)$$

Pada simulasi 3D menggunakan nilai  $y^+$  untuk menentukan tinggi  $y$  dari *wall* sebagai berikut:

$$Re = \frac{(1.225 \text{ kg/m}^3 \times 22.5 \text{ m/s} \times 2.979 \text{ m})}{1.7894 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}} = 4.58 \times 10^6 \quad (3.12)$$

$$c_f = \frac{0.0594}{(4.58 \times 10^6)^{1/5}} = 2.698 \times 10^{-3} \quad (3.13)$$

$$\tau_w = \frac{1}{2} \times 1.225 \text{ kg/m}^3 \times (22.5 \text{ m/s})^2 \times 2.698 \times 10^{-3} = 0.8366 \quad (3.14)$$

$$u_t = \sqrt{\frac{0.8366}{1.225 \text{ kg/m}^3}} = 0.8264 \quad (3.15)$$

$$y = \frac{1 \times 1.7894 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}}{0.8264 \times 1.225 \text{ kg/m}^3} = 1.767 \times 10^{-5} \text{ m} \quad (3.16)$$

Setelah itu dilakukan pendiskripsian kondisi batas (*boundary condition*). Pada tahap ini memberikan kondisi yang sesuai dengan kondisi aslinya. Pengkondisian *boundary condition* dalam CFD sebagai berikut:

**Tabel 3. 5** Kondisi Batas Simulasi CFD

No	Region	Boundary Condition	Kondisi
1	Inlet	Velocity-inlet	Inlet air: - Kecepatan aliran : 22.5 m/s, 11.7 m/s dan 5 m/s, - Turbulance Intensity : 5 %, - Turbulance Length : 10 m
2	Outlet	Pressure-outlet	Backflow Reference Frame : - Gauge Pressure : 0 Pa, - Turbulance Intensity : 5 %, - Turbulance Length : 10 m
3	Side dan Top	Free stream	Sysmetry wall
4	Ground	Wall	Moving Wall : Kecepatan 22.5 m/s, 11.7 m/s, dan 5 m/s
5	Mobil dan Undertray	Wall	No slip wall

Dimana sama seperti di *wind tunnel* keadaan *inlet* berupa kecepatan aliran yang sesuai dengan kecepatan aslinya. Sama seperti keadaan *inlet*, keadaan *outlet* yang memiliki *static pressure (gauge)* 0 Pa. Hal ini karena kecepatan mobil masih berada pada daerah *subsonic* yang termasuk jenis aliran *incompressible*. Pada *side* dan *top* menggunakan *sysmetry wall* yang dimana dalam kondisi tersebut kecepatan arah *normal* 0 m/s sehingga tidak ada kecepatan dari samping dan atas mobil. Berbeda dengan *ground* yang dikondisikan dengan *moving wall* dikarenakan efek dari putaran roda. Kecepatan *moving wall* pada *ground* sama dengan kecepatan aliran *inlet*. Pada mobil dan *undertray* dikondisikan sebagai *no slip wall* karena aliran yang mengenai benda *solid*. (Oxyzoglou, 2017)

### 3.4.2 Solver

*Turbulence model* merupakan tahapan pertama dan menunjukkan tingkat akurasi dari *solver* untuk penyelesaian CFD. Hasil simulasi dengan permasalahan yang sama yaitu melihat nilai  $C_l$ , dimana penggunaan *turbulence model* RANS  $k - \omega$  SST didapatkan nilai  $C_l$  yang lebih mendekati nilai eksperimennya dibandingkan dengan RANS  $k - \epsilon$  *Realizable model*. (Sagmo, 2016) *Solver* dalam CFD menggunakan persamaan seperti persamaan *mass convection* dan *turbulence model*: (Versteeg & Malalasekera, 2007)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (3.17)$$



Penelitian ini menggunakan *incompressible flow* dengan  $\rho = \text{constants}$ , maka:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3.18)$$

*Turbulence model* yang digunakan dalam menyelesaikan CFD *undertray* beserta mobilnya menggunakan RANS (*Reynolds-averaged Navier-stokes Equation*). Pada aliran *incompressible flow*, penggunaan RANS dapat mewakili perhitungan aliran *turbulent* dengan keadaan nilai viskositas konstan. Aliran yang memiliki nilai viskositas konstan akan menghasilkan nilai *Reynolds Number* konstan. Dalam persamaan RANS menggunakan *continuity* dan *Navier-stokes Equation* yang diimplementasikan pada koordinat kartesian aliran, sehingga didapatkan:

$$\text{div } \mathbf{u} = 0 \quad (3.19)$$

Dengan menambahkan *turbulent stress* pada kecepatan  $U, V$ , dan  $W$  didapatkan sebagai berikut:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \text{div}(UU) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \text{div}(\text{grad}(U)) + \quad (3.20)$$

$$\frac{1}{\rho} \left[ \frac{\partial(-\rho \overline{u'^2})}{\partial x} + \frac{\partial(-\rho \overline{u'v'})}{\partial y} + \frac{\partial(-\rho \overline{u'w'})}{\partial z} \right]$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \text{div}(VU) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \text{div}(\text{grad}(V)) + \quad (3.21)$$

$$\frac{1}{\rho} \left[ \frac{\partial(-\rho \overline{u'v'})}{\partial x} + \frac{\partial(-\rho \overline{v'^2})}{\partial y} + \frac{\partial(-\rho \overline{u'w'})}{\partial z} \right]$$

$$\frac{\partial W}{\partial t} + \text{div}(WU) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \text{div}(\text{grad}(W)) + \quad (3.22)$$

$$\frac{1}{\rho} \left[ \frac{\partial(-\rho \overline{u'v'})}{\partial x} + \frac{\partial(-\rho \overline{u'v'})}{\partial y} + \frac{\partial(-\rho \overline{w'^2})}{\partial z} \right]$$

Pada RANS dengan menggunakan *turbulence model k - ω SST model* untuk memprediksi terjadinya *turbulent* yang berfokus pada efek mekanik pada *turbulent kinetic energy*. *Kinetic energy k(t)* pada aliran *turbulent* didapatkan dari penjumlahan rata-rata *kinetic energy* dan *turbulent kinetic energy*. *Turbulence model k - ω SST* merupakan penggabungan dari transformasi *k - ε model* ke *k - ω model* untuk *near wall region* dan *k - ε fully turbulence* untuk *far wall*. Persamaan *turbulence model k - ω SST* dapat dideskripsikan sebagai berikut:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \text{div}(\rho k \mathbf{U}) = \quad (3.23)$$

$$\text{div} \left( -\overline{p' \mathbf{u}'} + 2\mu \overline{\mathbf{u}' s'_{ij}} - \rho \frac{1}{2} \overline{u'_i u'_i u'_j} \right) - 2\pi \overline{s'_{ij} s'_{ij}} - \rho \overline{u'_i u'_j} \cdot S_{ij}$$

$$\frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} + \text{div}(\rho \omega \mathbf{U}) = \text{div} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{\omega,1}} \right) \text{grad}(\omega) \right] + \quad (3.24)$$

$$\gamma_2 \left( 2\rho s_{ij} \cdot s_{ij} - \frac{2}{3} \rho \omega \frac{\partial U}{\partial x_j} \delta_{ij} \right) - \beta_2 \rho \omega^2 + 2 \frac{\rho}{\sigma_{\omega,2}} \frac{\partial k}{\partial x_k} \frac{\partial \omega}{\partial x_k}$$

Selain menetapkan *turbulence model*, *solver* juga menentukan nilai *residual* yang berupa verifikasi dalam perhitungan simulasi. Dalam penelitian ini menggunakan nilai *residual*  $< 10^{-4}$  dan menggunakan *checking for convergence*. (ANSYS.Inc, 2013)

### 3.4.3 Post-Processing

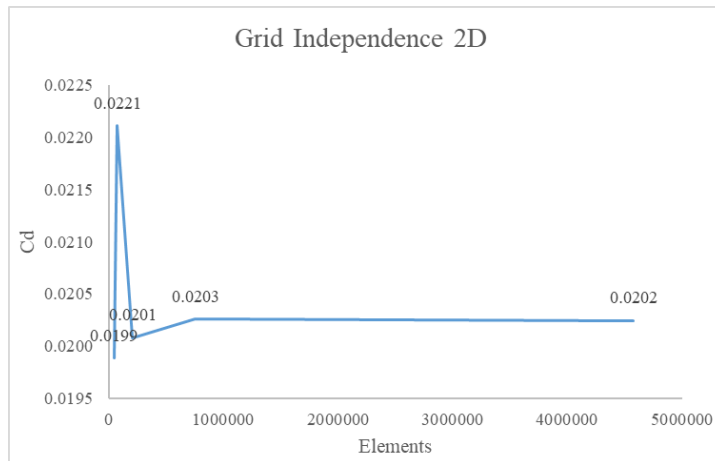
*Post-Processing* merupakan tahapan terakhir dalam simulasi yang mengolah hasil simulasi berupa grafik *velocity*, *pressure*, *coefficient of lift*, dan *coefficient of drag*. Selain menggunakan grafik juga *visualization* pada kontur *velocity*, *temperature*, dan *pressure*.

### 3.4.4 Parameter Meshing

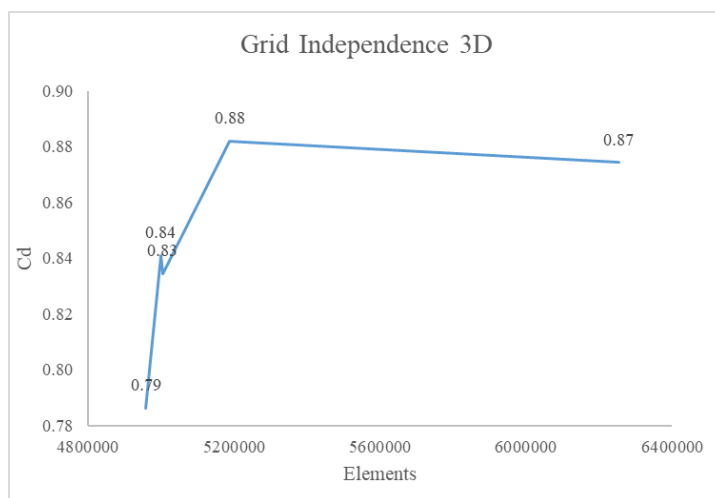
Pada simulasi CFD untuk mengetahui akurasi *meshing* menggunakan *grid independece* untuk membuktikan bahwa *meshing* yang digunakan sudah tepat. Maka dilakukan *grid independence* dengan memperkecil ukuran *mesh* hingga perubahan simulasi mencapai konstan.

**Tabel 3. 6** Hasil *Grid Independence*

Grid Independence 2D			
Nodes	Elements	Cd	Selisih (%)
47368	71624	0.0221	
114694	205607	0.0201	9.20%
389933	754738	0.0203	0.90%
2302942	4576665	0.0202	0.07%
Grid Independence 3D			
Nodes	Elements	Cd	Selisih (%)
1379177	4958471	0.79	
1386847	4998104	0.84	6.96%
1387871	5003554	0.83	0.75%
1422272	5187220	0.88	5.69%
1523671	6253946	0.87	0.88%



**Gambar 3.8** *Grid Independence 2D*



**Gambar 3.9** *Grid Independence 3D*

Gambar 3.8 dan gambar 3.9 menunjukkan hasil *grid independence* fluktuatif. Menggunakan hasil tersebut dipilih *meshing* dengan jumlah *elements* paling sedikit sebelum mengalami penurunan yang diakibatkan penambahan jumlah *elements*. Penggunaan *meshing* tersebut mengurangi waktu *iteration* dan mengurangi beban dari komputasi. Pada 2D menggunakan *elements* berjumlah 205607 dan pada 3D menggunakan *elements* berjumlah 4998104.

### 3.5 Perhitungan *Laptime*

Simulasi CFD mendapatkan nilai *Coeffisient of Drag* ( $C_d$ ) dan *Coeffisient of Lift* ( $C_l$ ) yang selanjutnya dilakukan perhitungan *laptime*. Perhitungan *laptime* untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan selama dilintasi dengan beberapa parameter pada kendaraan. Perhitungan *laptime* menggunakan *software OptimumLap* dengan *basic quasi-steady state vehicle model* untuk menganalisis karakteristik kendaraan dilintasi. *Model quasi-steady state* menggunakan *massa* dari kendaraan sebagai dasar perhitungan, sehingga dapat

menampilkan perubahan kendaraan saat *acceleration*, dan *deceleration* pada *track*. Hasil perhitungan *laptime* memberikan hasil visual yang berasal kondisi kendaraan berdasarkan 3 perhitungan, sebagai berikut: (OptimumG, 2021)

a. Perhitungan kecepatan pada ditikungan

Pada saat ditikungan dipengaruhi gaya *lateral*, untuk mengetahui gaya *lateral* yang dapat diterapkan kendaraan ke *track*, perlu mengetahui koefisien gesekan *lateral* ( $\mu_y$ ) dan beban normal, yang sama dengan gaya traksi saat pengereman, beban normal akan memperhitungkan seluruh berat kendaraan.

$$F_y = \text{Normal Load} \times \mu_y \quad (3.25)$$

$$a = \frac{v^2}{R} \quad (3.26)$$

$$v = \sqrt{\frac{F_y \cdot R}{m}} \quad (3.27)$$

b. Perhitungan kecepatan pada *acceleration*

Pada keadaan *acceleration* dipengaruhi oleh gaya traksi *acceleration* ( $F_s$ ) dan *forcedrag* ( $F_d$ ) mobil. Menentukan gaya traksi *acceleration* ( $F_s$ ) harus mengetahui koefisien gesekan longitudinal ( $\mu_x$ ) dan beban normal. Beban normal tergantung pada jenis penggerak kendaraan dan dalam penelitian ini menggunakan 2WD maka diasumsikan 50% dari berat. *Forcedrag* akan berubah dengan penambahan kecepatan kendaraan. Untuk mengetahui nilai tersebut perlu mengetahui *density* ( $\rho$ ), *coefficient of drag* ( $C_d$ ), *frontal area* ( $A$ ) dan kecepatan kendaraan ( $v$ ).

$$F_s = \text{Engine Driving Force} \times \mu_x \quad (3.28)$$

$$F_d = \frac{1}{2} \rho C_d A v^2 \quad (3.29)$$

$$a = \frac{F_s - F_d}{m} \quad (3.30)$$

$$t = \frac{x - x_0}{v_0} \quad (3.31)$$

$$v = a \times t + v_0 = \left( \frac{F_s - F_d}{m} \right) t + v_0 \quad (3.32)$$

c. Perhitungan kecepatan pada *deceleration*

Pada keadaan *deceleration* dipengaruhi gaya traksi *deceleration* ( $F_t$ ) dan *forcedrag* ( $F_d$ ) mobil. Menentukan gaya traksi *deceleration* ( $F_t$ ) harus mengetahui koefisien gesekan longitudinal ( $\mu_x$ ) dan beban normal. Beban normal

saat pengereman menggunakan 100% dari berat kendaraan. *Forcedrag* akan berubah dengan penurunan kecepatan kendaraan. Untuk mengetahui nilai tersebut perlu mengetahui *density* ( $\rho$ ), *coefficient of drag* ( $C_d$ ), *frontal area* ( $A$ ) dan kecepatan kendaraan ( $v$ ).

$$F_t = \text{Normal Load} \times \mu_x \quad (3.33)$$

$$F_d = \frac{1}{2} \rho C_d A v^2 \quad (3.34)$$

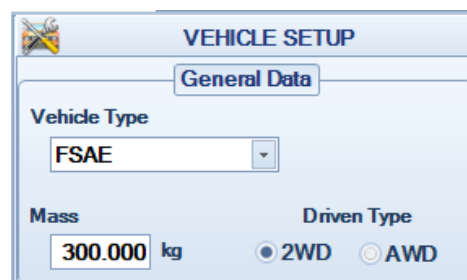
$$a = \frac{F_t - F_d}{m} \quad (3.35)$$

$$t = \frac{x - x_0}{v_0} \quad (3.36)$$

$$v = -a \times t + v_0 = -\left(\frac{F_t - F_d}{m}\right) t + v_0 \quad (3.37)$$

### 3.5.1 Jenis Kendaraan

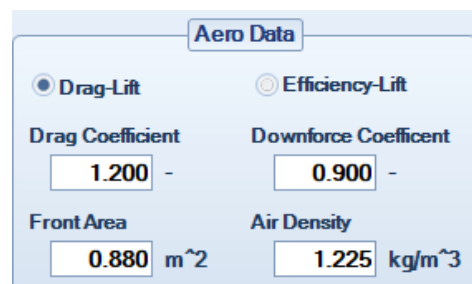
Kendaraan yang digunakan pada mobil Sapuangin *Speed VIII* berjenis FSAE dengan *open wheel*. Pada mobil di desain memiliki massa 300 kg dan memiliki penggerak roda 2 *wheel drive* (2WD).



**Gambar 3. 10** Jenis Kendaraan

### 3.5.2 Data Aerodynamics

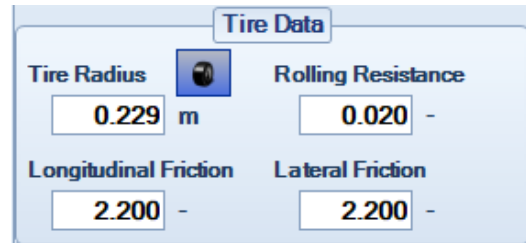
Di dalam perhitungan *OptimumLap* menggunakan parameter *aerodynamics* yang berupa nilai *Coeffisient of Drag* ( $C_d$ ) dan *Coeffisient of Lift* ( $C_l$ ), *frontal area* ( $A$ ), dan *air density* ( $\rho$ ). Menggunakan data dari simulasi 3D *undertray* beserta mobil didapatkan nilai-nilai tersebut dan dimasukkan pada *aero data* di *OptimumLap*.



**Gambar 3. 11** Data Aerodynamics pada Kendaraan

### 3.5.3 Tire Data

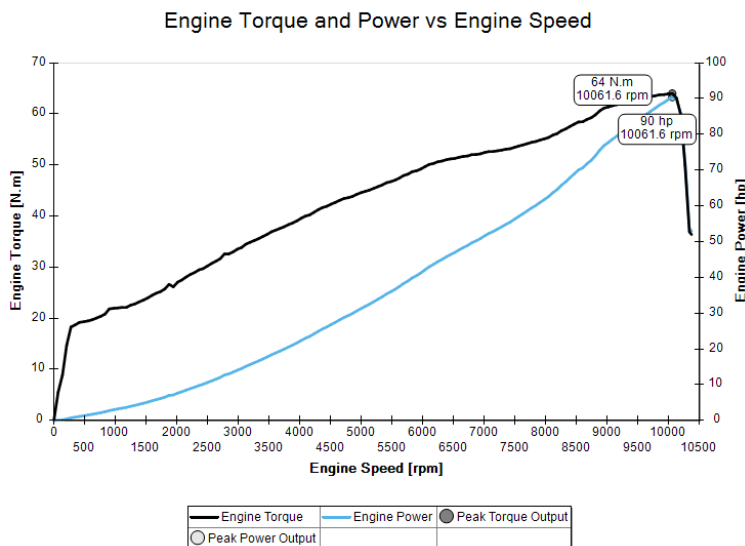
*Tire data* berisi keadaan *tire* yang digunakan pada mobil Sapuangin Speed VIII. Pada kompetisi FSAE Japan mobil menggunakan *tire Hoosier 16.0 x 6.0 10 R25B* yang berjenis *slicks tire*. Dalam tahapan ini, *tire data* memiliki beberapa data yang perlu seperti *tire radius*, *Rolling Resistance*, *Longitudinal Friction*, dan *Lateral Friction*. (OptimumG, 2021)



Gambar 3. 12 Data *Tire* pada Kendaraan

### 3.5.4 Engine Data

Berupa data *engine* yang digunakan pada mobil Sapuangin Speed VIII. Di mobil Sapuangin Speed VIII menggunakan *engine Kawasaki Ninja ZX-6R tahun 2009*. *Engine Kawasaki Ninja ZX-6R* memiliki kapasitas 599 cc dan torsi maksimum 65 N.m pada 10000 rpm. Setelah di *dynotest* pada mobil memiliki torsi maksimum 64 N.m pada 10061.6 rpm. (Kawasaki, 1997)



Gambar 3. 13 Grafik *Torque and Power vs Engine Speed*

*Engine Kawasaki Ninja ZX-6R* menggunakan *sequential gearbox (Gearbox Berurutan)* dengan *6-speed rasio gear*. *Rasio gear* dari *engine Kawasaki Ninja ZX-6R* yaitu  $1^{st} = 2.923$  (38/13),  $2^{nd} = 2.062$  (33/16),  $3^{rd} = 1.631$  (31/19),  $4^{th} = 1.380$  (29/21),  $5^{th} = 1.217$  (28/23), dan  $6^{th} = 1.083$  (26/24). Selain *raiso gear* pada *engine Kawasaki Ninja ZX-6R*, mobil Sapuangin Speed VIII menggunakan *rasio gear* pada *final drive* sebesar 2.666.

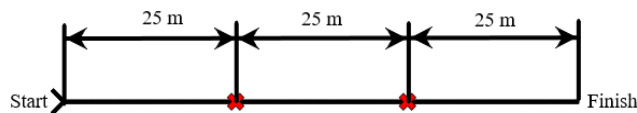
### 3.5.5 Track FSAE Japan

Perlombaan FSAE memiliki *dynamic events* yang mana terdiri dari *acceleration*, *skidpad*, *autocross* dan *endurance*. *Dynamic events* bertujuan untuk mengetahui kemampuan kendaraan di *track* sesuai *global rule* FSAE maupun *local rule* yang berasal dari SAE Japan. (Japan.Inc, 2019)

#### 3.5.5.1 Acceleration

Pada *acceleration* memiliki tujuan untuk mengetahui kecepatan *acceleration* pada garis lurus dengan tidak adanya kenaikan ketinggian. Saat *acceleration* kendaraan harus melewati *track* garis lurus dengan *track* panjang 75 m dan lebar 4.9 m.

Acceleration. Japan

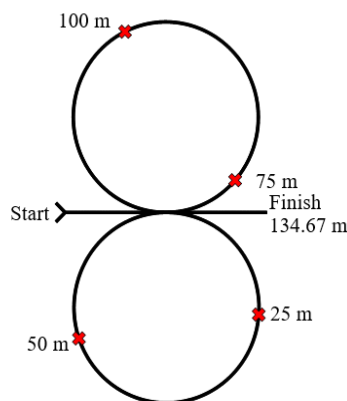


**Gambar 3. 14** Track Acceleration

#### 3.5.5.2 Skidpad

*Track skidpad* memiliki tujuan untuk mengetahui kemampuan kendaraan saat tuingkungan dengan keadaan datar. *Skidpad* terdiri dari dua lingkaran yang membentuk angka 8 dengan titik pusat dari kedua lingkaran sebesar 18.25 m, diameter lingkaran dalam 15.25m, diameter lingkaran luar 21.25 m, dan lebar *track skidpad* sebesar 3 m.

Skidpad, Japan

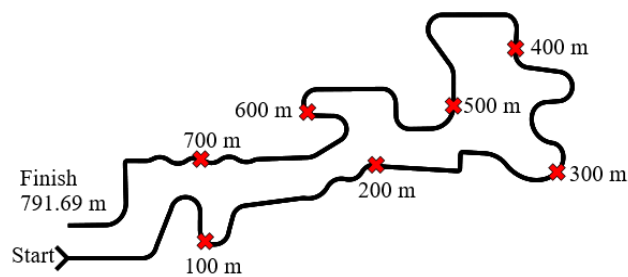


**Gambar 3. 15** Track Skidpad

### 3.5.5.3 Autocross

*Track autocross* bertujuan untuk mengetahui kemampuan manuver dari kendaraan dan kemampuan kendaraan saat melewati *track* yang sempit. *Autocross* terdiri dari *track* lurus tidak lebih dari 60 m dan 45 m, tikungan yang memiliki diameter 23 m sampai 45 m, *slalom* dengan panjang 7.62 m sampai 12.19 m, dengan lebar 3.5 m, dan panjang total tidak lebih dari 0.8 km.

Autocross. Japan

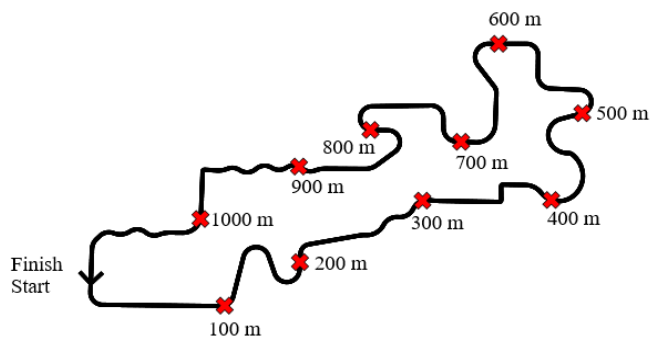


**Gambar 3. 16** *Track Autocross*

### 3.5.5.4 Endurance

*Track endurance* merupakan tahap terakhir dalam *dynamics event* yang bertujuan untuk mengetahui semua performa kendaraan dan menguji ketahanan maupun keandalan kendaraan. *Endurance* terdiri dari *track* lurus tidak lebih dari 77 m dan 61 m, tikungan yang memiliki diameter 23 m sampai 45 m, *slalom* dengan panjang 30 m sampai 54 m, dengan lebar 4.5 m, dan terdiri 20 putaran dengan panjang 22 km atau 1 putaran 1.1 km.

Endurance. Japan



**Gambar 3. 17** *Track Endurance*



## BAB IV

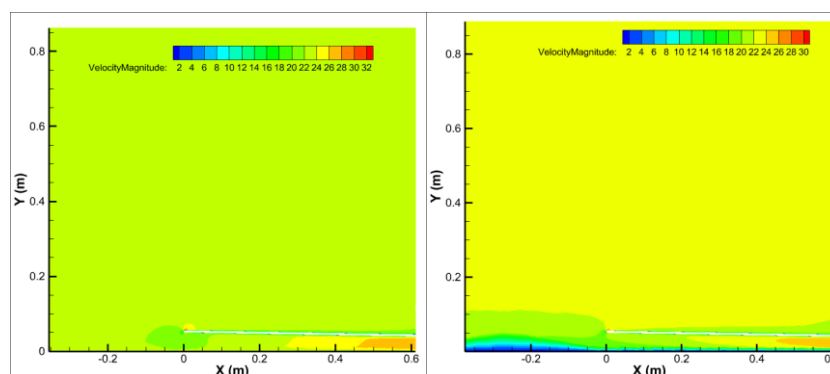
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, dilakukan validasi simulasi dengan membandingkan hasil simulasi dari penelitian sebelumnya. Tingkat *error* dalam CFD yang ditoleransi dengan nilai dibawah 10%. (L, Oberkamp, & Trucano, 2002) Parameter yang digunakan untuk dijadikan acuan pada simulasi yaitu nilai  $C_d$ . Penjelasan pada (Seward, 2014) dalam bukunya dan pada penelitian terkait dengan aerodinamika *formula student* oleh (Oxyzoglou, 2017) memiliki nilai  $C_d$  sebesar 0.7 dan 0,82. Hasil simulasi dan perhitungan *laptime* dapat dilakukan perbandingan dengan eksperimen. Perbandingan hasil simulasi aerodinamika dapat dibandingkan dengan hasil menggunakan *wind tunnel*. Sedangkan perbandingan hasil *laptime* dapat dilakukan dengan *test drive* pada *track acceleration* dan *skidpad* saja. Hal tersebut, dikarenakan *track autocross* dan *endurance* tiap tahun berubah sesuai *local rule* FSAE Japan. (Japan.Inc, 2019)

**Tabel 4. 1** Validasi Hasil

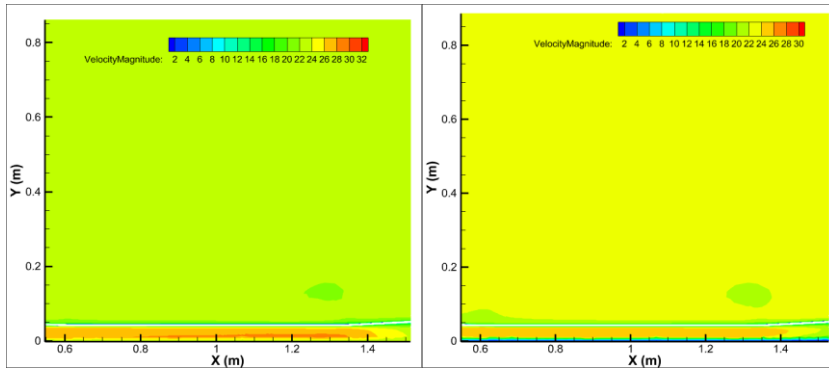
Berdasarkan	Nilai Cd standar	Nilai Cd Simulasi	Selisih
Seward	0.7	0.811	13.69%
Oxyzoglou	0.82		1.11%

Penggunaan kondisi batas pada *ground* yang *moving wall* dan *stationary wall* menghasilkan perbedaan *countur velocity*. Perbedaan yang terjadi karena efek *boundary layer* yang disebabkan oleh *stationary ground*. Pada *moving ground* menghasilkan aliran pada *infuser* lebih *uniform* dibandingkan *stationary ground*. Hal ini menghasilkan  $C_d$  yang lebih besar daripada *moving wall* sebesar 6.4%.



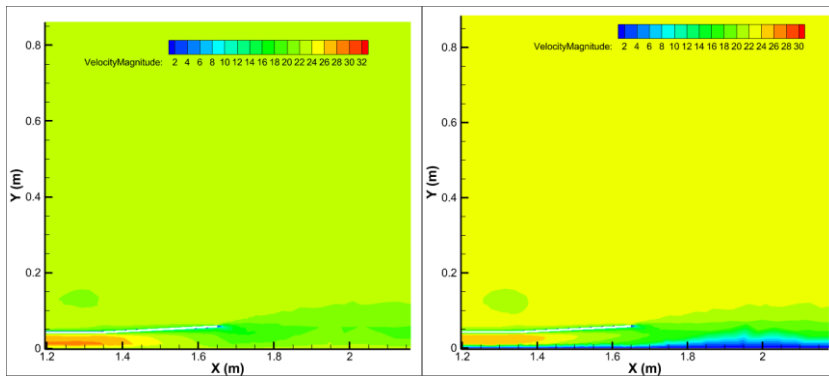
**Gambar 4. 1** *Contour Velocity* pada *Infuser Undertray* Sudut *Inlet* 1° dan Sudut *Diffuser* 3° dengan *Moving Wall* (kiri) dan *Stationary Wall* (kanan)

Pada daerah *throat* menghasilkan *velocity* yang lebih tinggi pada *moving wall*. Hal tersebut menunjukkan bahwa *downforce* dihasilkan lebih tinggi daripada *stationary wall*.



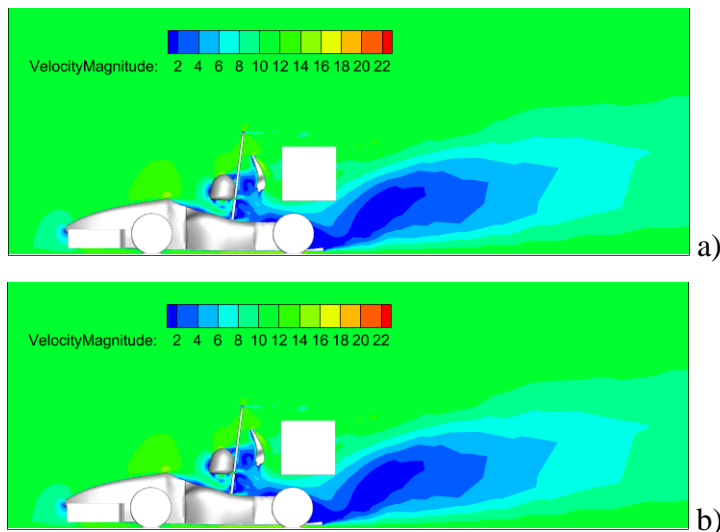
**Gambar 4. 2** *Contour Velocity* pada *Throat Undertray* Sudut *Inlet* 1° dan Sudut *Diffuser* 3° dengan *Moving Wall* (kiri) dan *Stationary Wall* (kanan)

Sama seperti di daerah *infuser*, daerah *diffuser* memiliki perbedaan *velocity* yang disebabkan efek *boundary layer* pada *stationary ground*.



**Gambar 4. 3** *Contour Velocity* pada *Diffuser Undertray* Sudut *Inlet* 1° dan Sudut *Diffuser* 3° dengan *Moving Wall* (kiri) dan *Stationary Wall* (kanan)

Pada 3D terlihat jelas bahwa daerah *wake flow* yang lebih kecil di *moving ground*. *Wake flow* pada *moving ground* segera menyatu dikarenakan tidak adanya efek *boundary layer*. Hal tersebut yang menyebabkan kenaikan *lift*. (Marklund, 2013)



**Gambar 4. 4** *Contour Velocity* pada Mobil Menggunakan *Undertray Separate Fin 1* dengan *Velocity* 11.7 m/s *Moving Wall* (a) dan *Stationary Wall* (b)

Penggunaan *moving wall* pada penelitian ini dikarenakan menghasilkan  $C_d$  dan  $C_l$  yang lebih besar dari pada *stationary wall*. Selain itu juga, *moving wall* mendiskripsikan keadaan mobil ketika jalan di *track* dimana memiliki putaran pada *tire* yang besarnya sama dengan kecepatan mobil. (Oxyzoglou, 2017)

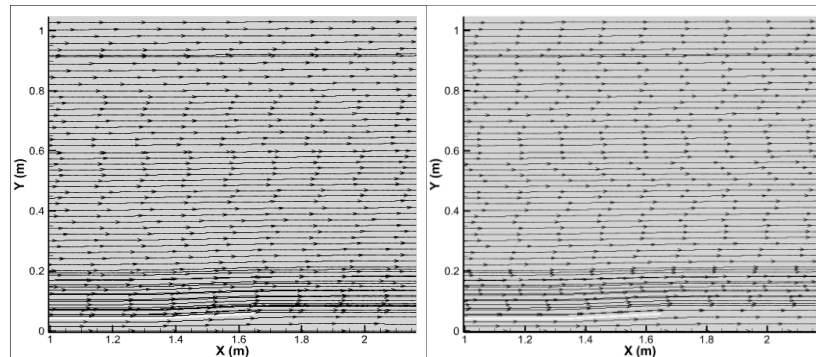
**Tabel 4. 2** Perbedaan Kondisi *Ground*

Perbedaan Kondisi Ground							
Kondisi	Ground	A (m <sup>2</sup> )	Cd (Coefficient of Drag)	Cl (Coefficient of Lift)	Cm (Coefficient of Moment)	C/Cd	Selisih
Undertray dengan Sudut Inlet 1 dan Sudut Diffuser 3	Moving Wall	0.03	0.022	-0.800	-	35.861	-
	Stationary Wall	0.03	0.021	-0.718	-	34.384	6.4%
Mobil Menggunakan Undertray Separate Fin 1	Moving Wall	1.12	0.808	-1.415	-2.935	1.751	-
	Stationary Wall	1.12	0.767	-1.202	-2.935	1.567	5.1%

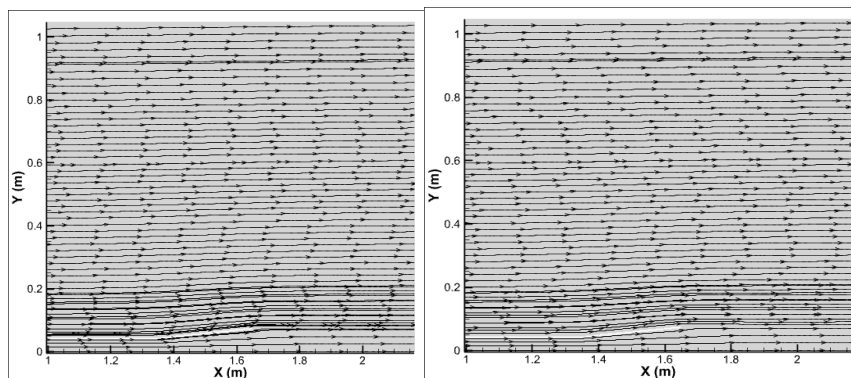
#### 4.1 Analisis *Goemetry Undertray 2D*

##### 4.1.1 Aliran yang melalui *Undertray 2D*

Aliran yang melalui *undertray* sangat dipengaruhi oleh besarnya sudut *diffuser*. Hal tersebut dikarenakan perbedaan *velocity* dan *pressure* yang melewati daerah *throat* menuju daerah *diffuser*.

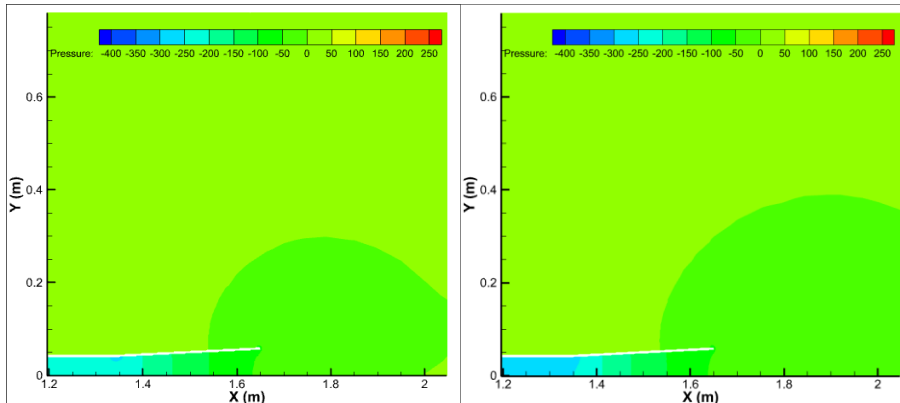


**Gambar 4. 5** Aliran yang Melalui *Diffuser Undertray* pada Sudut *Inlet 1°* (kiri) dan *1.5°* (kanan) dengan Sudut *Diffuser 3°*

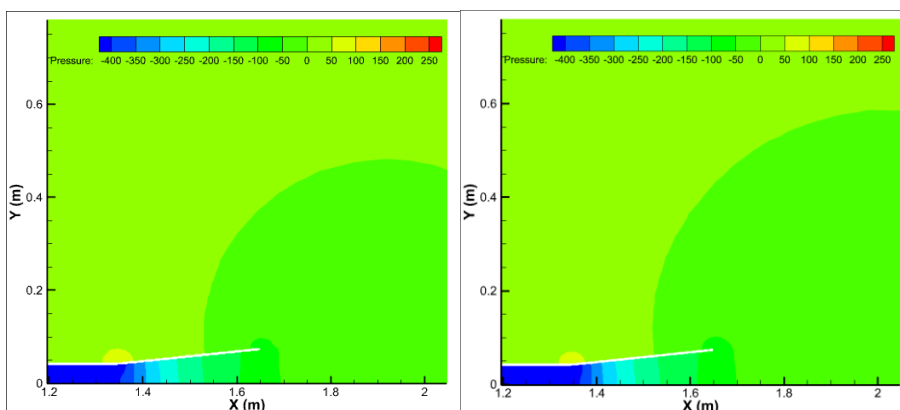


**Gambar 4. 6** Aliran yang Melalui *Diffuser Undertray* pada Sudut *Inlet 1°* (kiri) dan *1.5°* (kanan) dengan Sudut *Diffuser 6°*

Pola aliran yang melalui *diffuser undertray* menunjukkan *streamline* antara dibawah dan diatas *undertray* menunjukkan perbedaan *velocity* dan *pressure* yang tidak begitu besar pada gambar 4.5 dan 4.6. Akan tetapi, pada *contour pressure* menunjukkan perbedaan *pressure* antara bawah dan atas *undertray*.



**Gambar 4. 7** *Contour Pressure Diffuser Undertray* pada Sudut *Inlet*  $1^\circ$  (kiri) dan  $1.5^\circ$  (kanan) dengan Sudut *Diffuser*  $3^\circ$

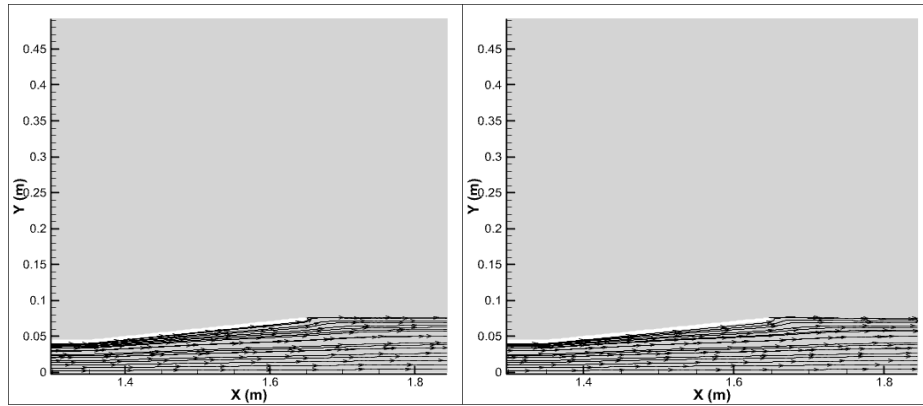


**Gambar 4. 8** *Contour Pressure Diffuser Undertray* pada Sudut *Inlet*  $1^\circ$  (kiri) dan  $1.5^\circ$  (kanan) dengan Sudut *Diffuser*  $6^\circ$

Pressure melalui daerah *throat* lebih rendah, hal tersebut menunjukkan semakin besar perbedaan *pressure* antara diatas dan dibawah *undertray*. Perbedaan *pressure* yang semakin besar menunjukkan bahwa semakin besar *downforce* yang dihasilkan. Sejalan dengan konsep hukum *Bernoulli* dimana daerah *throat* memiliki *velocity* tinggi akan tetapi memiliki *pressure* rendah. Hal tersebut disebabkan aliran melalui *throat* menuju *diffuser* mengalami penurunan *velocity* sangat cepat dengan bertambah besar sudut *diffuser*. (Çengel & Cimbala, 2014)

#### 4.1.2 *Seperation Flow* pada *Undertray* 2D

Pada *undertray* 2D menghasilkan perbedaan *separation flow* dari tiap variasi sudut *diffuser*. Perbedaan *separation flow* tersebut dipengaruhi oleh *separation point* yang berbeda tiap *geometry undertray*.



**Gambar 4. 9** Separation flow Diffuser Undertray pada Sudut Inlet 1° (kiri) dan 1.5° (kanan) dengan Sudut Diffuser 6°

Separation flow yang terbentuk pada undertray memiliki karakteristik berbeda, akan tetapi dapat diambil kesimpulan bahwa dengan bertambahnya sudut diffuser semakin besar separation flow. Namun, pada geometry undertray dengan sudut diffuser 6° tidak terjadinya separation flow dan memiliki aliran yang streamline. Hal tersebut menunjukkan nilai pressure drag pada geometry undertray sudut diffuser 6° tidak terjadi. Sedangkan pada sudut diffuser 3° terjadi separation flow kecil yang disebabkan karena perbedaan dari velocity yang kecil antara permukaan atas dan bawah. Berbeda dengan sudut diffuser 9° sampai 27° yang memiliki separation separation flow yang besar. Hal tersebut menunjukkan perbedaan velocity antara permukaan atas dan bawah undertray semakin besar. (Çengel & Cimbala, 2014)

#### 4.1.3 Nilai $C_l$ (Coefficient of Lift) dan $C_d$ (Coefficeint of Drag)

Selain aliran pada undertray dan separation flow, parameter yang digunakan dalam menentukan geometry undertray yang tepat menggunakan nilai  $C_l$  dan  $C_d$ .

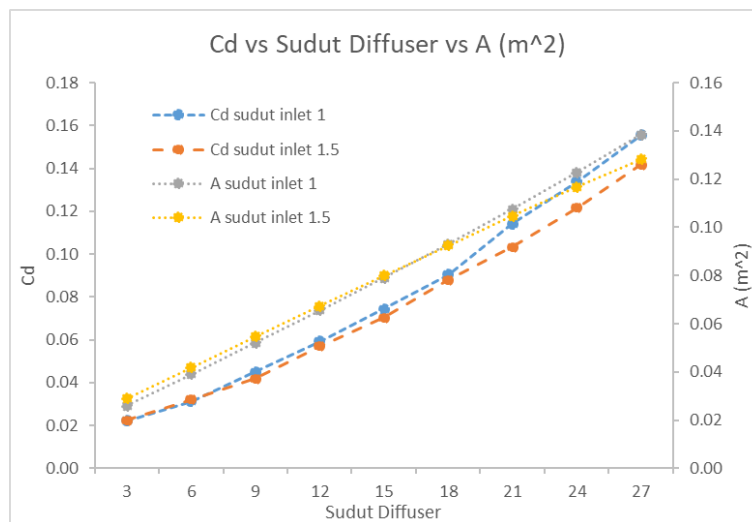
**Tabel 4. 3** Nilai  $C_l$  dan  $C_d$  pada Sudut Inlet 1°

Geometry Undertray 2D				
Sudut Inlet 1				
Sudut Diffuser	A (m <sup>2</sup> )	Cd	Cl	Cl/Cd
3	0.03	0.022	-0.800	35.86
6	0.04	0.031	-1.594	50.95
9	0.05	0.045	-1.933	42.90
12	0.07	0.059	-2.057	34.68
15	0.08	0.074	-1.931	25.99
18	0.09	0.091	-1.891	20.88
21	0.11	0.114	-2.003	17.53
24	0.12	0.134	-2.027	15.14
27	0.14	0.155	-2.051	13.19

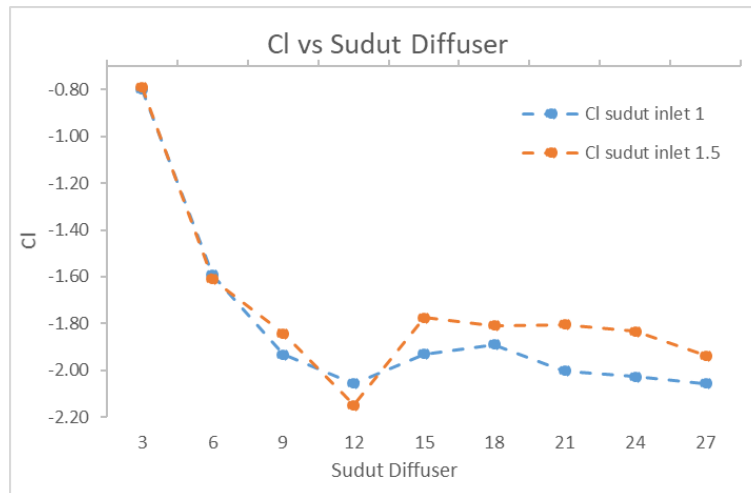
**Tabel 4. 4** Nilai  $C_l$  dan  $C_d$  pada Sudut *Inlet* 1.5°

Geometry Undertray 2D				
Sudut Inlet 1.5				
Sudut Diffuser	A (m <sup>2</sup> )	Cd	Cl	Cl/Cd
3	0.03	0.022	-0.792	35.45
6	0.04	0.032	-1.611	50.00
9	0.05	0.042	-1.842	44.11
12	0.07	0.057	-2.150	37.73
15	0.08	0.070	-1.774	25.22
18	0.09	0.088	-1.808	20.56
21	0.10	0.103	-1.805	17.47
24	0.12	0.122	-1.834	15.07
27	0.13	0.142	-1.937	13.66

Berdasarkan tabel 4.3 dan tabel 4.4 didapatkan nilai  $C_d$  *undertray* pada sudut *inlet* 1° dan 1.5° mengalami kenaikan seiring dengan semakin besar sudut *diffuser*. Kenaikan nilai  $C_d$  berdasarkan sudut *diffuser* yang diakibatkan bertambah *frontal area* (A) *undertray* yang dilalui oleh fluida.

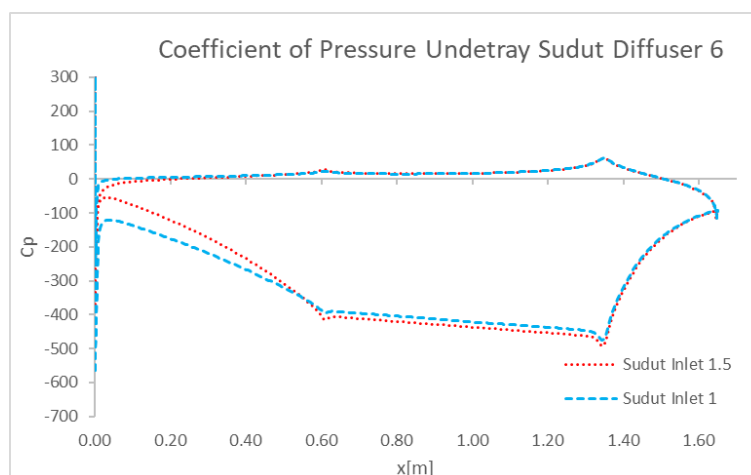
**Gambar 4. 10** Grafik Nilai  $C_d$  Terhadap Sudut *Diffuser*

Sedangkan nilai  $C_l$  tidak seperti nilai  $C_d$  semakin bertambah ketika bertambahnya *frontal area*, akan tetapi nilai  $C_l$  bertambah ketika perbedaan dari *velocity* aliran yang melewati atas dan daerah *throat* pada *undertray* semakin besar. Kondisi *velocity* yang tinggi melewati *throat* menandakan *pressure* rendah, hasil perbedaan *pressure* yang melalui atas *undertray* dan bawah *undertray* mengakibatkan  $C_l$  membesar.



**Gambar 4.11** Grafik Nilai  $C_l$  terhadap Sudut *Diffuser*

Dapat dilihat dari tabel 4.3 dan tabel 4.4, menunjukkan pada *geometry undertray* sudut *inlet*  $1^\circ$  yang memiliki nilai  $C_l$  paling besar yaitu pada sudut *diffuser*  $12^\circ$ . Sedangkan pada sudut *inlet*  $1,5^\circ$  yang memiliki nilai  $C_l$  paling besar yaitu pada sudut *diffuser*  $12^\circ$ . Akan tetapi nilai  $C_l$  yang besar tidak menunjukkan *undertray* tersebut terbaik, dengan menggunakan rasio nilai  $C_l$  dan  $C_d$  untuk menentukan *undertray* yang digunakan. Pada tabel 4.3 dan tabel 4.4 didapatkan rasio  $C_l$  dan  $C_d$  yang besar pada sudut *inlet*  $1^\circ$  dengan sudut *diffuser*  $6^\circ$ . Sama halnya pada *undertray* menggunakan sudut *inlet*  $1,5^\circ$  memiliki nilai rasio  $C_l$  dan  $C_d$  besar pada sudut *diffuser*  $6^\circ$ . Berdasarkan nilai rasio  $C_l$  dan  $C_d$  antara sudut *inlet*  $1^\circ$  dengan sudut *diffuser*  $6^\circ$  dan sudut *inlet*  $1,5^\circ$  dengan sudut *diffuser*  $6^\circ$  didapatkan nilai rasio lebih besar pada *inlet*  $1^\circ$  dengan sudut *diffuser*  $6^\circ$ .



**Gambar 4.12** *Coefficient of Pressure* pada *Undertray* Sudut *Diffuser*  $6^\circ$

Hal tersebut diperkuat dengan hasil *coefficient of pressure* yang terjadi pada sudut *inlet*  $1^\circ$  memiliki *pressure* yang lebih rendah pada daerah *inlet (infuser)* yang membantu distribusi *pressure* lebih merata. Sehingga membantu kestabilan *oversteer* ataupun *understeer* mobil disegala *velocity*. (Seward, 2014) Sehingga dalam pengembangan

*undertray* secara 3D pada mobil Sapuaringin *Speed VIII* menggunakan *undertray* sudut *inlet*  $1^\circ$  dengan sudut *diffuser*  $6^\circ$ .

#### 4.2 Analisis Goemetry Undertray 3D dengan Mobilnya

Pada 2D didapatkan *geometry undertray* dengan sudut *inlet*  $1^\circ$  dengan sudut *diffuser*  $6^\circ$  yang memiliki rasio  $C_l$  dan  $C_d$  paling besar. Menggunakan *geometry* tersebut, dikembangkan secara 3D menggunakan *separate fin* untuk mengarahkan aliran menuju *diffuser*. (Oxyzoglou, 2017)

**Tabel 4. 5** Nilai  $C_l$  dan  $C_d$  Berdasarkan Jumlah *Fin* pada Kecepatan 22.5 m/s

Hasil Kecepatan 22.5 m/s					
Mobil Menggunakan Undertray	A (m <sup>2</sup> )	Cd (Coefficient of Drag)	Cl (Coefficient of Lift)	Cm (Coefficient of Moment)	Cl/Cd
Separate Fin 1	1.12	0.811	-1.377	-2.855	1.698
Separate Fin 2	1.12	0.804	-1.370	-2.861	1.703
Separate Fin 3	1.12	0.830	-1.334	-2.824	1.608
Separate Fin 4	1.12	0.807	-1.244	-2.634	1.542
Separate Fin 5	1.12	0.826	-1.245	-2.667	1.507

**Tabel 4. 6** Nilai  $C_l$  dan  $C_d$  Berdasarkan Jumlah *Fin* pada Kecepatan 11.7 m/s

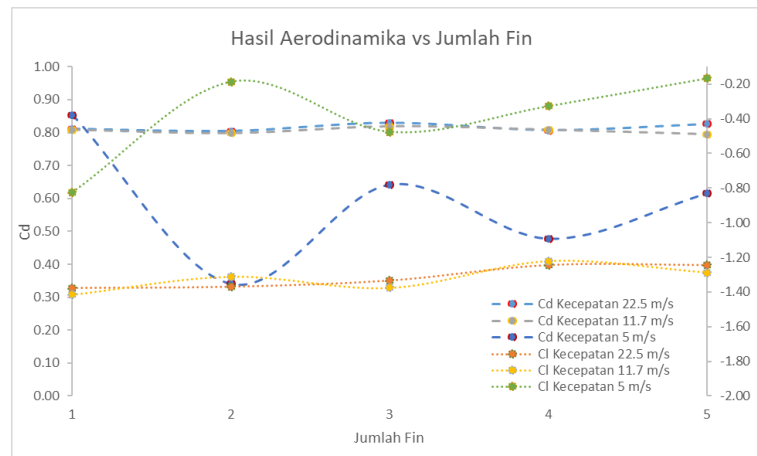
Hasil Kecepatan 11.7 m/s					
Mobil Menggunakan Undertray	A (m <sup>2</sup> )	Cd (Coefficient of Drag)	Cl (Coefficient of Lift)	Cm (Coefficient of Moment)	Cl/Cd
Separate Fin 1	1.12	0.808	-1.415	-2.935	1.751
Separate Fin 2	1.12	0.798	-1.311	-2.747	1.642
Separate Fin 3	1.12	0.819	-1.376	-2.903	1.681
Separate Fin 4	1.12	0.808	-1.222	-2.624	1.511
Separate Fin 5	1.12	0.795	-1.287	-2.723	1.619

**Tabel 4. 7** Nilai  $C_l$  dan  $C_d$  Berdasarkan Jumlah *Fin* pada Kecepatan 5 m/s

Hasil Kecepatan 5 m/s					
Mobil Menggunakan Undertray	A (m <sup>2</sup> )	Cd (Coefficient of Drag)	Cl (Coefficient of Lift)	Cm (Coefficient of Moment)	Cl/Cd
Separate Fin 1	1.12	0.854	-0.825	-1.947	0.966
Separate Fin 2	1.12	0.341	-0.186	-0.421	0.546
Separate Fin 3	1.12	0.642	-0.476	-0.802	0.741
Separate Fin 4	1.12	0.478	-0.327	-0.940	0.685
Separate Fin 5	1.12	0.615	-0.167	-0.699	0.271

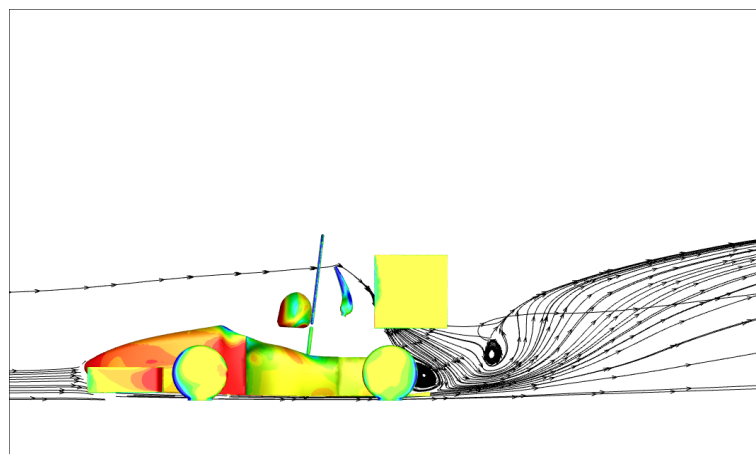


Hasil dari variasi kecepatan pada kendaraan, menggunakan *separate fin 1* didapatkan bahwa nilai  $C_l$  paling tinggi pada kecepatan 22,5 m/s. Sedangkan pada kecepatan 11.7 m/s didapatkan nilai  $C_l$  paling tinggi pada *separate fin 1*. Penggunaan pada kecepatan 5 m/s didapatkan nilai  $C_l$  paling tinggi pada *separate fin 1*. Sedangkan hasil  $C_d$  paling besar pada kecepatan 22.5 m/s menggunakan *separate fin 3*, sedangkan pada kecepatan 11.7 m/s menggunakan *separate fin 3*, dan pada kecepatan 5 m/s menggunakan *separate fin 1*.



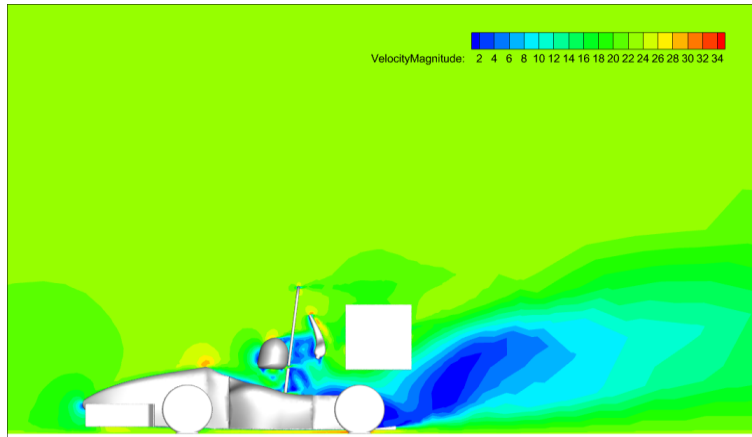
**Gambar 4. 13** Hasil Aerodinamika tiap kecepatan vs Jumlah *Fin*

Menggunakan rasio nilai  $C_l$  dan  $C_d$  pada kecepatan 22.5 m/s didapatkan nilai paling besar pada *undertray fin 2*. Pada *undertray fin 2* didapatkan *streamline* membentuk *separation flow* pada bagian belakang mobil. Hal tersebut menunjukkan *forcedrag* yang dihasilkan oleh *undertray fin 2*. (Nath, Pujari, Jain, & Rastogi, 2021)



**Gambar 4. 14** *Streamline* pada *Undertray fin 2*

Terlihat *wake region* tertunda dibelakang mobil yang menunjukkan *separation flow* terjadi. *Separation flow* tersebut menimbulkan *wake* yang mengecil daerah *forcedrag* menunjukkan kecil *turbulence* yang terjadi sebanding dengan kecilnya *drag*.



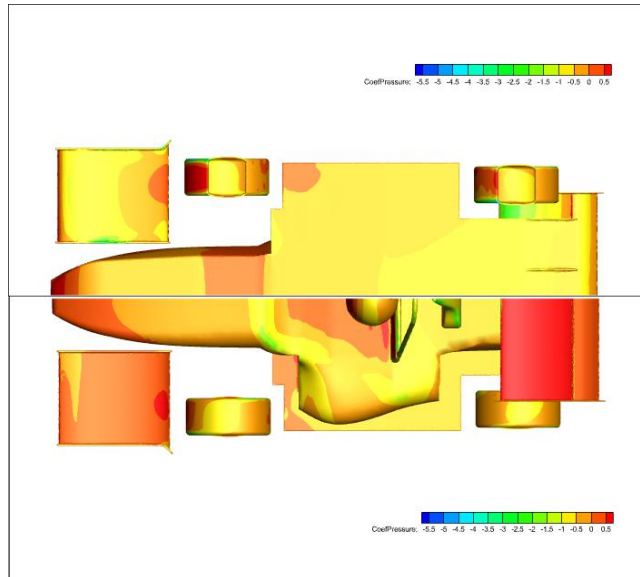
**Gambar 4. 15** *Countur Velocity Separate Fin 2*

Pada gambar 4.15 terlihat jelas bahwa area *separation flow* dibelakang yang menunjukkan *forcedrag* dengan ditunjukkan area berwarna biru. Akan tetapi pada *undertray fin 2* tersebut memiliki *pressure* diatas yang lebih besar dari pada bagian bawah mobil.



**Gambar 4. 16** *Countur Pressure Undertray Separate Fin 2*

Terlihat jelas *pressure* pada bagian bawah mobil lebih kecil daripada atas mobil, hal tersebut menunjukkan bahwa *downforce* dihasil oleh *undertray*. Perbedaan *pressure* tersebut menunjukkan kecepatan pada daerah *throat* yang tinggi. Merupakan tujuan penggunaan *undertay* pada kendaraan untuk menghasilkan *velocity* pada bagian bawah mobil lebih cepat menuju *diffuser* dan menghasilkan perbedaan pada *pressure*.



**Gambar 4. 17** *Coeffient of Pressure* Bawah Mobil (Atas) dan Atas Mobil (Bawah)

Pada gambar 4.17 menunjukkan bahwa *coefficient of pressure* pada bagian bawah mobil didominasi *pressure* dibawah 0 Pa, sedangkan pada bagian atas mobil didominasi *pressure* diatas 0 Pa. Menggunakan *coefficient of pressure* dapat dilihat perbedaan *pressure* yang menghasilkan  $C_l$  yang tinggi sehingga menghasilkan *downforce* yang besar untuk membantu *grip* ban pada *track*.

### 4.3 Analisis *Laptime*

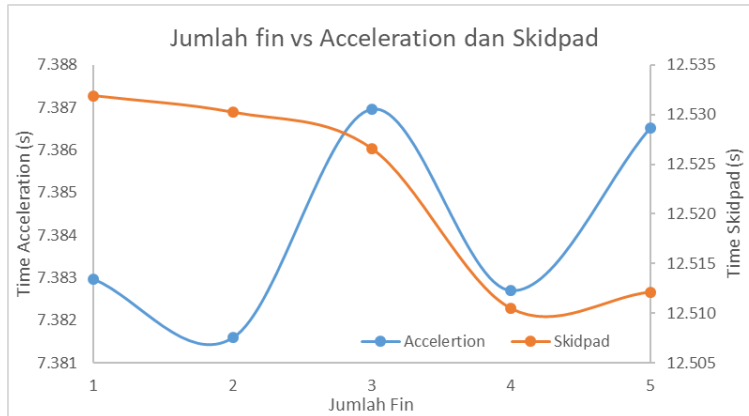
Menggunakan data *undertay 3D* beserta mobil yang berupa  $C_l$  dan  $C_d$  pada kecepatan 22.5 m/s dilakukan perhitungan *laptime* untuk mengetahui performa mobil saat di *track*. Pada *undertray* menggunakan *separate fin 2* pada *track acceleration* didapatkan *laptime* yang paling cepat diantara lainnya. Sedangkan pada *track skidpad*, *autocross* dan *endurance* didapatkan *laptime* paling cepat menggunakan *separate fin 4*.

**Tabel 4. 8** Hasil Perhitungan *Laptime*

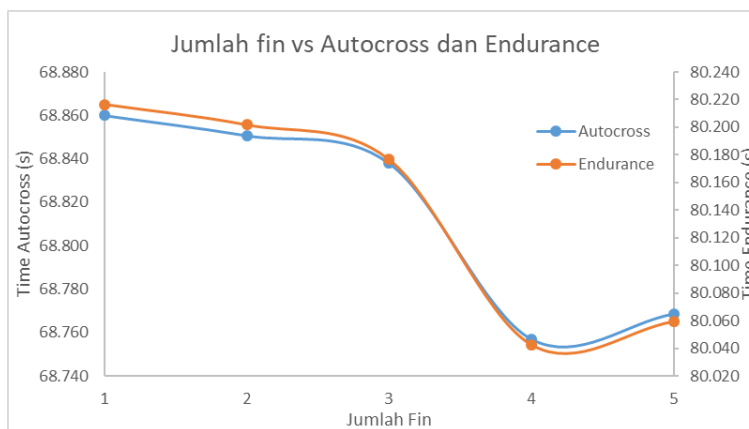
Hasil Lap Time				
Mobil Menggunakan Undertray	Acceleration (s)	Skidpad (s)	Autocross (s)	Endurance (s)
Separate Fin 1	7.383	12.532	68.860	80.216
Separate Fin 2	7.382	12.530	68.851	80.202
Separate Fin 3	7.387	12.527	68.838	80.177
Separate Fin 4	7.383	12.510	68.757	80.043
Separate Fin 5	7.387	12.512	68.769	80.059

Hal tersebut bisa terjadi disebabkan nilai  $C_d$  sebesar 0.804 yang menyebabkan *forcedrag* yang dialami kendaraan lebih kecil daripada *undertray* menggunakan *fin 1*, 3, 4, dan 5 membuat semakin cepat bergerak. Akan tetapi saat *track* yang ada tikungan

memerlukan *velocity* yang stabil terhadap radius track. Hal tersebut meningkatkan kemampuan saat ditikungan yang memerlukan traksi untuk mencapai *laptime* cepat. Hal tersebut yang membuat *laptime* lebih cepat dibandingkan menggunakan *separate fin 1, 2, 3, dan 5*. (Agiwal, Lakhani, & Bulsara, September, 2017)



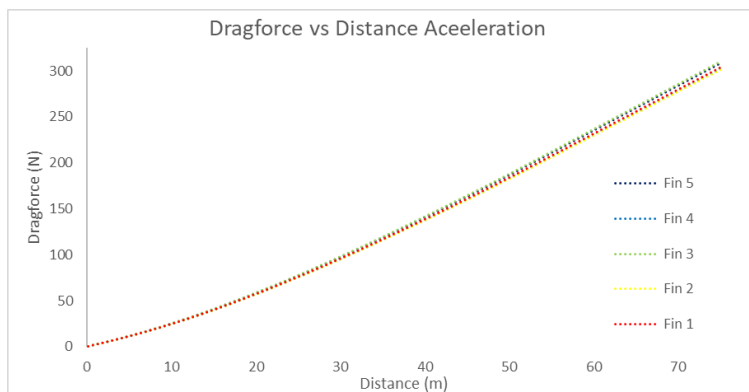
**Gambar 4. 18** Jumlah *Fin* vs *Acceleration* dan *Skidpad*



**Gambar 4. 19** Jumlah *Fin* vs *Autocross* dan *Endurance*

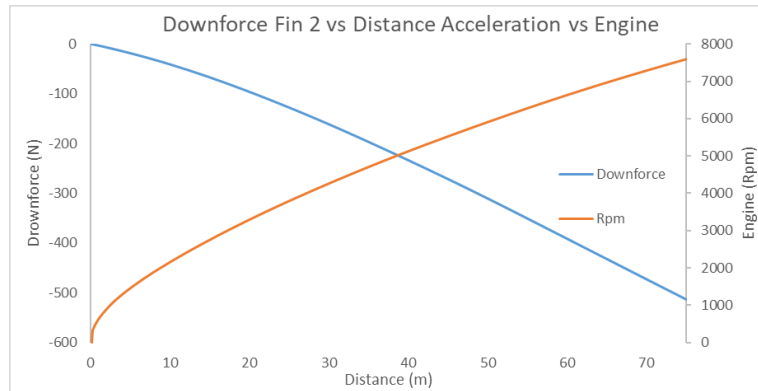
**4.3.1 Acceleration**

*Track acceleration* memiliki panjang lurus 75 m. Dalam *track* ini memerlukan *dragforce* yang kecil agar hambatan udara melalui kendaraan tidak besar. Hal tersebut mengakibatkan tenaga *engine* bisa ditransferkan keputaran ban lebih besar.



**Gambar 4. 20** *Dragforce* saat *Track Acceleration*

Pada gambar 4.20 menunjukkan *dragforce* yang dihasilkan *undertray fin 2* lebih kecil daripada *undertray fin 1, 3, 4, dan 5* disepanjang track. Hal tersebut diperkuat dengan *downforce* yang dihasilkan *undertray fin 2* dengan *engine (Rpm)*. Menunjukkan *downforce* terhadap *distance* mengalami peningkatan. *Engine (Rpm)* mengalami kenaikan bersamaan naiknya *downforce*.



**Gambar 4. 21** *Downforce Undertray Fin 2 terhadap Engine (Rpm)*

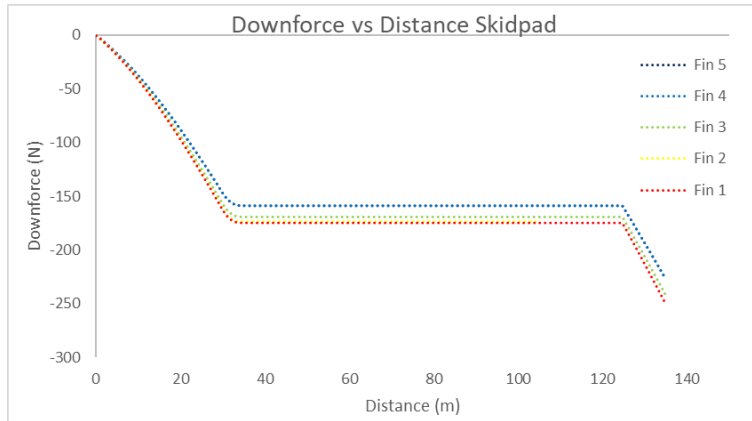
*Downforce* yang kecil memberikan keuntungan ketika *engine (Rpm)* mengalami kenaikan *velocity* kendaraan semakin cepat dan memendekkan waktu tempuh. Hal tersebut bisa terjadi karena saat *acceleration* yang dibutuhkan *forcedrag* yang kecil bukan *downforce* yang besar. Sehingga performa mobil menggunakan *undertay fin 2* didapatkan waktu menempuh *track acceleration* sebesar 7.382 s.



**Gambar 4. 22** *Time Acceeleration menggunakan Undertray Fin 2*

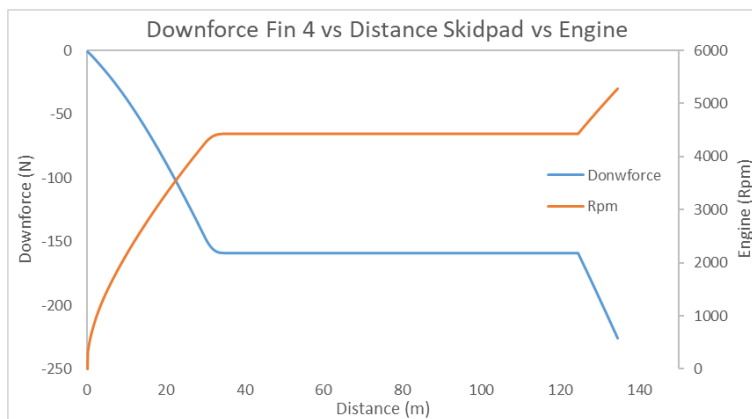
### 4.3.2 Skidpad

*Track skidpad* bertujuan untuk mengetahui performa mobil pada saat tikungan konstan. Mobil ditikungan memerlukan *downforce* yang besar untuk menjaga kestabilan mobil. *Track skidpad* memerlukan *velocity* tinggi saat tirkungan, hal tersebut bisa tercapai dengan menggunakan *undertray fin 1*. *Undertray fin 1* memiliki *downforce* yang paling besar diantara *fin 2, 3, 4, dan 5*.



**Gambar 4. 23** *Downforce vs Distance Skidpad*

Penggunaan *undertray fin 1* kurang cepat dibandingkan dengan menggunakan *undertray fin 4*. Hal tersebut bisa terjadi karena pengaruh  $C_m$  yang kecil. Kendaraan dalam track tidak hanya perlu  $C_l$  yang besar akan tetapi juga memerlukan  $C_m$  yang kecil untuk kestabilan. Dapat mendukung kinerja *engine (Rpm)* untuk lebih tinggi saat ditikungan yang menyebabkan *velocity* pada tikungan semakin tinggi.



**Gambar 4. 24** *Downforce Undertay Fin 4 vs Engine (Rpm)*

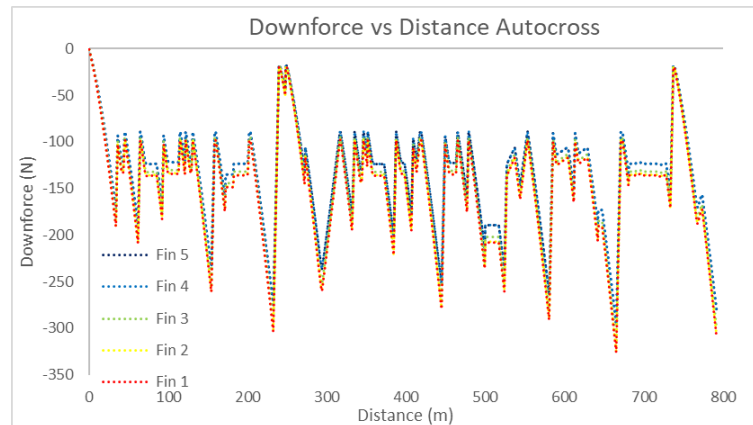


**Gambar 4. 25** *Velocity saat Skidpad*

Menggunakan *undertray fin 5* didapatkan *velocity* pada tikungan sebesar 13.205 m/s.

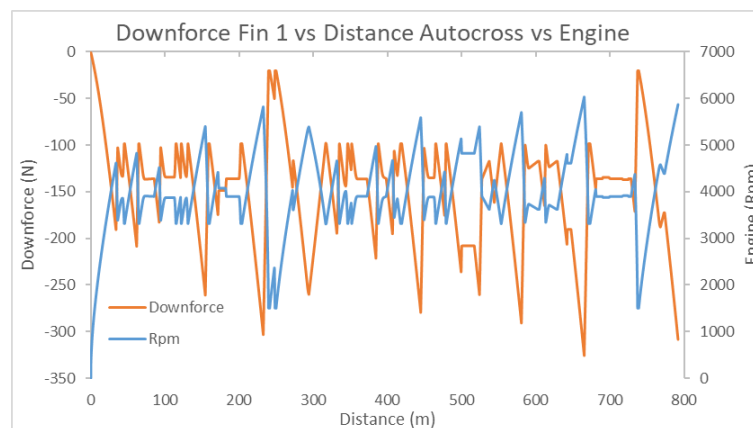
### 4.3.3 Autocross

Pada *track autocross* bertujuan untuk menunjukkan performa mobil saat *acceleration*, *deceleration*, dan kestabilan saat tikungan radius kecil maupun besar. Menggunakan *undertray fin 1* menghasilkan *downforce* paling besar sepanjang *track autocross* dikarenakan  $C_l$  sebesar -1.377.



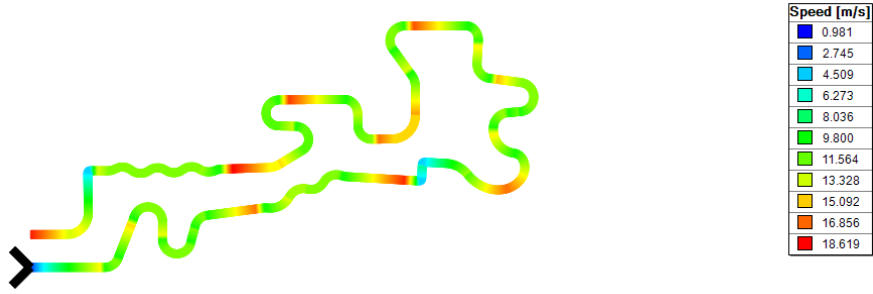
**Gambar 4. 26** *Downforce vs Distance Autocross*

*Undertray fin 1* menghasilkan *deceleration* lebih baik dibandingkan *undertray fin 2*, 3, 4, dan 5, hal tersebut disebabkan pada *deceleration* memerlukan  $C_l$  yang besar untuk membantu *grip* ban pada *track*.



**Gambar 4. 27** *Downforce Undertray Fin 1 vs Engine (Rpm)*

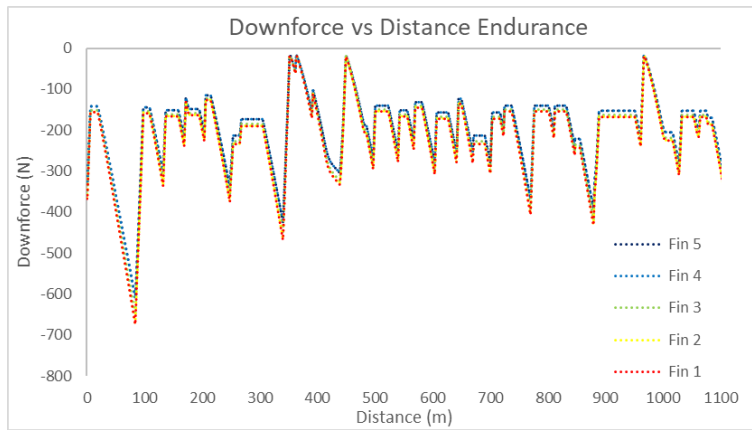
Penggunaan *undertray fin 1* kurang cepat dibandingkan dengan menggunakan *undertray fin 4*. Hal tersebut bisa terjadi karena pengaruh  $C_m$  yang kecil. Kendaraan dalam *track* tidak hanya perlu  $C_l$  yang besar akan tetapi juga memerlukan  $C_m$  yang kecil untuk kestabilan membantu *acceleration* dan *deceleration* pada *track autocross*. Dapat dilihat pada kontur kecepatan pada *acceleration* dan *deceleration* dengan warna orange memiliki kecepatan 15.092 m/s.



**Gambar 4. 28** Velocity saat Autocross

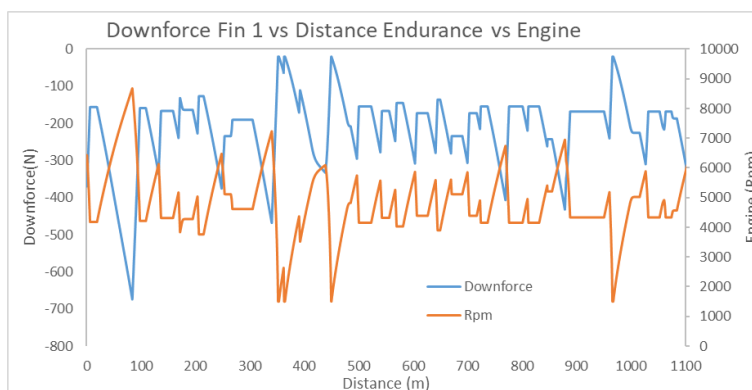
**4.3.4 Endurance**

Pada *track endurance* bertujuan untuk mengetahui *reability* dan kestabilan mobil saat di *track*. Menggunakan *undertray fin 1* menghasilkan *downforce* paling besar diantara *undertray fin 2, 3, 4, dan 5* sepanjang *track endurance*.



**Gambar 4. 29** Downforce vs Distance Endurance

Sama seperti *track autocross*, *track endurance* memerlukan *acceleration* dan *deceleration*. Performa untuk *acceleration* dan *deceleration* dipengaruhi dengan  $C_l$  yang besar yang menyebabkan *grip* pada ban semakin besar.

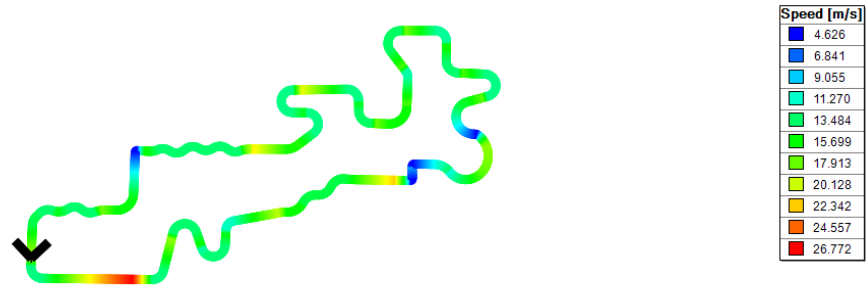


**Gambar 4. 30** Downforce Undertray Fin 1 vs Distance Endurance

Pada gambar diatas *engine (Rpm)* mengalami kenaikan dan penurunan yang mendiskripsiakan terjadinya *acceleration* dan *deceleration* pada mobil dengan *downforce* juga mengalami kenaikan dan penurunan. Sehingga pengaruh penggunaan *undertray fin 1*



dapat membantu performa mobil dengan menghasilkan *grip* pada ban. Akan tetapi penggunaan *undertray fin 1* kurang cepat dibandingkan dengan menggunakan *undertray fin 4*. Hal tersebut bisa terjadi karena pengaruh  $C_m$  yang kecil. Kendaraan dalam *track* tidak hanya perlu  $C_l$  yang besar akan tetapi juga memerlukan  $C_m$  yang kecil untuk kestabilan membantu *acceleration* dan *deceleration* pada *track autocross*. Dapat dilihat pada kontur kecepatan pada *acceleration* dan *deceleration* dengan warna orange memiliki kecepatan 22.342 m/s.



**Gambar 4. 31** *Velocity* saat Endurance

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dalam penelitian memberikan beberapa kesimpulan yang bisa diambil sebagai berikut:

- A. Pada *undertray* 2D didapatkan rasio  $C_l$  dan  $C_d$  tertinggi menggunakan sudut *inlet*  $1^\circ$  dengan sudut *diffuser*  $6^\circ$  yang menghasilkan  $C_d$  sebesar 0.031,  $C_l$  sebesar -1.594 dan rasio  $C_l$  dan  $C_d$  sebesar 50.95. Pada *undertay* 3D dan mobil didapatkan rasio  $C_l$  dan  $C_d$  tertinggi menggunakan *undertray* dengan *separate fin* 2 pada kecepatan 22.5 m/s menghasilkan  $C_d$  sebesar 0.804,  $C_l$  sebesar -1.370,  $C_m$  sebesar -2.861, dan rasio  $C_l$  dan  $C_d$  sebesar 1.703. Pada kecepatan 11.7 m/s menggunakan *undertray separate fin* 1 dengan  $C_d$  sebesar 0.808,  $C_l$  sebesar -1.415,  $C_m$  sebesar -2.935, dan rasio  $C_l$  dan  $C_d$  sebesar 1.751. Sedangkan kecepatan 5 m/s menggunakan *undertray separate fin* 1 dengan  $C_d$  sebesar 0.854,  $C_l$  sebesar -0.825,  $C_m$  sebesar -1.947, dan rasio  $C_l$  dan  $C_d$  sebesar 0.966.
- B. Perhitungan *laptime* didapatkan paling cepat terhadap waktu pada *track acceleration* menggunakan *undertray separate fin* 2 sebesar 7.382 s. Perhitungan *laptime* didapatkan paling cepat terhadap waktu pada *track skidpad*, *autocross* dan *endurance* menggunakan *undertray separate fin* 4 sebesar 12.510 s, 68.757 s, dan 80.059 s.
- C. Pada *acceleration* memerlukan *forcedrag* yang kecil untuk mencapai *laltime* tercepat sehingga sesuai menggunakan *undertray separate fin* 2. Pada *skidpad*, *autocross*, dan *endurance* memerlukan *downforce* yang besar untuk menunjang performa mobil pada saat tikungan akan tetapi memerlukan *coefficient of moment* yang kecil sehingga sesuai menggunakan *undertray fin* 4.

#### 5.2 Saran

Saran dalam penelitian memiliki beberapa point sebagai berikut:

- A. Melakukan eksperimen terhadap desain *undertray* menggunakan *wind tunnel*.
- B. Melakukan eksperimen *undertray* pada mobil untuk dilakukan pada *track acceleration* dan *skidpad* sesuai dengan rule FSAE.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- Agiwal, Y., Lakhani, D., & Bulsara, A. (September, 2017). Simulation and validation of an aerodynamic device for an FSAE vehicle. *International Journal of Scientific & Engineering Research Volume 8, Issue 9,* 982-988.
- Anderson, J. D. (2001). *Fundamentals of Aerodynamics* (Third Edition ed.). New York: McGraw-Hill.
- Ansys. (2021). *Ansys*. Retrieved January 25, 2021, from <https://www.ansys.com/>
- ANSYS.Inc. (2013). *ANSYS Fluent Theory Guide*. Canonsbrug,PA: <http://www.ansys.com>.
- C.P, C., & Milton, J. E. (25 - 28 June 2007). Error versus  $y^+$  for Three Turbulence Models: Incompressible Flow Over a Unit Flat Plate. *18th AIAA Computational Fluid Dynamics Conference*.
- Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2014). *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications* (Third Edition ed.). New York: McGraw-Hill.
- Gillespie, T. D. (2017). *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. Warrendale: Society of Automotive Engineers.
- Huminic, A., & Huminic, G. (2012). Study of aerodynamics for a simplified car model with the underbody shaped as a Venturi nozzle. *Int. J. Vehicle Design*, 58.
- International, S. (2019). *Formula SAE Rules 2020* (First Edition ed.). SAE Internaitonal.
- International, S. (2021). *Formula SAE*. Retrieved January 25, 2021, from <https://www.fsaeonline.com/>
- Jalappa, G. B. (2015). *Design and Optimization of Undertray for Formula SAE Race Car Using CFD Analysis*. Universitas of Texas.
- Japan.Inc, S. o. (2019). *2019 Formula SAE Japan "TEAM HANDBOOK"*. Shizuoka, Japan: <http://www.jsae.or.jp/formula/en/>.
- Kawasaki, T. (1997). *Motorcycle Service Manual*. Minato city, Japan: Kawasaki Heavy Industries. Ltd.
- L, W., Oberkampf, & Trucano, T. G. (2002). Verification and validation in computational fluid dynamics. *Progress in Aerospace Sciences* 38 , 209–272.
- Marklund, J. (2013). *Under-body and Diffuser Flows of Passenger Vehicles*. Gothenburg, Sweden,,: Department of Applied Mechanics CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY.

- Nath, D. S., Pujari, P. C., Jain, A., & Rastogi, V. (2021). Drag reduction by application of aerodynamic devices in a race car. *Advances in Aerodynamics*.
- OptimumG, V. D. (2021). *OptimumLap v1.4 Help*. Denver,USA: www.optimumg.com.
- Oxyzoglou, I. (2017). *Design & Development of an Aerodynamic Package for a FSAE Race Car*. University of Thessaly.
- Sagmo, K. F. (2016). *Computational fluid dynamics simulations of a Formula Student race car*. Norwegian University of Science and Technology.
- Seward, D. (2014). *Race Car Design* (First ed.). New York: Palgrave.
- Toet, W. (2013). Aerodynamics and aerodynamic research in Formula 1. *The Aeronautical Journal*, 117(1187).
- Tu, J., Yeoh, G.-H., & Liu, C. (2018). *Computational Fluid Dynamics A Practical Approach* (Third Edition ed.). Kidlington: Elsevier Ltd.
- Versteeg, H. K., & Malalasekera, W. (2007). *An Introduction to Computational Fluid Dynamics* (Second Edition ed.). Edinburgh Gate: Pearson Education Limited.

## LAMPIRAN

### A. Regulasi FSAE terkait

#### **T.7 BODYWORK AND AERODYNAMIC DEVICES**

##### **T.7.1 Bodywork and Components**

T.7.1.1 There must be no openings through the bodywork into the driver compartment from the front of the vehicle back to the roll bar main hoop or firewall other than that required for the cockpit opening. Minimal openings around the front suspension components are allowed.

T.7.1.2 All forward facing edges on the bodywork that could impact people, including the nose, must have forward facing radii of at least 38 mm. This minimum radius must extend to at least 45° relative to the forward direction, along the top, sides and bottom of all affected edges.

T.7.1.3 All forward facing wing edges including wings, end plates, Gurney flaps, wicker bills and undertrays that could contact a pedestrian must have a minimum radius of 5 mm for all horizontal edges and 3 mm for vertical edges (end plates). If the edges themselves do not meet this requirement, additional permanently attached pieces designed to meet this requirement must be used.

##### **T.7.2.1 Aerodynamic Device**

T.7.2.2 No power device may be used to move or remove air from under the vehicle except fans designed exclusively for cooling. Power ground effects are prohibited.

T.7.2.3 All Aerodynamic Devices must be designed such that the mounting system provides adequate rigidity in the static condition and such that the Aerodynamic Devices do not oscillate or move excessively when the vehicle is moving. Refer to **IN.8.2**

T.7.2.4 All Aerodynamic Device limitations apply with the wheels pointing in the straight ahead position.

##### **T.7.2 General Aerodynamics**

A part on the vehicle which guides airflow for generation of downforce and/or reduction of drag. Examples include but are not limited to: wings, undertray, splitter, endplates, vanes

##### **T.7.3 Front Mounted**

T.7.3.1 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. Within a vertical plane parallel to the centerline of the chassis touching the outside of the front tires at the height of the hubs.

T.7.3.2 When viewed from the front of the vehicle, the part of the front wheels/tires that are more than 250 mm above ground level must be unobstructed when measured without a driver in the vehicle.

#### **T.7.4 Rear Mounted**

T.7.4.1 In plan view, any part of any Aerodynamic Device must be: a. No more than 250 mm rearward of the rear of the rear tires

b. No further forward than a 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 (excluding undertrays).

c. 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.7.4.2 In side elevation, any part of an Aerodynamic Device must be no higher than 1.2 meters above the ground when measured without a driver in the vehicle

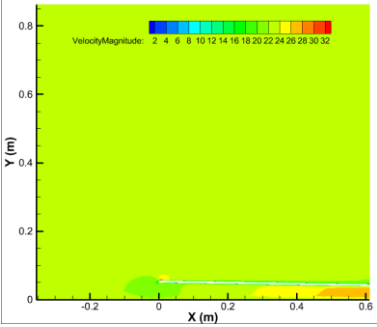
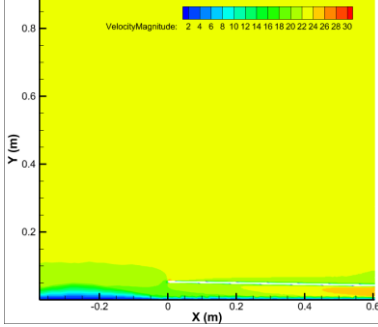
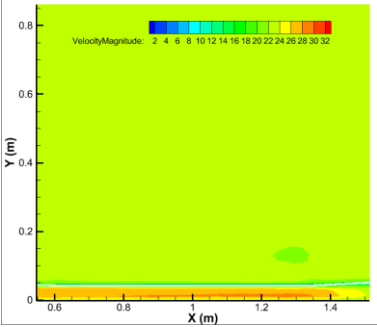
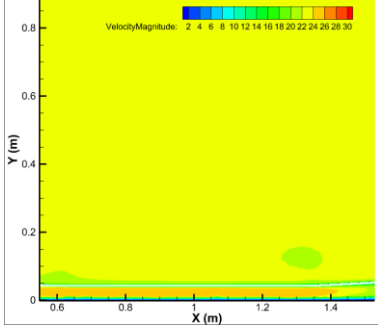
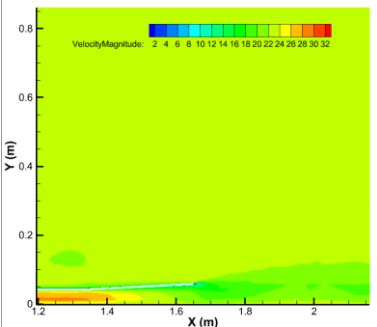
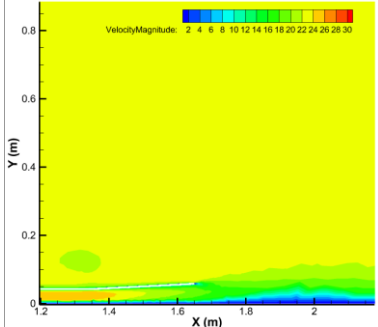
#### **T.7.5 Between Wheels**

T.7.5.1 Between the centerlines of the front and rear wheel axles, an Aerodynamic Device may extend outboard in plan view to a line drawn connecting the outer surfaces of the front and rear tires at the height of the wheel centers

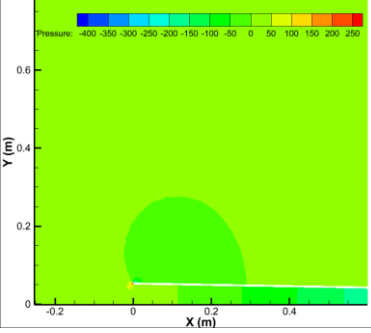
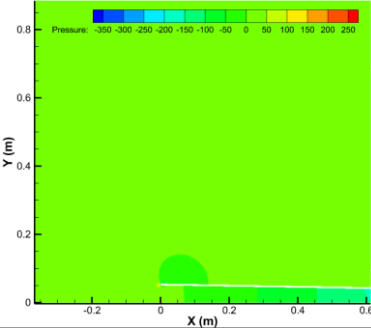
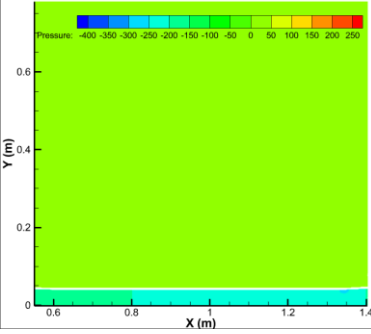
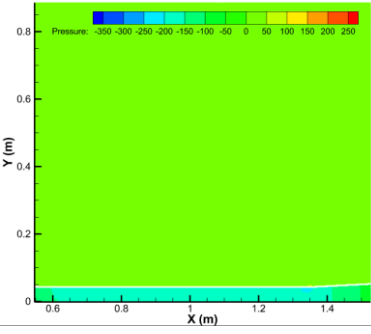
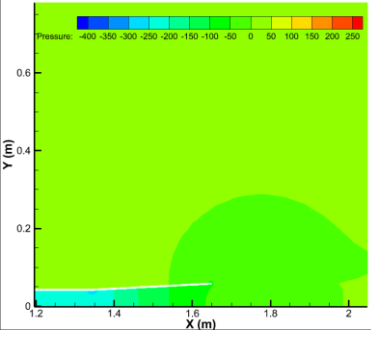
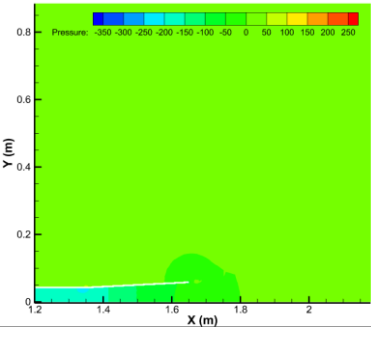
T.7.5.2 Except as permitted under **T.7.4.1 above**, any Aerodynamic Devices, or other bodywork, located between the transverse vertical planes positioned at the front and rear axle centerlines must not exceed a height of 500 mm above the ground when measured without a driver in the vehicle. Bodywork within vertical fore and aft planes set at 400 mm outboard from the centerline on each side of the vehicle is excluded from this requirement.



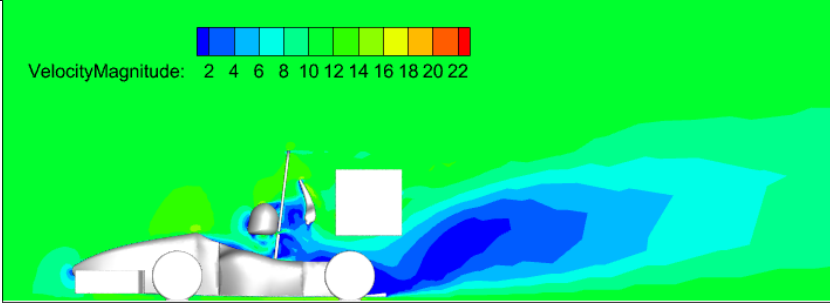
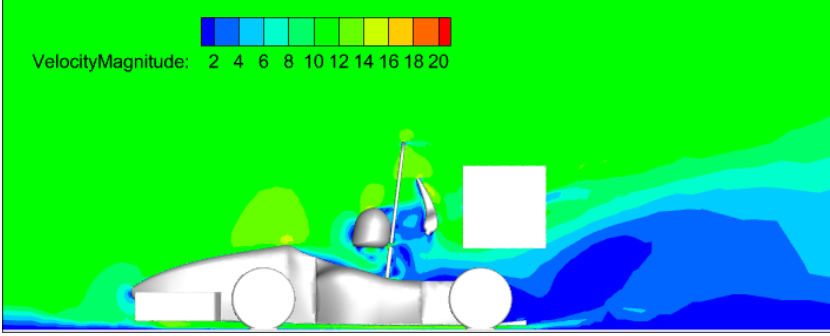
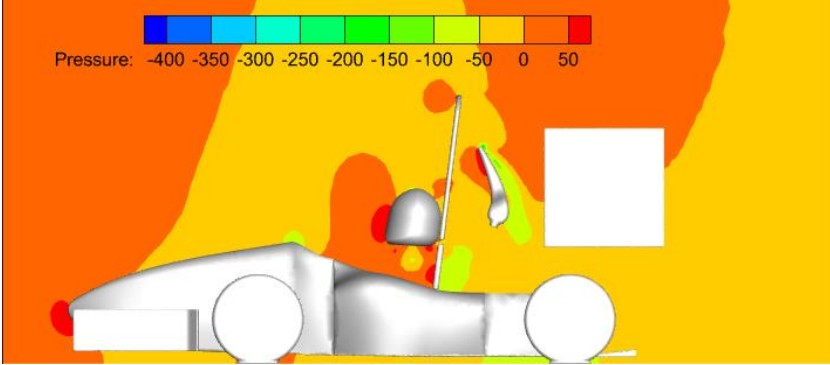
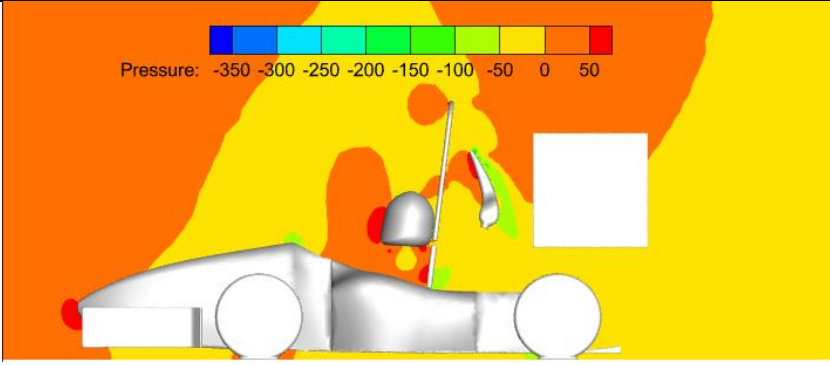
B. *Contour Velocity pada Undertray 2D Sudut Inlet 1° dengan Sudut Diffuser 3°*

<i>Moving Wall</i>	<i>Stationary Wall</i>	Keterangan
		<p><i>Contour Velocity pada Infuser Undertray</i></p>
		<p><i>Contour Velocity pada Throat Undertray</i></p>
		<p><i>Contour Velocity pada Diffuser Undertray</i></p>

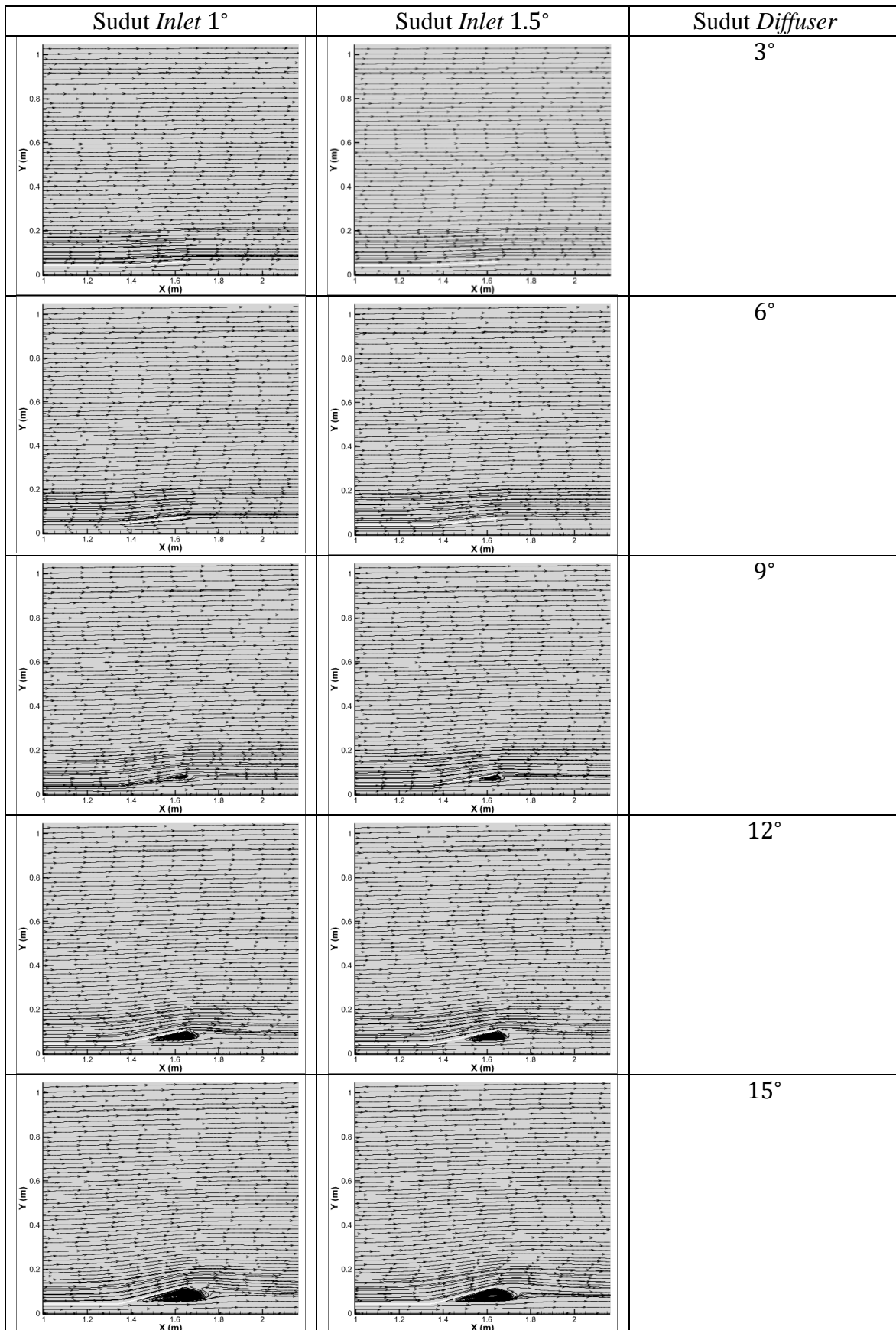
C. *Contour Pressure* Pada *Undertray* 2D Sudut *Inlet* 1° dengan Sudut *Diffuser* 3°

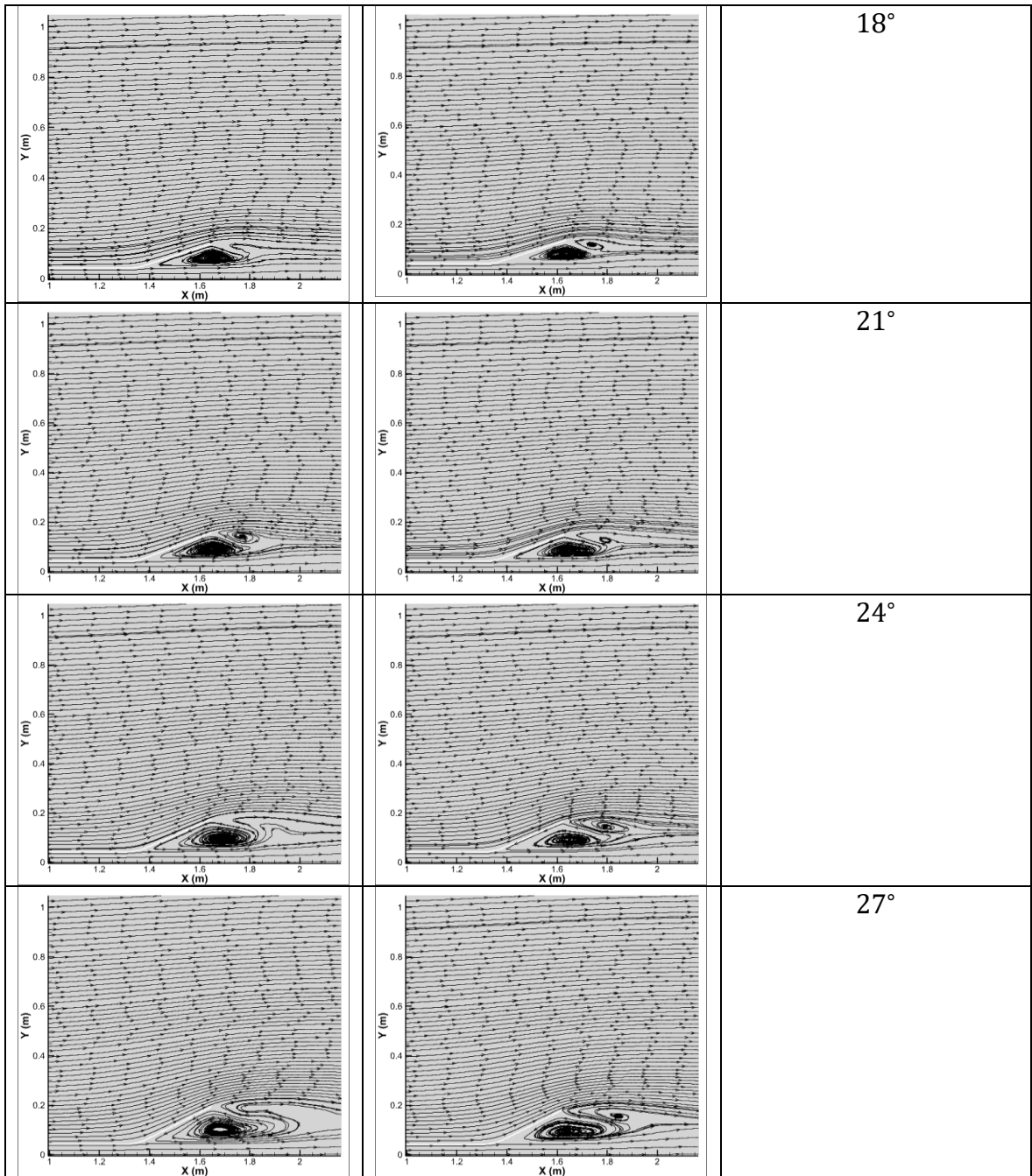
<i>Moving Wall</i>	<i>Stationary Wall</i>	Keterangan
		<i>Contour Pressure</i> pada <i>Infuser Undertray</i>
		<i>Contour Pressure</i> pada <i>Throat Undertray</i>
		<i>Contour Pressure</i> pada <i>Diffuser Undertray</i>

D. *Contour Velocity* dan *Contour Pressure* pada Mobil Menggunakan *Undertray Separate Fin 1* dengan Velocity 11.7 m/s

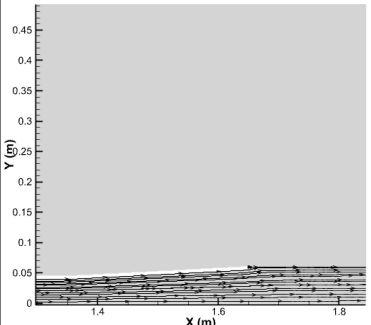
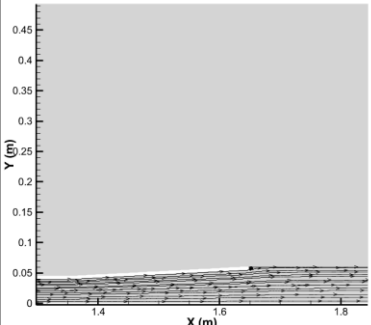
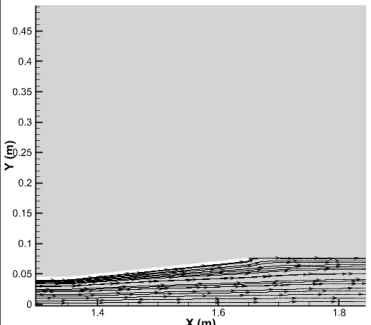
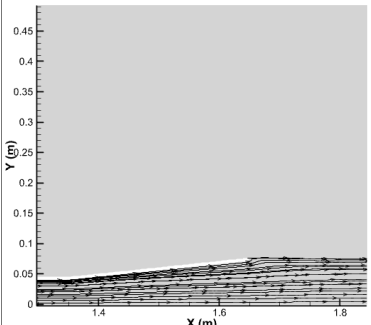
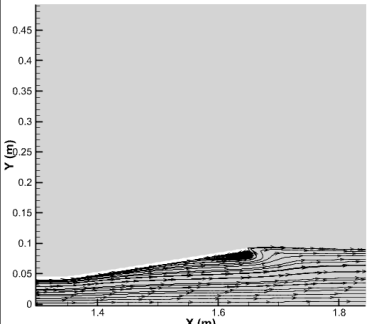
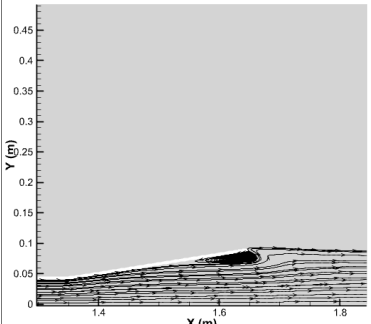
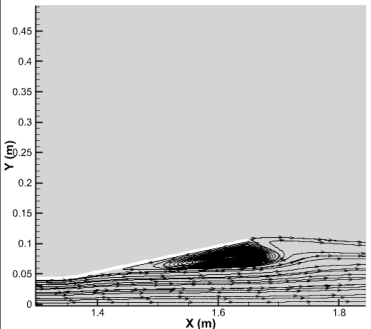
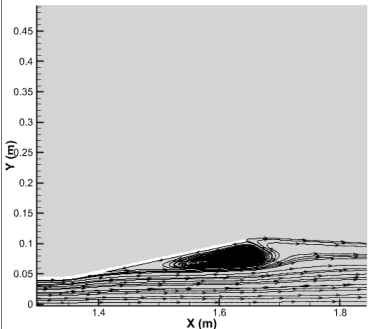
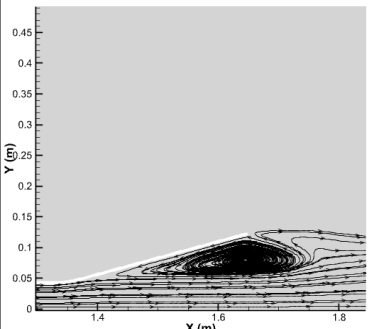
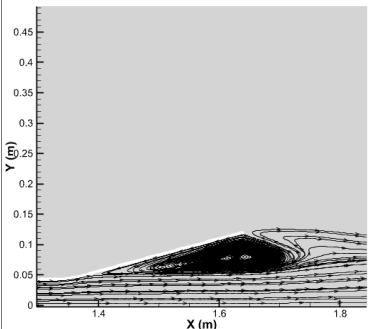
Contour Velocity pada Mobil	Keterangan
 <p>VelocityMagnitude: 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22</p>	<i>Moving wall</i>
 <p>VelocityMagnitude: 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20</p>	<i>Stationary wall</i>
Contour Pressure pada Mobil	
 <p>Pressure: -400 -350 -300 -250 -200 -150 -100 -50 0 50</p>	<i>Moving wall</i>
 <p>Pressure: -350 -300 -250 -200 -150 -100 -50 0 50</p>	<i>Stationary wall</i>

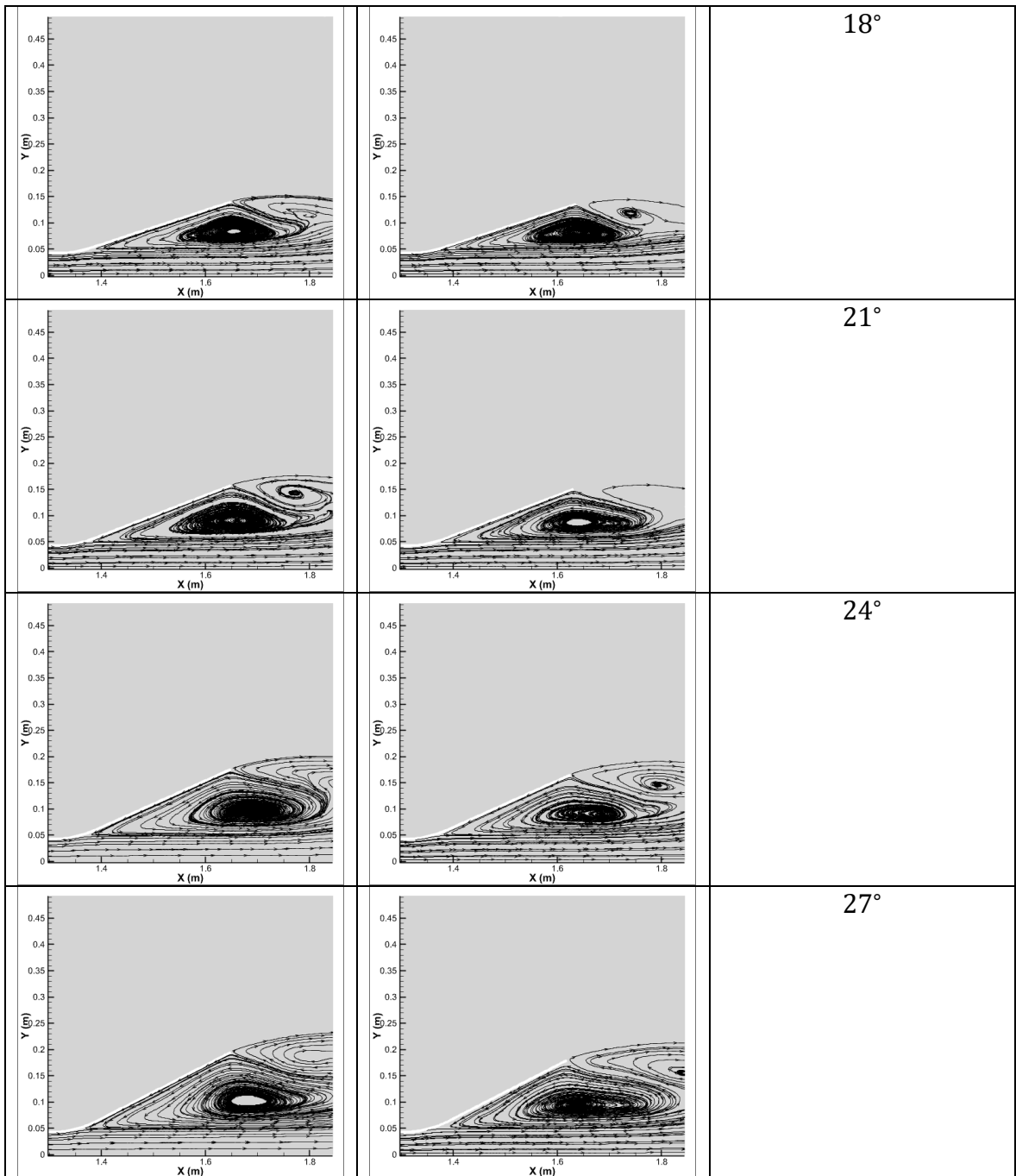
A. Flow Pattern pada Undertray 2D dengan Velocity 22.5 m/s



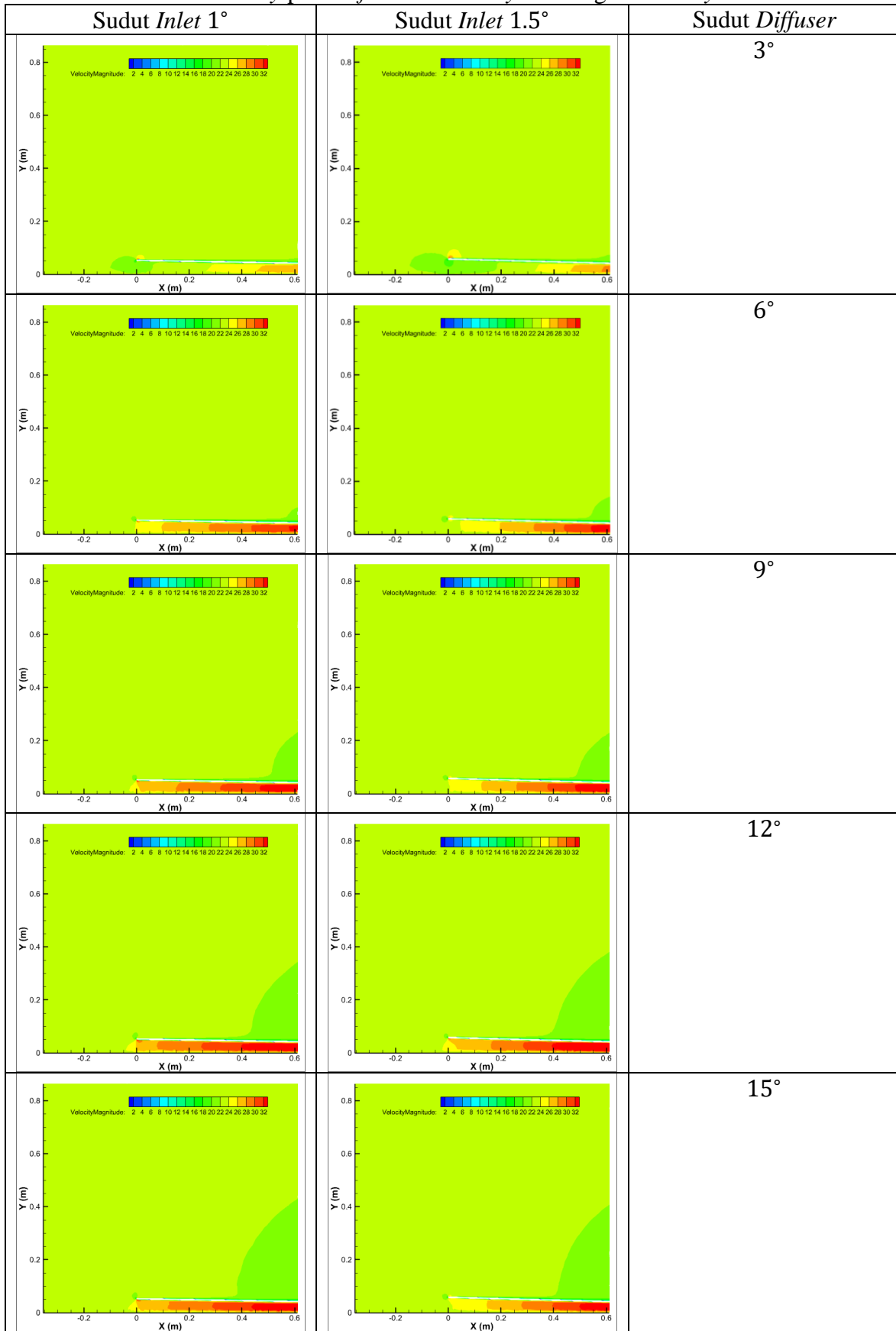


B. Separation Flow pada Undertray 2D dengan Velocity 22.5 m/s

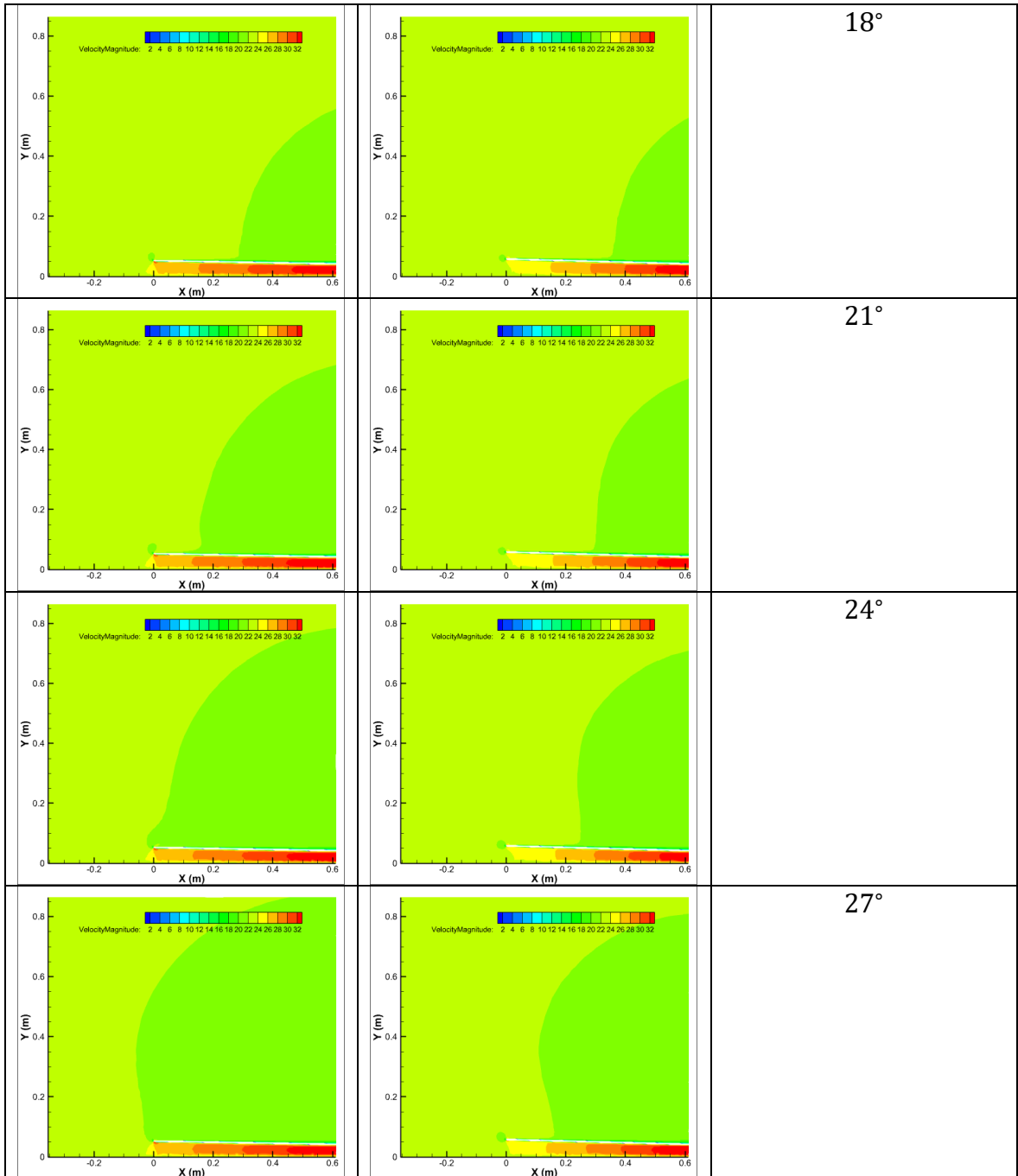
Sudut Inlet 1°	Sudut Inlet 1.5°	Sudut Diffuser
		3°
		6°
		9°
		12°
		15°



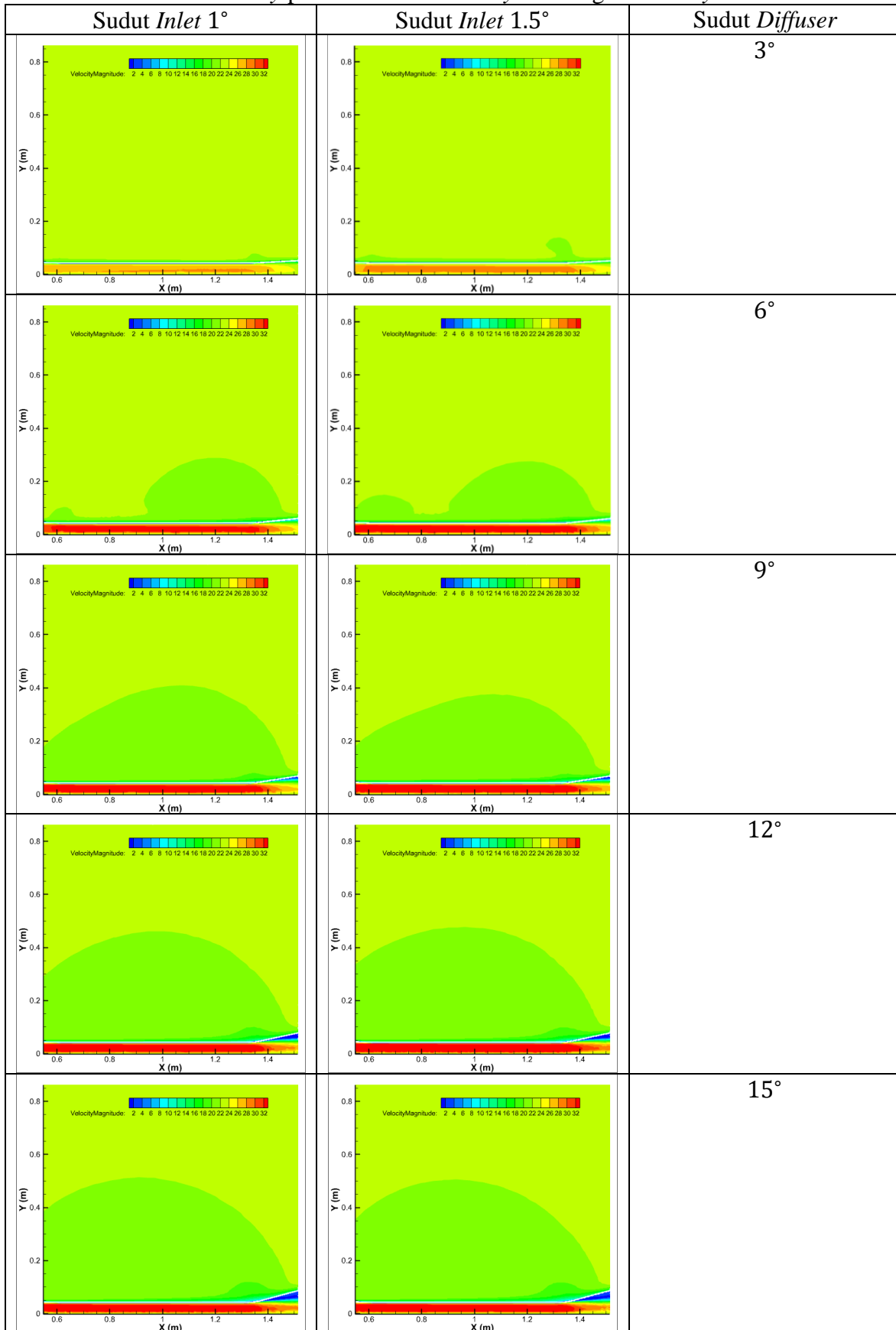
C. Contour Velocity pada Infuser Undertray 2D dengan Velocity 22.5 m/s

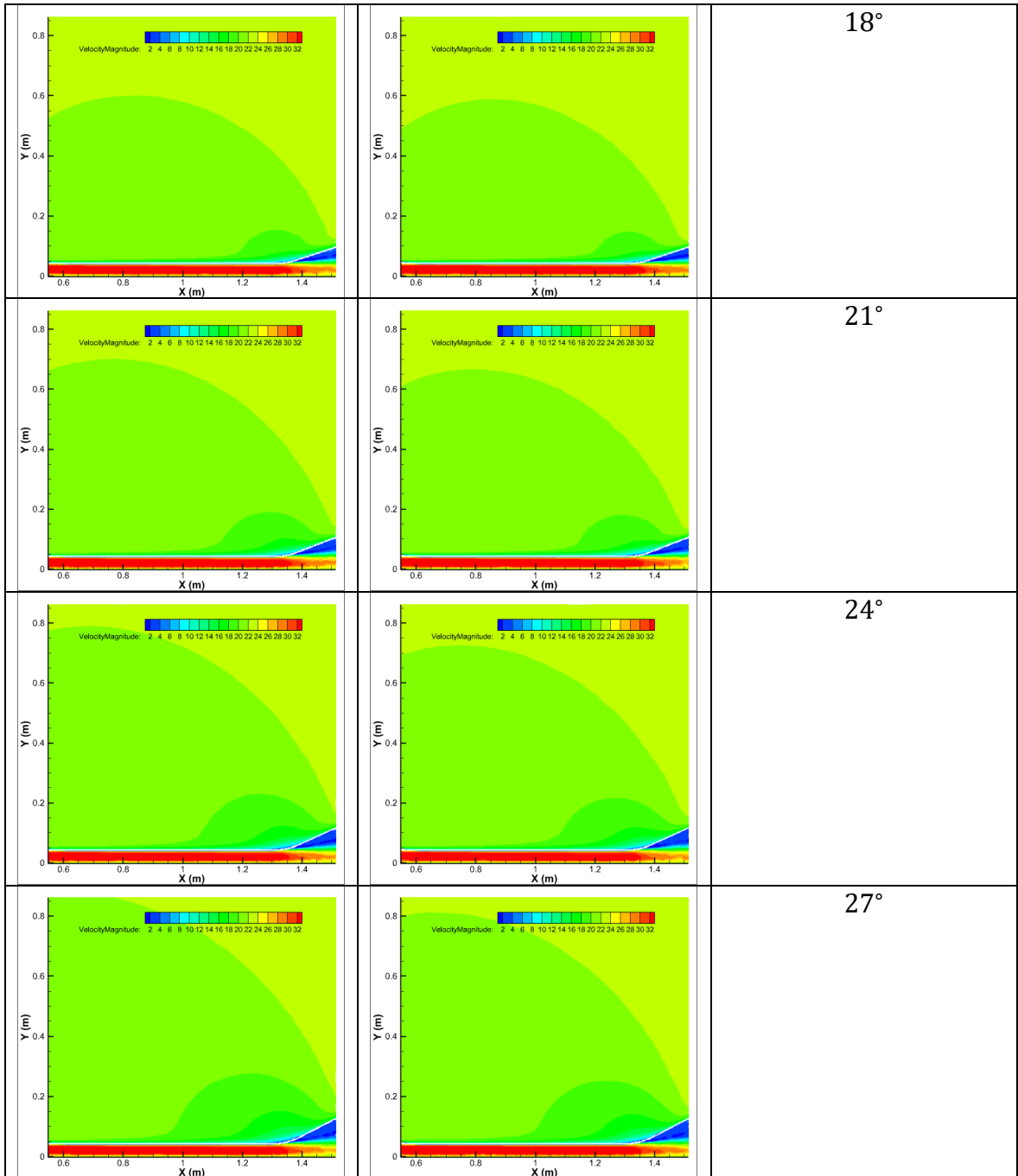




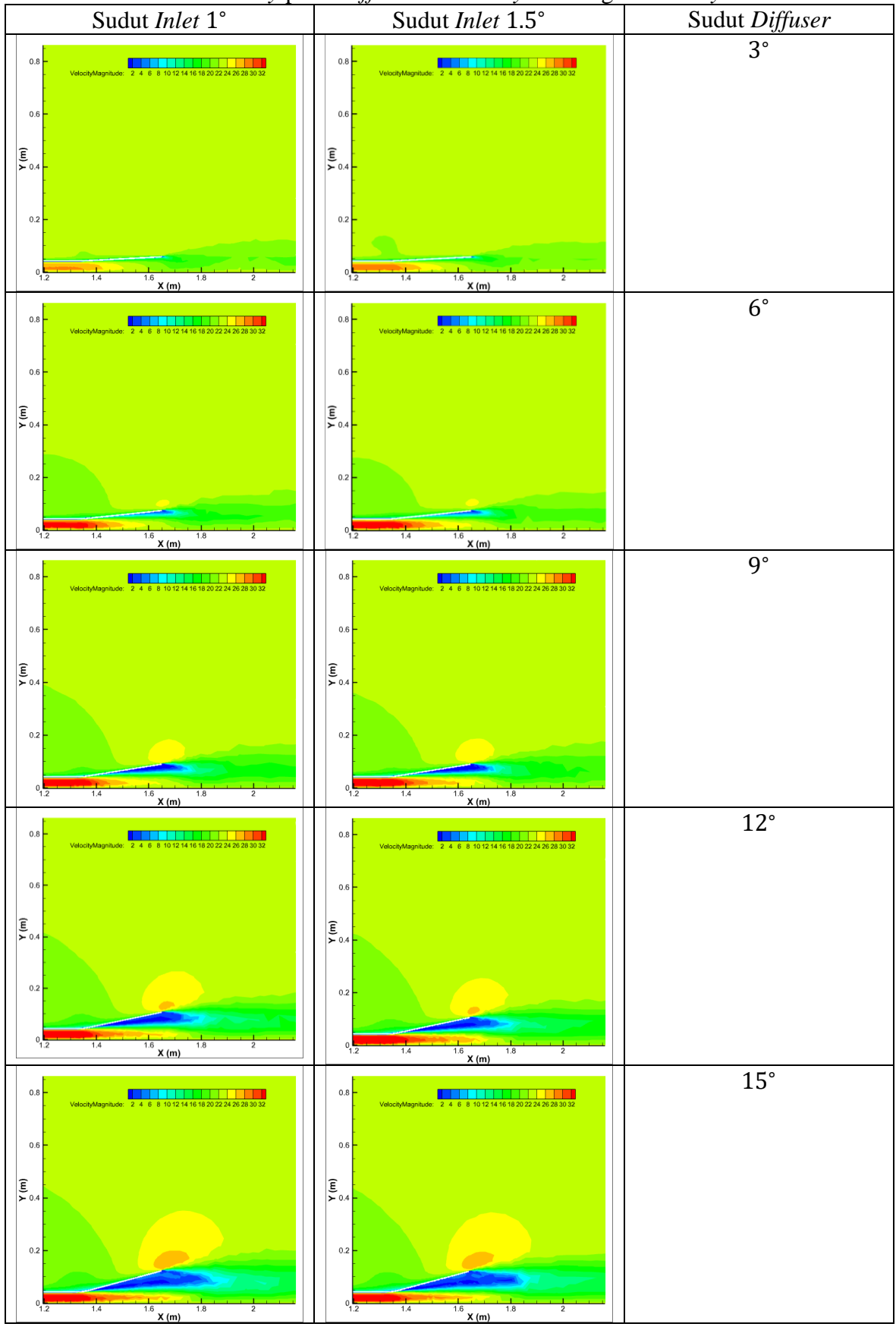


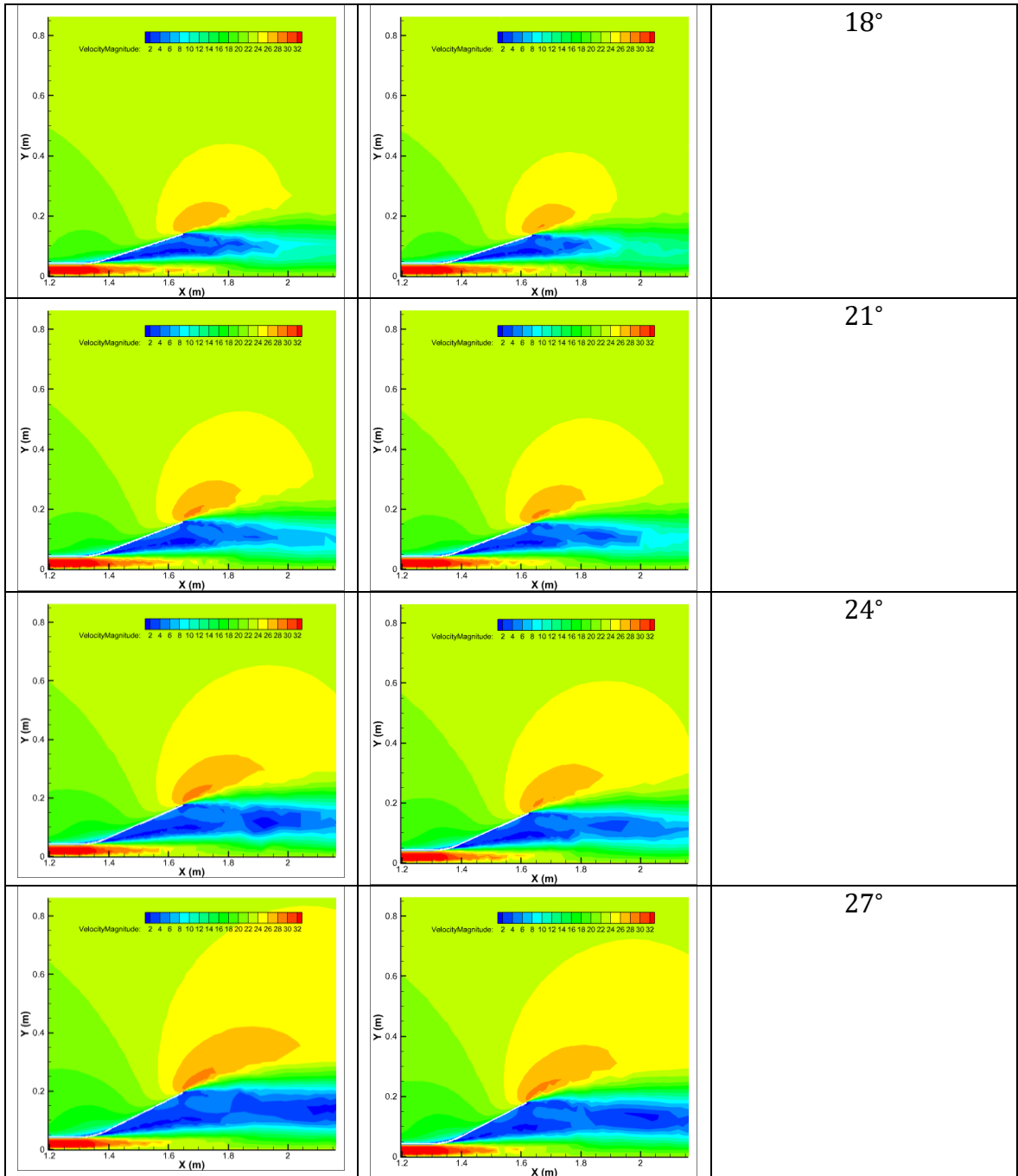
D. Contour Velocity pada Throat Undertray 2D dengan Velocity 22.5 m/s



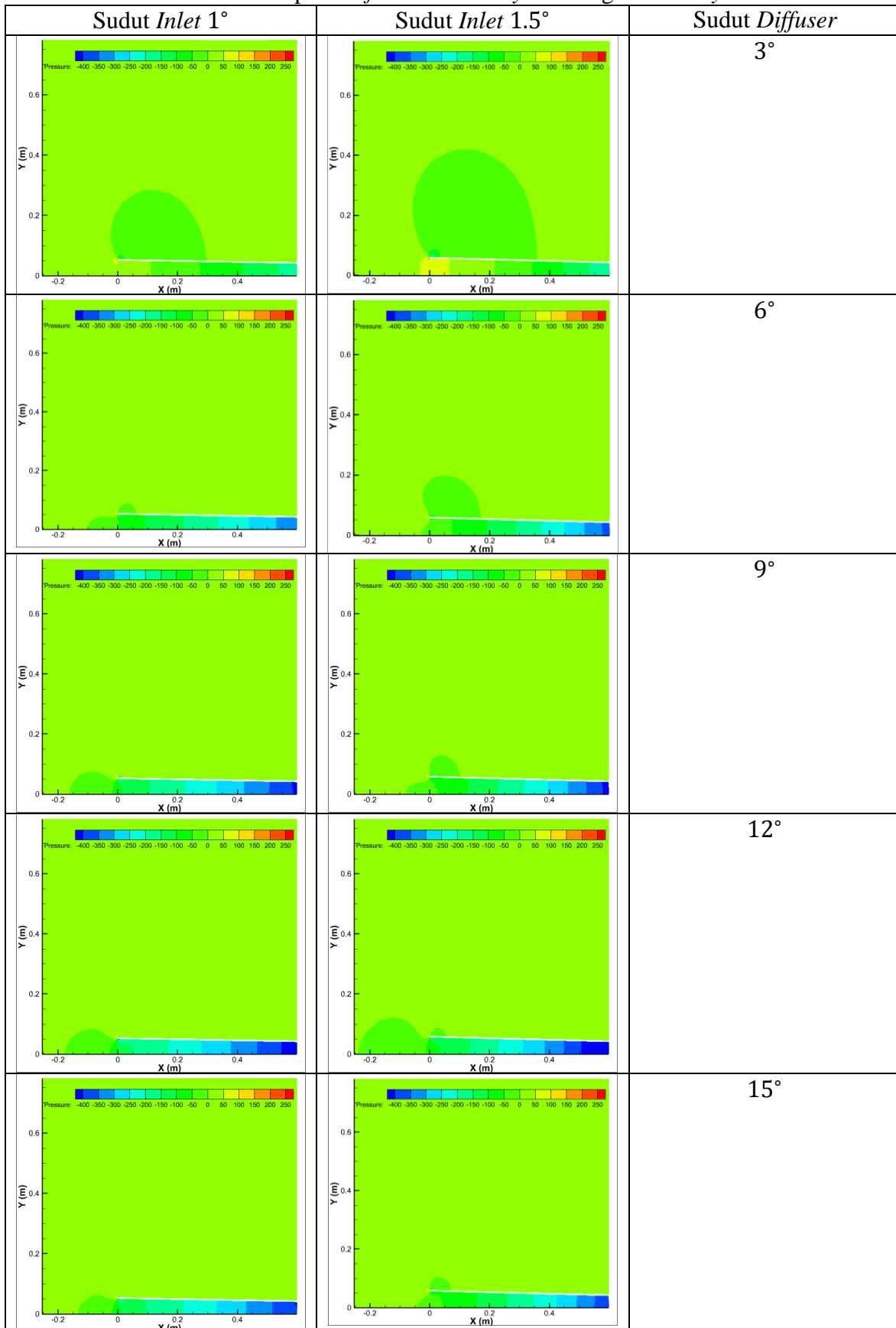


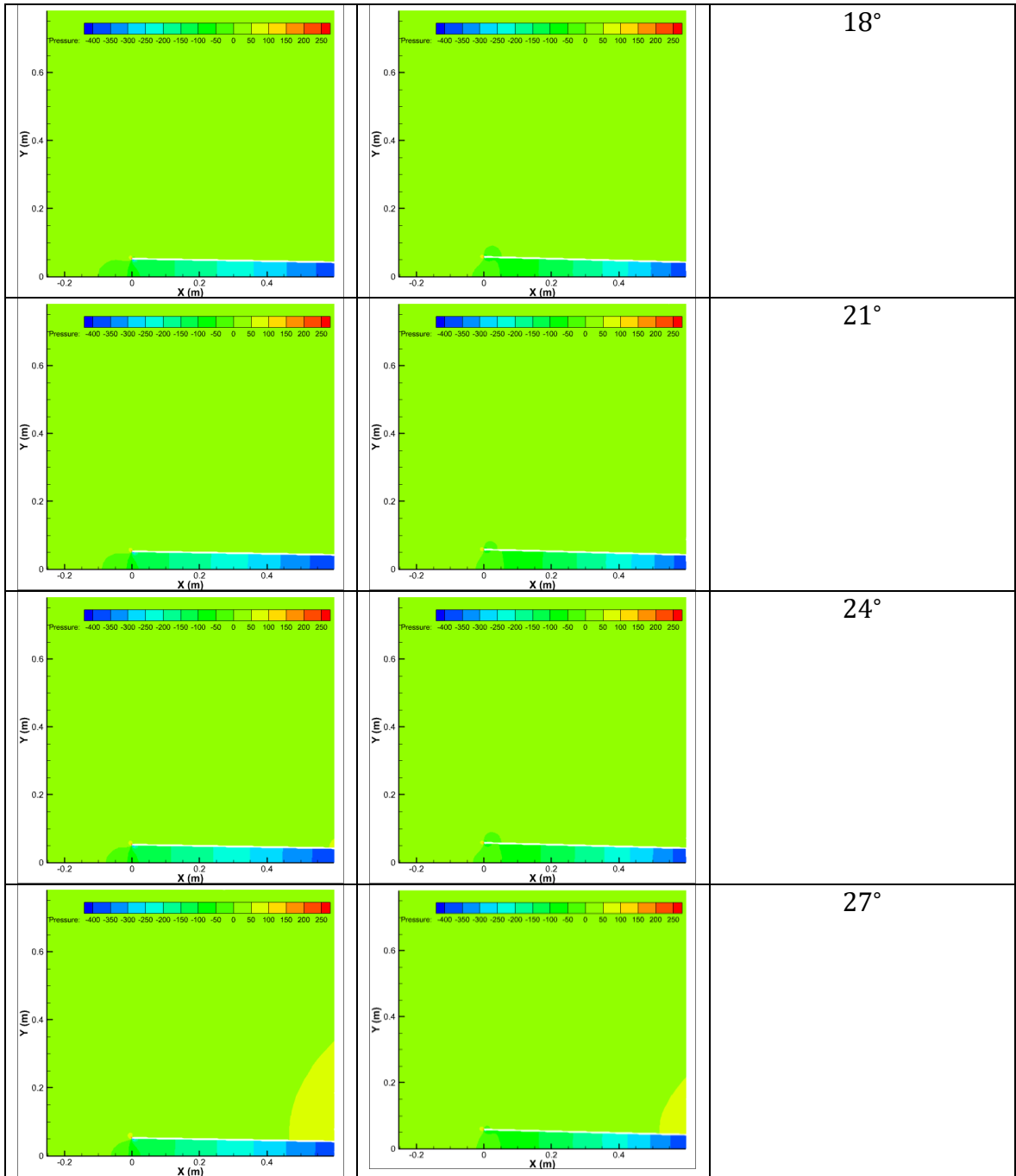
E. Contour Velocity pada Diffuser Undertray 2D dengan Velocity 22.5 m/s



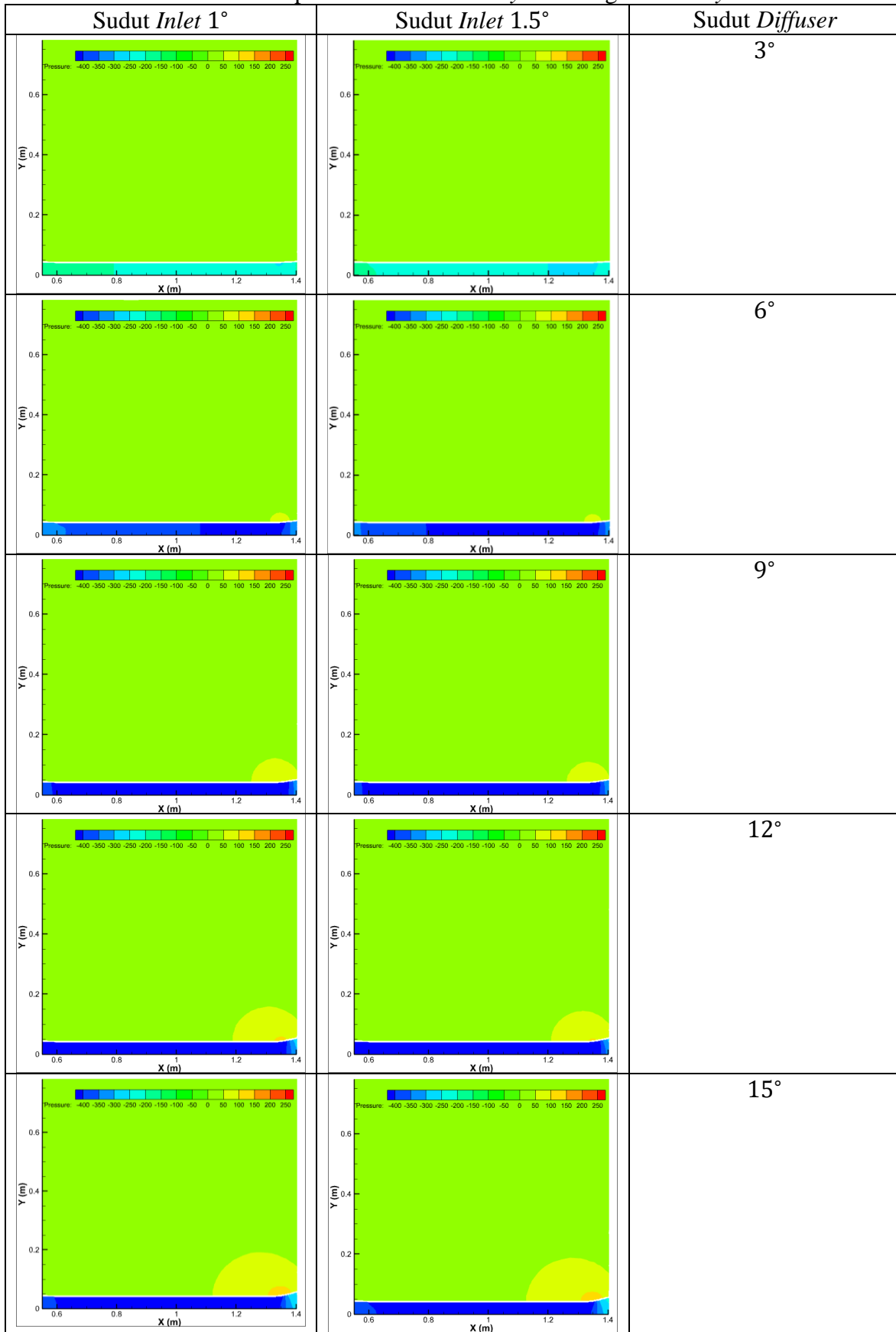


F. Contour Pressure pada Infuser Undertray 2D dengan Velocity 22.5 m/s

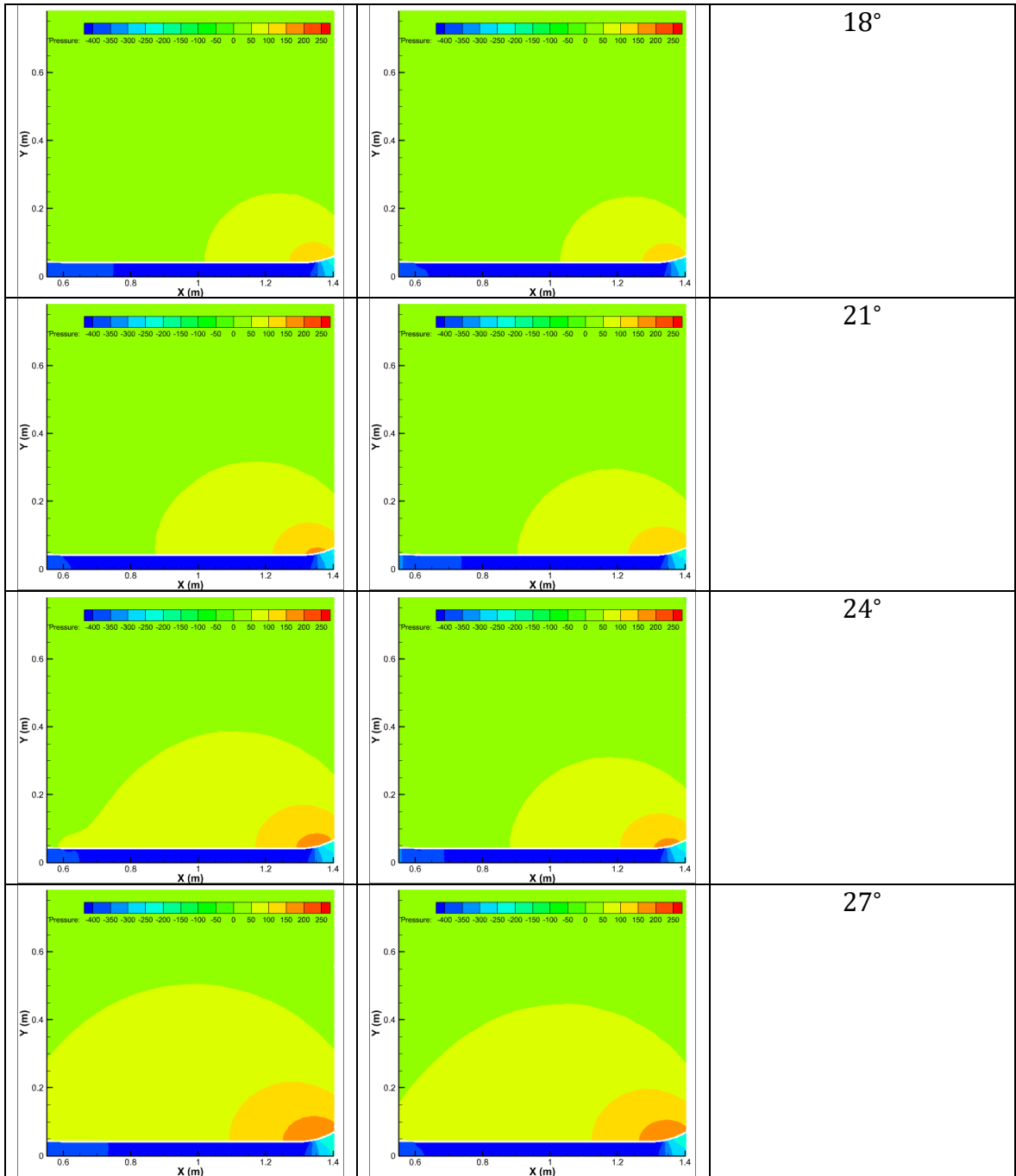




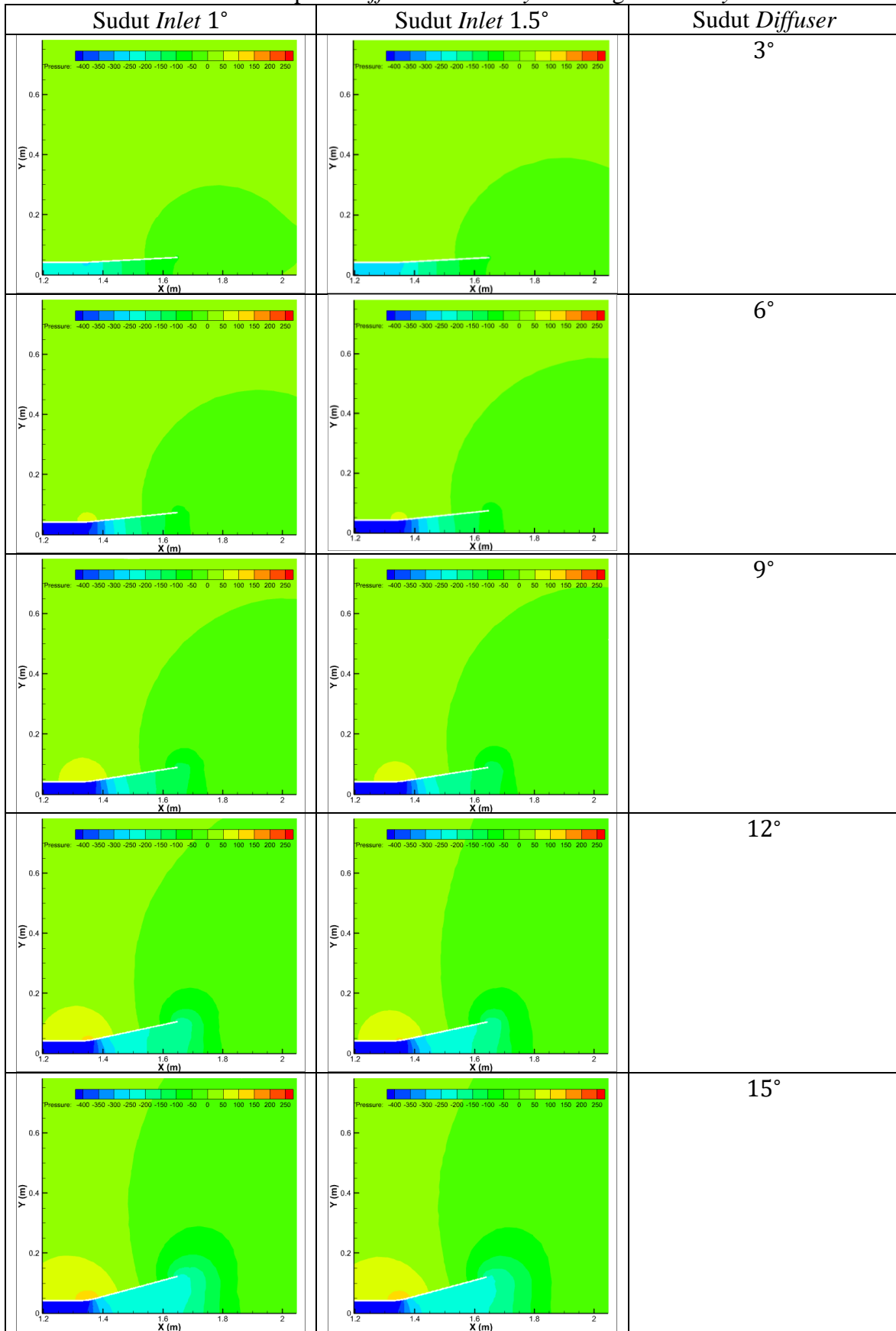
G. Contour Pressure pada Throat Undertray 2D dengan Velocity 22.5 m/s

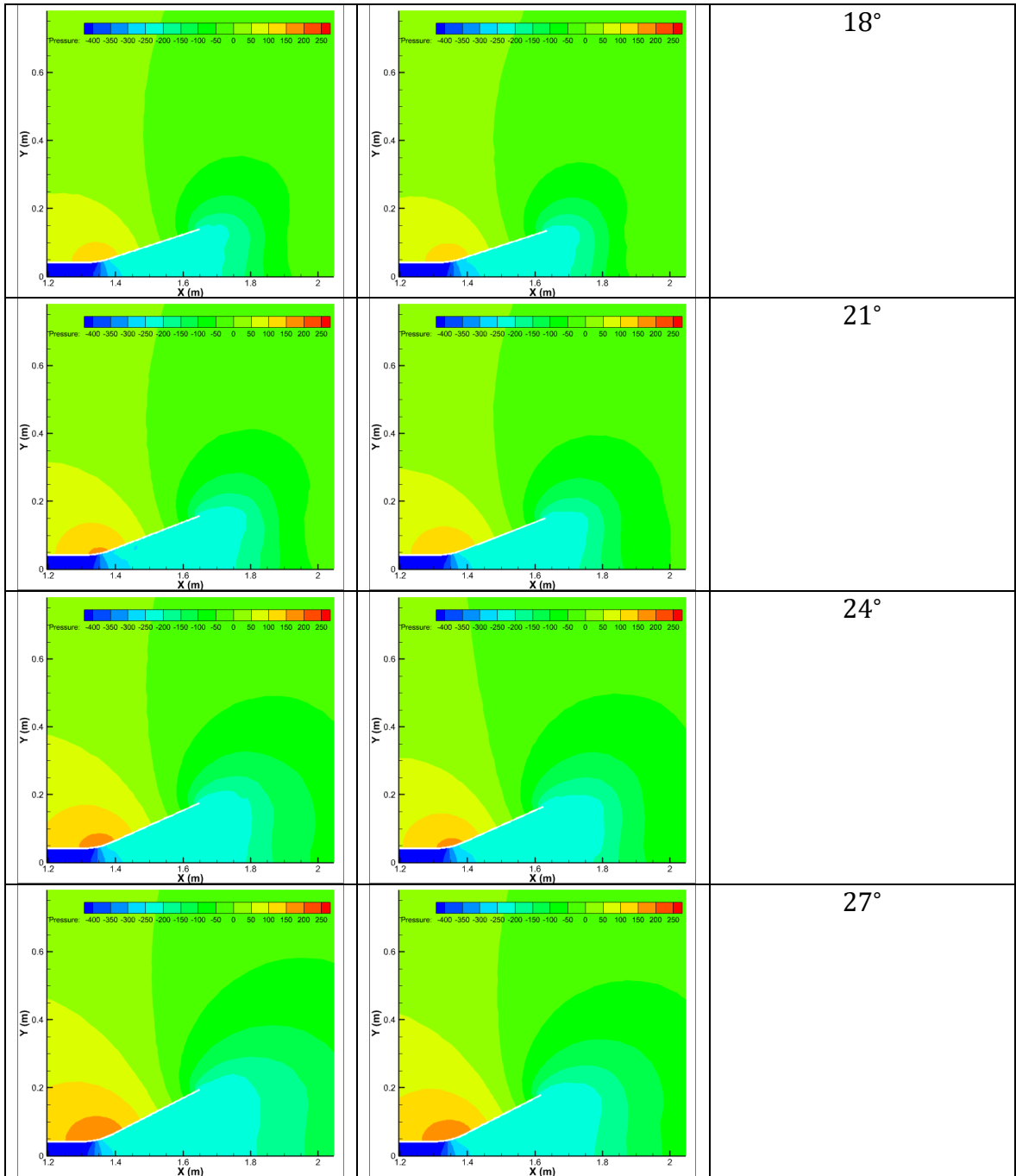




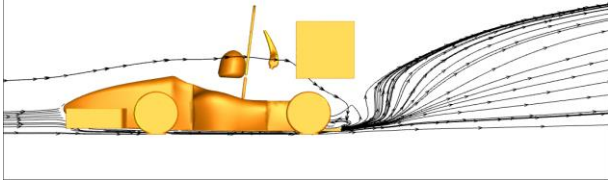
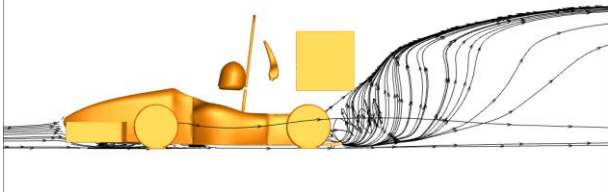
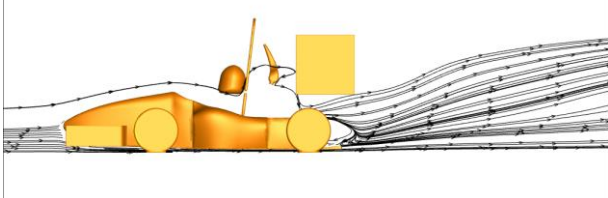
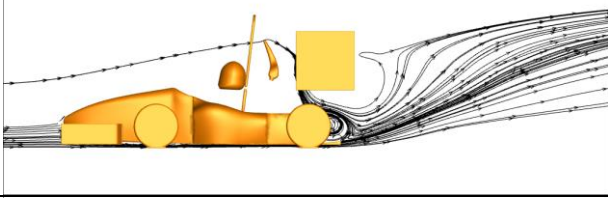
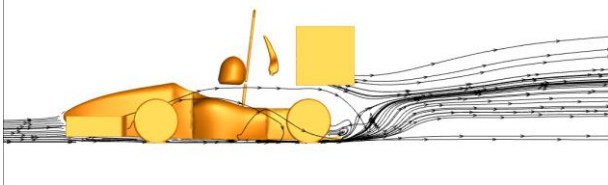


H. Contour Pressure pada Diffuser Undertray 2D dengan Velocity 22.5 m/s

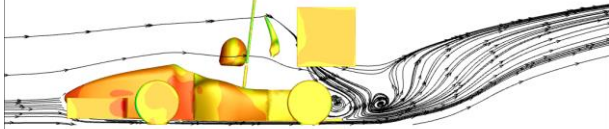








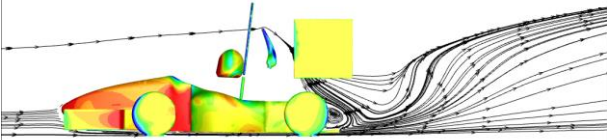
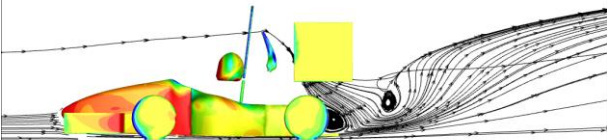
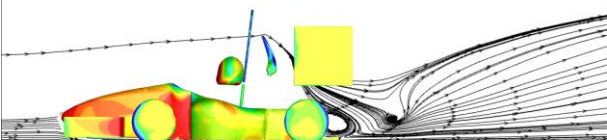

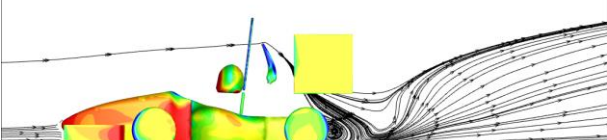
I. Bentuk *Streamline* pada Mobil dengan *Velocity* 5 m/s

Contour Velocity pada Mobil		Keterangan
		<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 1</i></p>
		<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 2</i></p>
		<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 3</i></p>
		<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 4</i></p>
		<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 5</i></p>


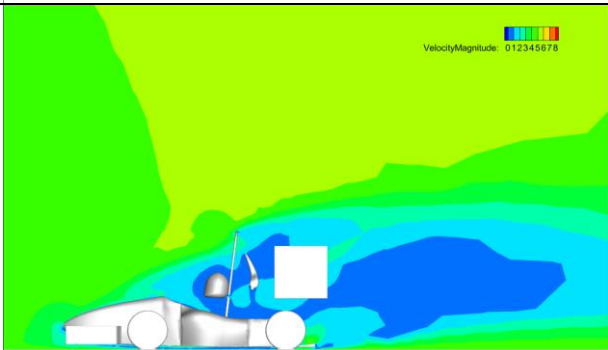
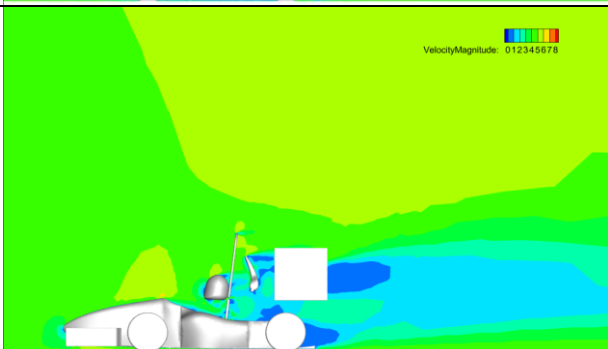


J. Bentuk *Streamline* pada Mobil dengan *Velocity* 11.7 m/s

Contour Velocity pada Mobil	Keterangan
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 1</i></p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 2</i></p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 3</i></p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 4</i></p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 5</i></p>

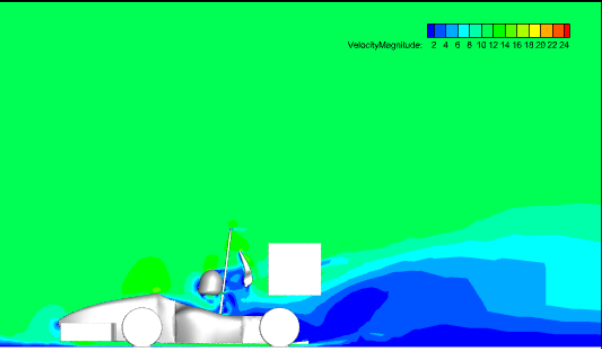
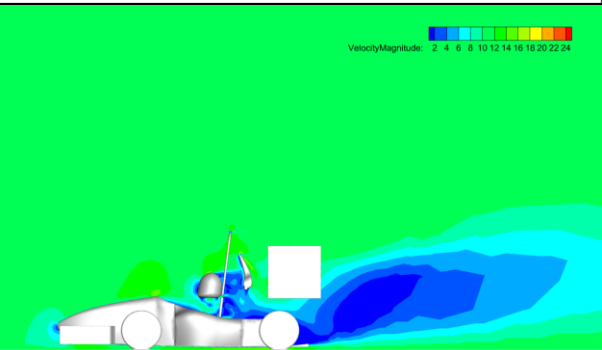
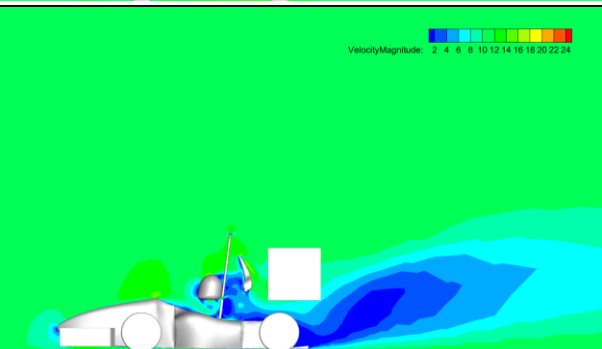
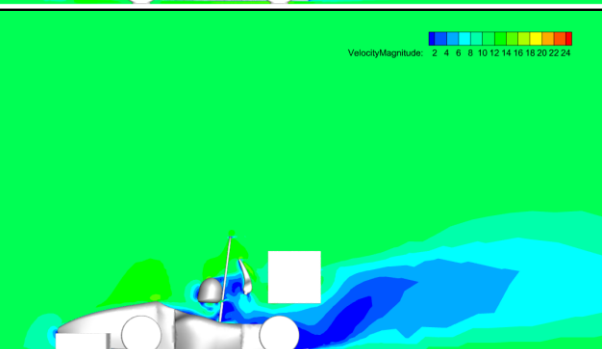
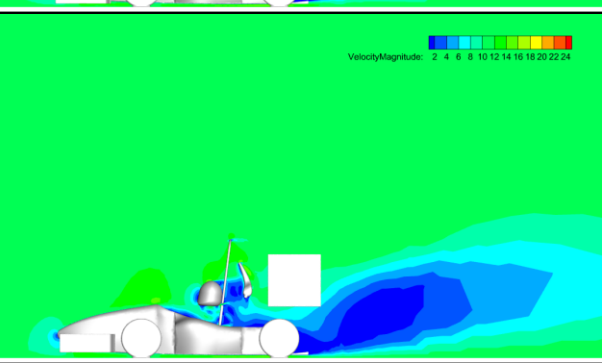
K. Bentuk *Streamline* pada Mobil dengan *Velocity* 22.55 m/s

<i>Contour Velocity</i> pada Mobil	Keterangan
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 1</i></p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 2</i></p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 3</i></p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 4</i></p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 5</i></p>

L. *Contour Velocity* pada Mobil dengan *Velocity* 5 m/s

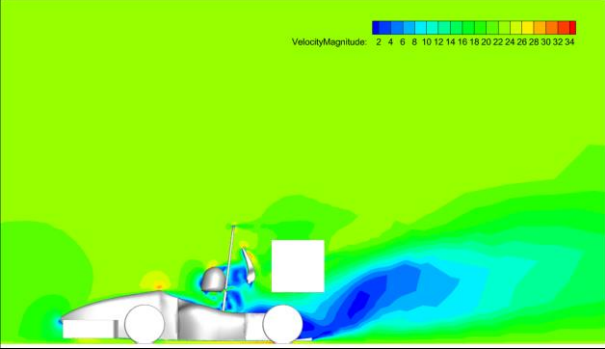
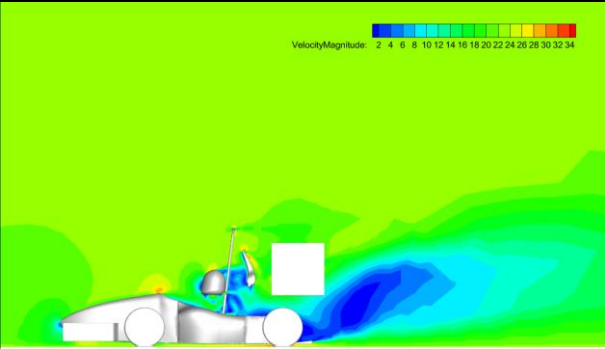
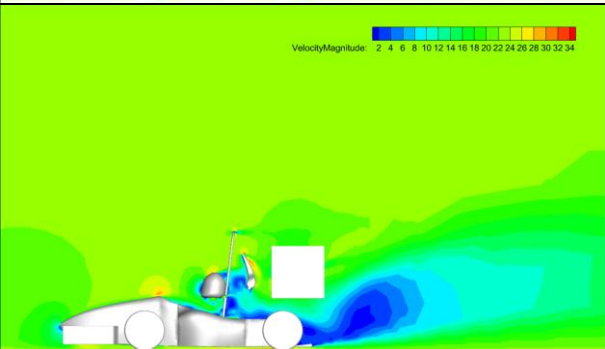
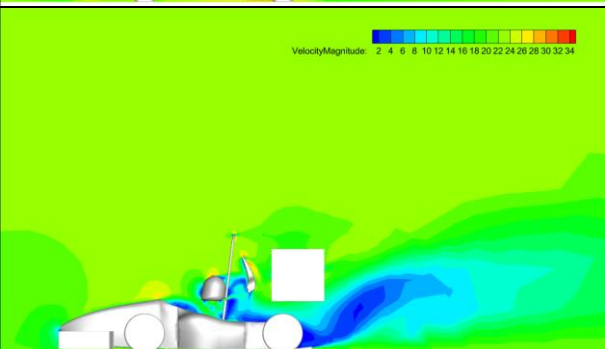
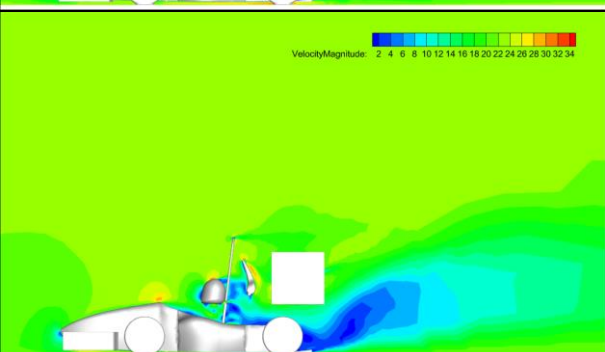
<p><i>Contour Velocity</i> pada Mobil</p>	<p>Keterangan</p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 1</i></p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 2</i></p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 3</i></p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 4</i></p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 5</i></p>

M. *Contour Velocity* pada Mobil dengan *Velocity* 11.7 m/s

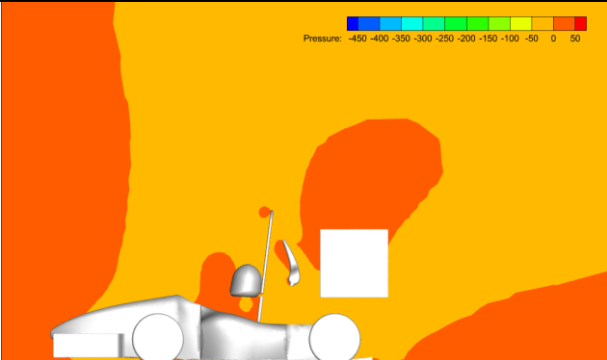
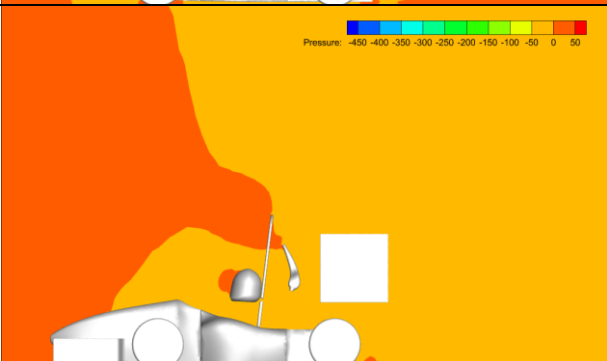

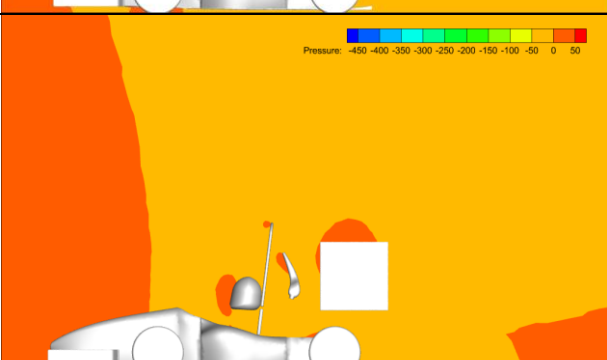

<i>Contour Velocity</i> pada Mobil	Keterangan
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 1</i></p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 2</i></p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 3</i></p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 4</i></p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 5</i></p>





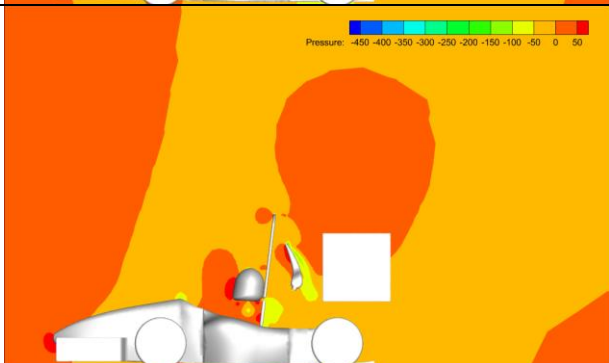


N. *Contour Velocity* pada Mobil dengan *Velocity* 22.5 m/s

<i>Contour Velocity</i> pada Mobil	Keterangan
	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 1</i>
	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 2</i>
	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 3</i>
	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 4</i>
	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 5</i>



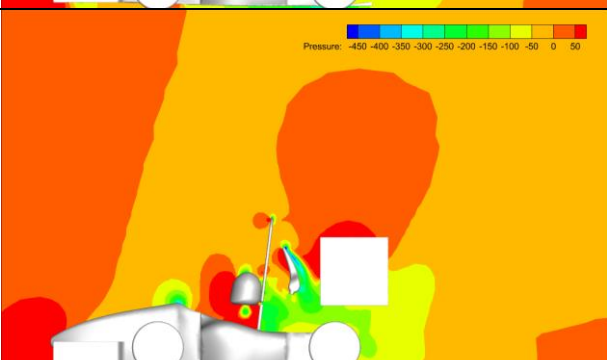


O. *Contour Pressure* pada Mobil dengan *Velocity* 5 m/s

<p><i>Contour Velocity</i> pada Mobil</p>	<p>Keterangan</p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 1</i></p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 2</i></p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 3</i></p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 4</i></p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 5</i></p>

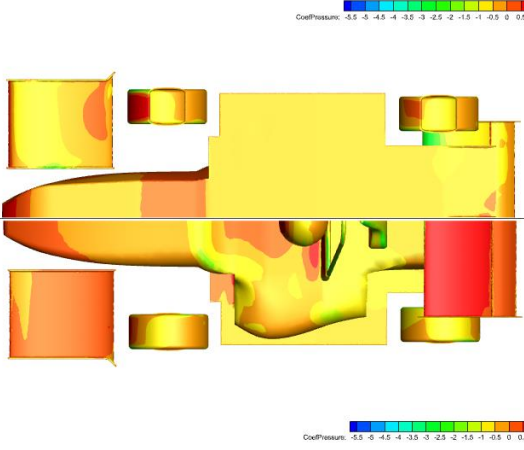
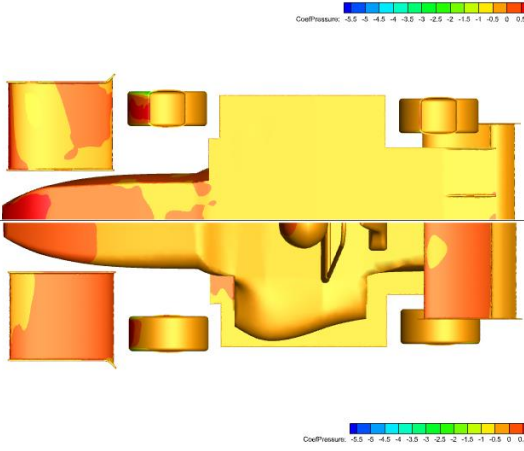
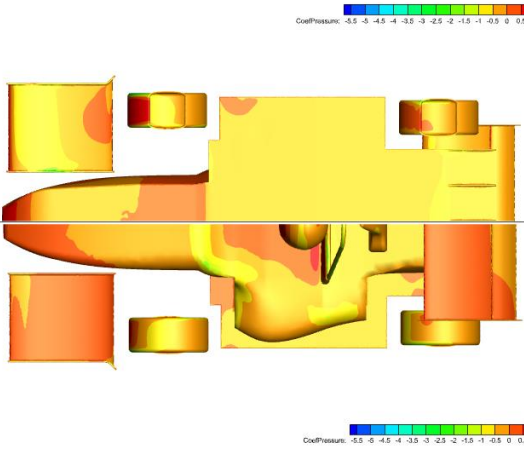
P. *Contour Pressure* pada Mobil dengan *Velocity* 11.7 m/s

Contour Velocity pada Mobil	Keterangan
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 1</i></p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 2</i></p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 3</i></p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 4</i></p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 5</i></p>

Q. *Contour Pressure* pada Mobil dengan *Velocity* 22.5 m/s

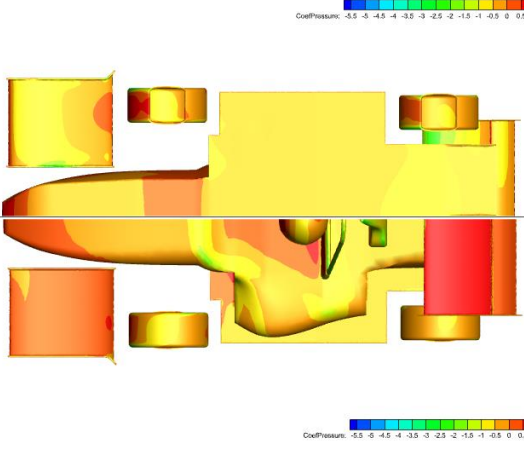
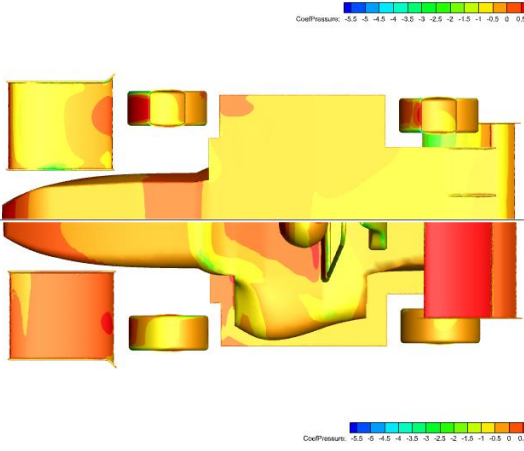
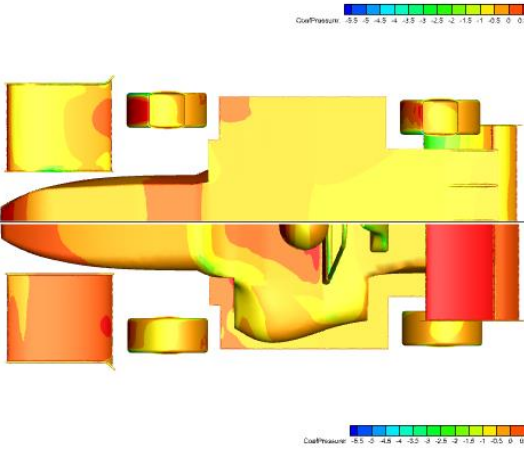
<p><i>Contour Velocity</i> pada Mobil</p>	<p>Keterangan</p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 1</i></p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 2</i></p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 3</i></p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 4</i></p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 5</i></p>

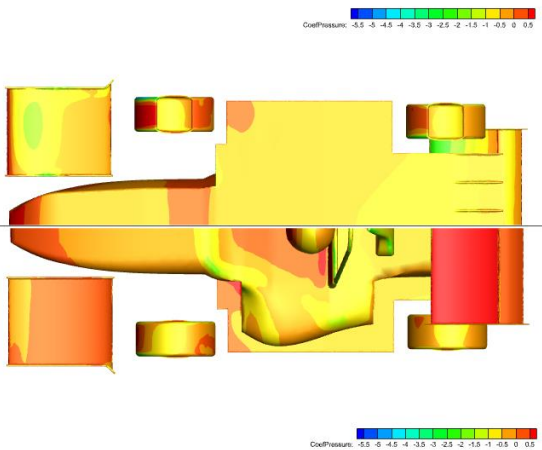
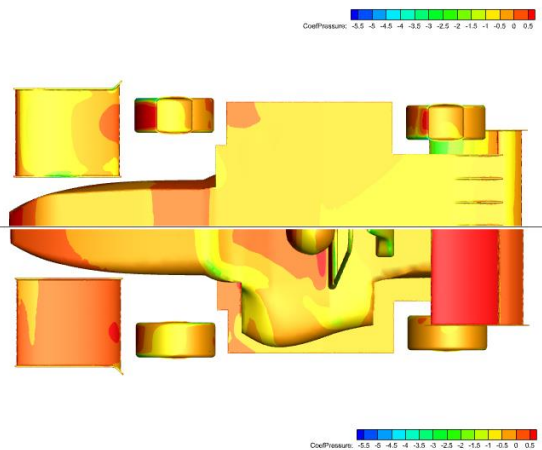
R. *Contour Coefficient of Pressure* Atas dan Bawah pada Mobil dengan *Velocity* 5 m/s

<i>Contour Velocity</i> pada Mobil	Keterangan
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 1</i></p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 2</i></p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 3</i></p>

	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 4</i></p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 5</i></p>

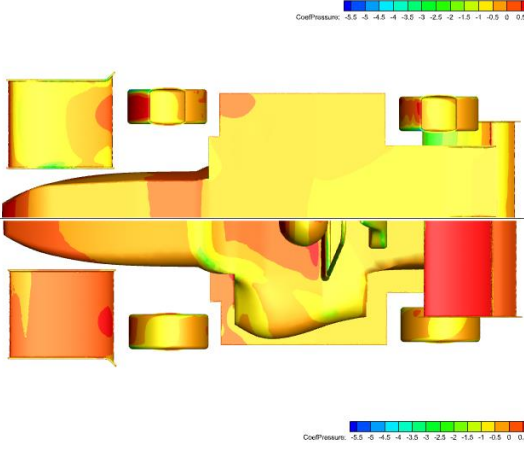
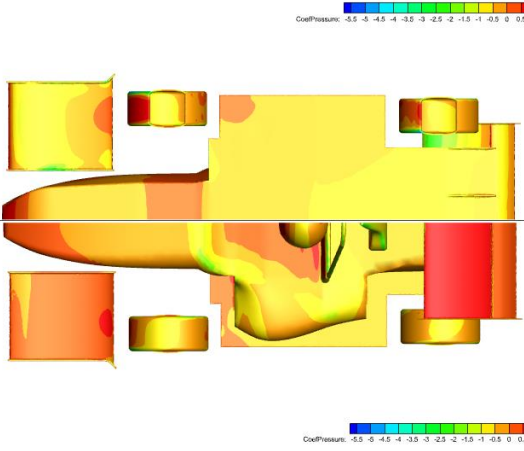
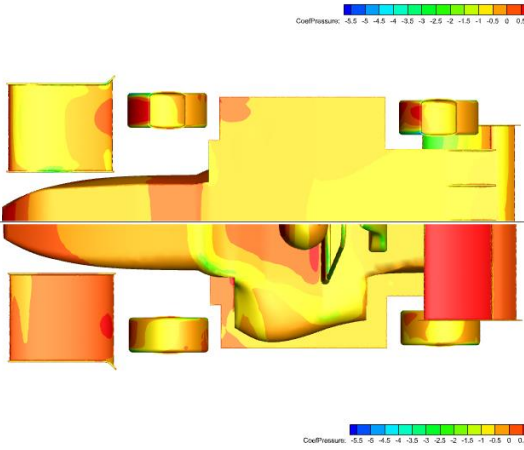
S. *Contour Coefficient of Pressure* Atas dan Bawah pada Mobil dengan *Velocity* 11.7 m/s

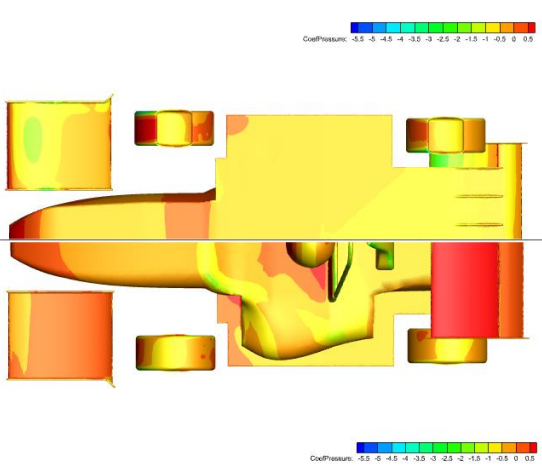
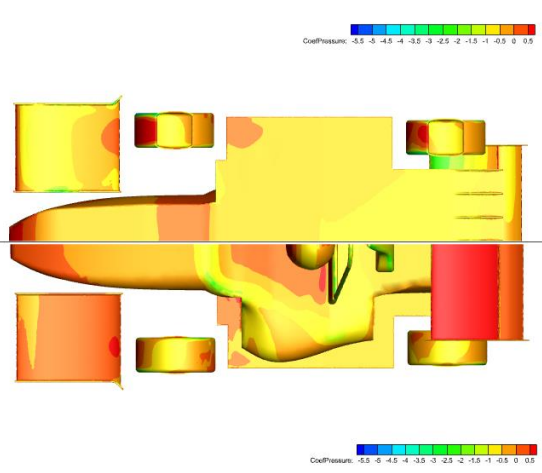
Contour Velocity pada Mobil	Keterangan
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 1</i></p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 2</i></p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 3</i></p>

	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 4</i></p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 5</i></p>

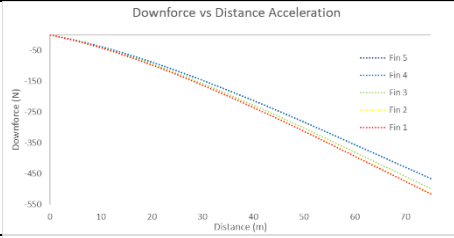
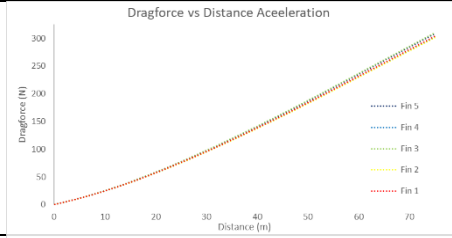
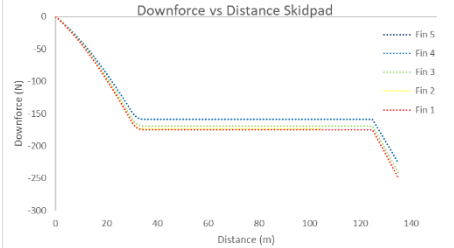
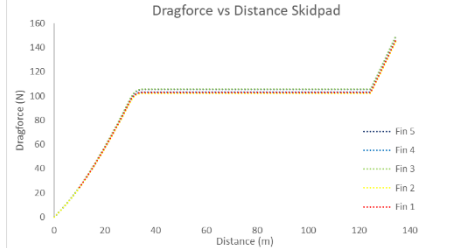
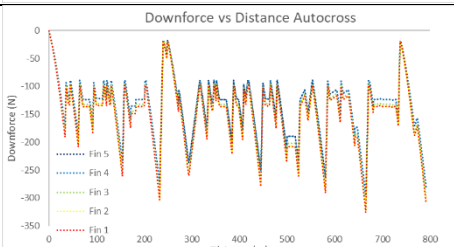
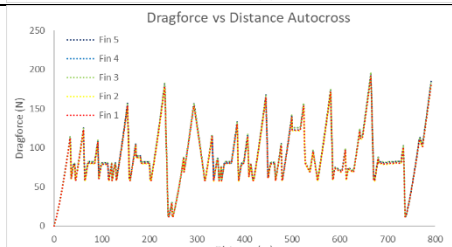
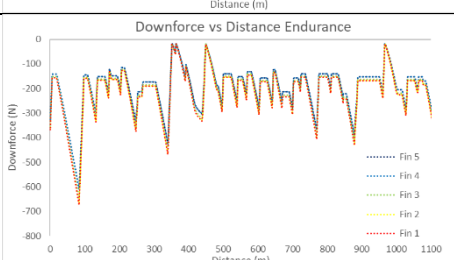
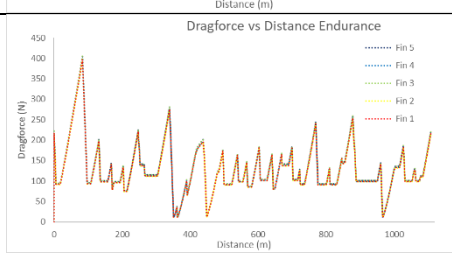


T. *Contour Coefficient of Pressure* pada Atas dan Bawah Mobil dengan *Velocity* 22.5 m/s

<i>Contour Velocity</i> pada Mobil	Keterangan
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 1</i></p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 2</i></p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 3</i></p>

	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 4</i></p>
	<p>Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 5</i></p>

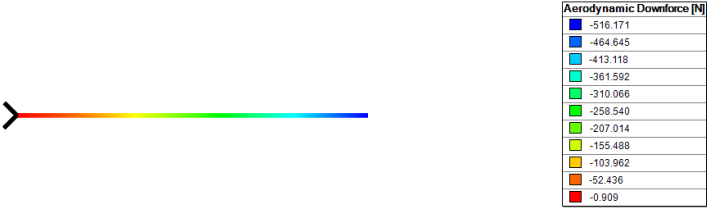
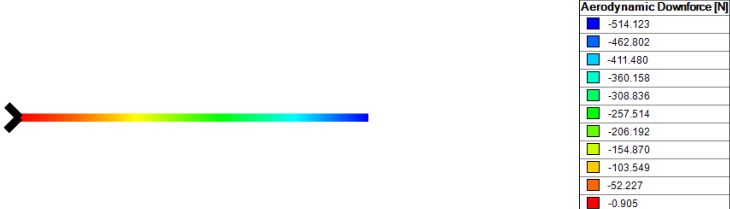
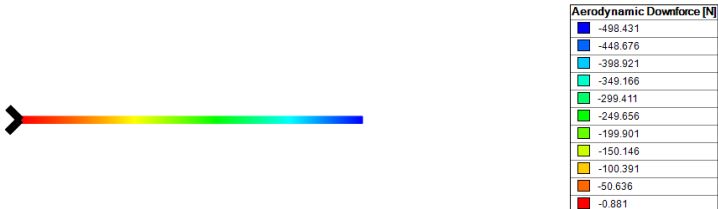
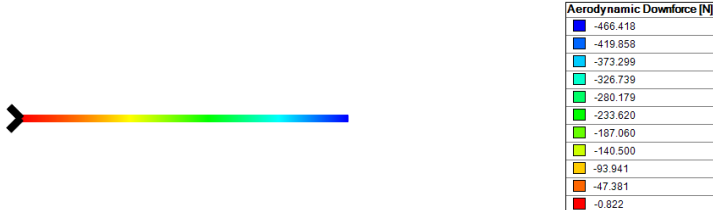
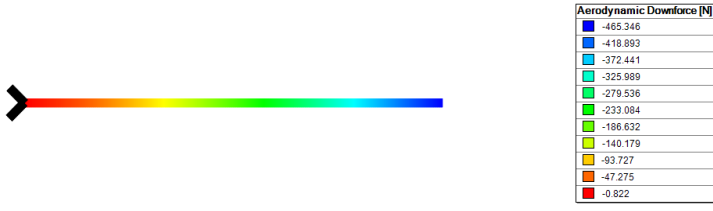
## U. Performa Aerodynamics saat Di Track

<i>Downforce</i>	<i>Dragforce</i>	<i>Keterangan</i>
 <p style="font-size: small;">Downforce vs Distance Acceleration</p> <p style="font-size: x-small;">Downforce (N) vs Distance (m). The graph shows a linear decrease in downforce from approximately -50 N at 0 m to -500 N at 70 m for all five fins. The lines for Fin 1 (red) and Fin 5 (blue) are nearly identical, while Fin 2 (yellow), Fin 3 (green), and Fin 4 (orange) show slightly lower downforce values.</p>	 <p style="font-size: small;">Dragforce vs Distance Acceleration</p> <p style="font-size: x-small;">Dragforce (N) vs Distance (m). The graph shows a linear increase in dragforce from 0 N at 0 m to approximately 300 N at 70 m for all five fins. The lines for all fins are very close to each other.</p>	<i>Acceleration</i>
 <p style="font-size: small;">Downforce vs Distance Skidpad</p> <p style="font-size: x-small;">Downforce (N) vs Distance (m). The graph shows a sharp initial drop in downforce from 0 N to about -150 N within the first 20 meters, followed by a steady increase to approximately -250 N at 140 meters. All fins perform similarly.</p>	 <p style="font-size: small;">Dragforce vs Distance Skidpad</p> <p style="font-size: x-small;">Dragforce (N) vs Distance (m). The graph shows a sharp initial increase in dragforce from 0 N to about 100 N within the first 20 meters, followed by a steady increase to approximately 150 N at 140 meters. All fins perform similarly.</p>	<i>Skidpad</i>
 <p style="font-size: small;">Downforce vs Distance Autocross</p> <p style="font-size: x-small;">Downforce (N) vs Distance (m). The graph shows highly fluctuating downforce values between -350 N and 0 N over a distance of 800 meters. The fluctuations are consistent across all five fins.</p>	 <p style="font-size: small;">Dragforce vs Distance Autocross</p> <p style="font-size: x-small;">Dragforce (N) vs Distance (m). The graph shows highly fluctuating dragforce values between 0 N and 250 N over a distance of 800 meters. The fluctuations are consistent across all five fins.</p>	<i>Autocross</i>
 <p style="font-size: small;">Downforce vs Distance Endurance</p> <p style="font-size: x-small;">Downforce (N) vs Distance (m). The graph shows highly fluctuating downforce values between -800 N and 0 N over a distance of 1100 meters. The fluctuations are consistent across all five fins.</p>	 <p style="font-size: small;">Dragforce vs Distance Endurance</p> <p style="font-size: x-small;">Dragforce (N) vs Distance (m). The graph shows highly fluctuating dragforce values between 0 N and 450 N over a distance of 1100 meters. The fluctuations are consistent across all five fins.</p>	<i>Endurance</i>

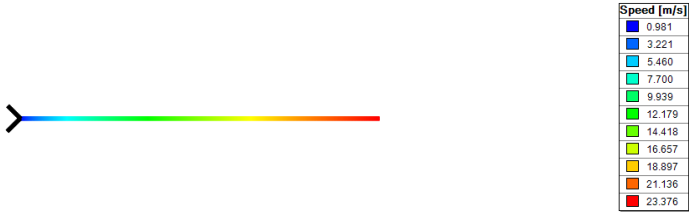

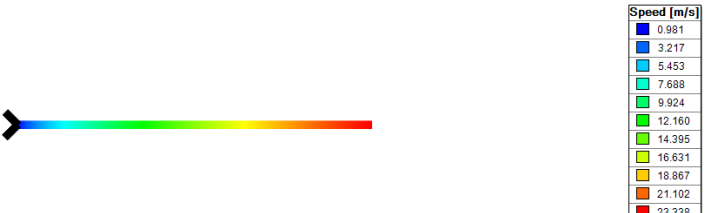
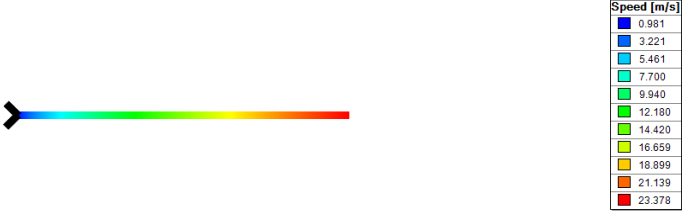
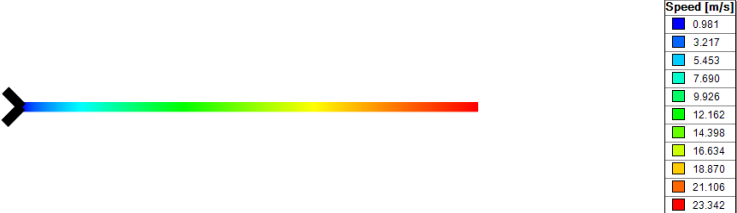
V. Downforce vs Distance vs Engine pada Aerodynamics

Downforce vs Distance vs Engine		Keterangan
		Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 1
		Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 2
		Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 3
		Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 4
		Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 5


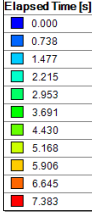

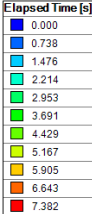

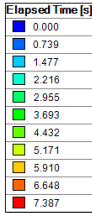

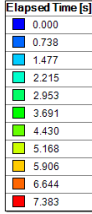

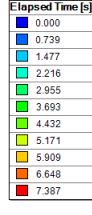
W. Contour Downforce pada Acceleration

Contour Downforce	Keterangan
	<p>Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 1</p>
	<p>Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 2</p>
	<p>Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 3</p>
	<p>Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 4</p>
	<p>Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 5</p>

X. *Contour Speed* pada *Acceleration*

<i>Contour Speed</i>	Keterangan
	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 1</i>
	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 2</i>
	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 3</i>
	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 4</i>
	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 5</i>

Y. *Contour Time* pada *Acceleration*

<i>Contour Time</i>	Keterangan
 	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 1</i>
 	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 2</i>
 	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 3</i>
 	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 4</i>
 	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 5</i>

Z. Downforce vs Distance vs Engine pada Skidpad

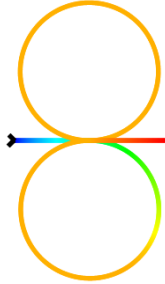
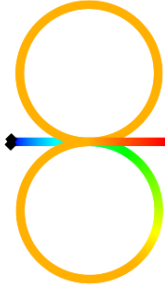
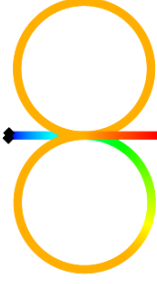
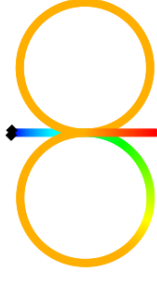
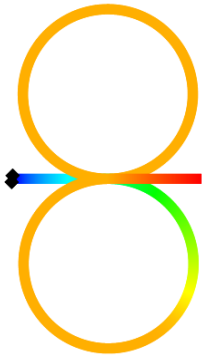
Downforce vs Distance vs Engine		Keterangan
<p>Downforce Fin 1 vs Distance Skidpad vs Engine</p>		Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 1
<p>Downforce Fin 2 vs Distance Skidpad vs Engine</p>		Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 2
<p>Downforce Fin 3 vs Distance Skidpad vs Engine</p>		Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 3
<p>Downforce Fin 4 vs Distance Skidpad vs Engine</p>		Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 4
<p>Downforce Fin 5 vs Distance Skidpad vs Engine</p>		Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 5



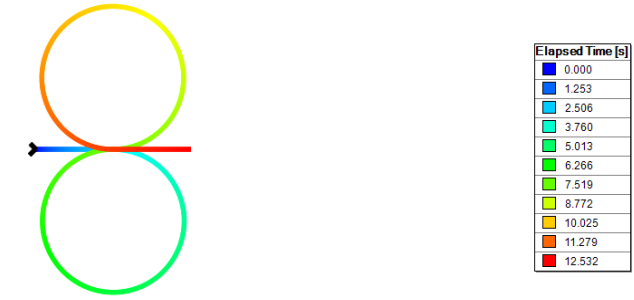



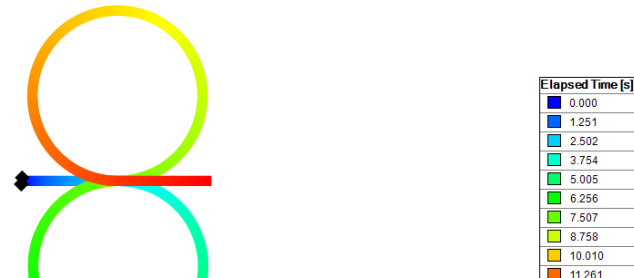
AA. Contour Downforce pada Skidpad

Contour Downforce		Keterangan
		Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 1
		Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 2
		Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 3
		Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 4
		Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 5

BB. *Contour Speed* pada Skidpad

<i>Contour Speed</i>		Keterangan
	<p>Speed [m/s]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>0.981</li> <li>2.506</li> <li>4.030</li> <li>5.555</li> <li>7.079</li> <li>8.603</li> <li>10.128</li> <li>11.652</li> <li>13.177</li> <li>14.701</li> <li>16.226</li> </ul>	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 1</i>
	<p>Speed [m/s]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>0.981</li> <li>2.506</li> <li>4.031</li> <li>5.556</li> <li>7.081</li> <li>8.606</li> <li>10.130</li> <li>11.655</li> <li>13.180</li> <li>14.705</li> <li>16.230</li> </ul>	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 2</i>
	<p>Speed [m/s]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>0.981</li> <li>2.506</li> <li>4.031</li> <li>5.556</li> <li>7.081</li> <li>8.606</li> <li>10.131</li> <li>11.656</li> <li>13.180</li> <li>14.705</li> <li>16.230</li> </ul>	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 3</i>
	<p>Speed [m/s]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>0.981</li> <li>2.509</li> <li>4.037</li> <li>5.565</li> <li>7.093</li> <li>8.621</li> <li>10.149</li> <li>11.677</li> <li>13.205</li> <li>14.733</li> <li>16.261</li> </ul>	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 4</i>
	<p>Speed [m/s]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>0.981</li> <li>2.509</li> <li>4.036</li> <li>5.563</li> <li>7.091</li> <li>8.618</li> <li>10.145</li> <li>11.673</li> <li>13.200</li> <li>14.727</li> <li>16.254</li> </ul>	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 5</i>

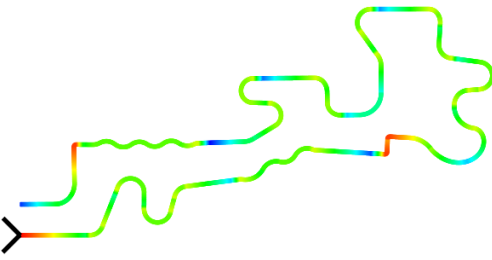
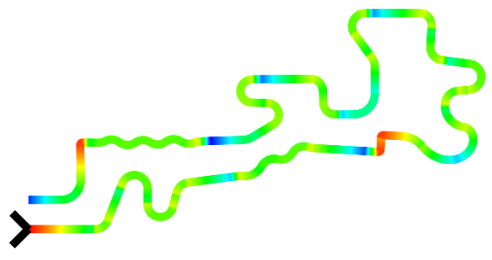
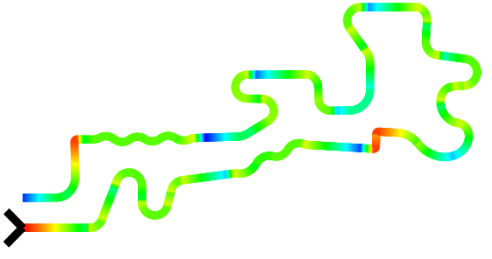
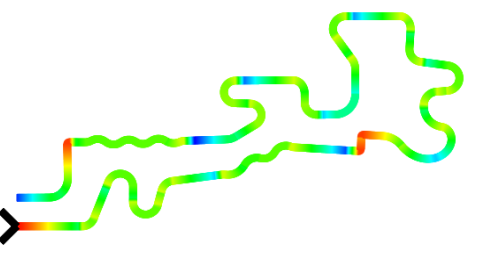
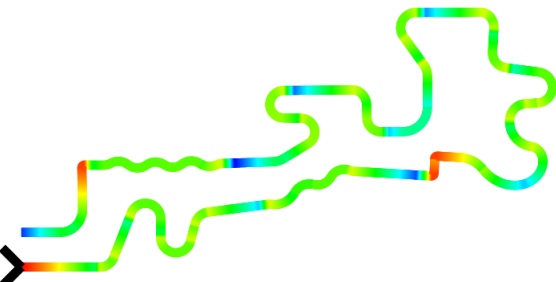
CC. *Contour Time* pada *Skidpad*

<i>Contour Time</i>	Keterangan
	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 1</i>
	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 2</i>
	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 3</i>
	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 4</i>
	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 5</i>

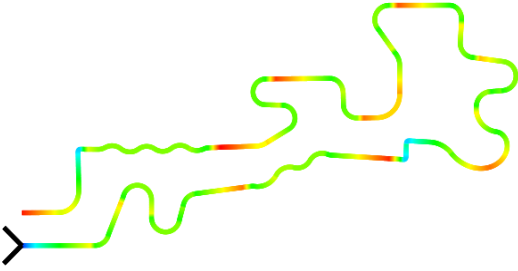
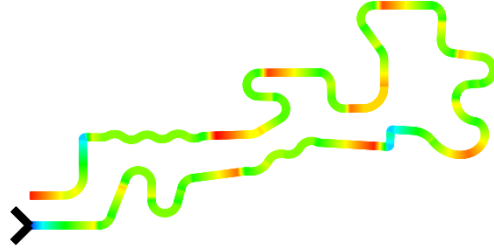

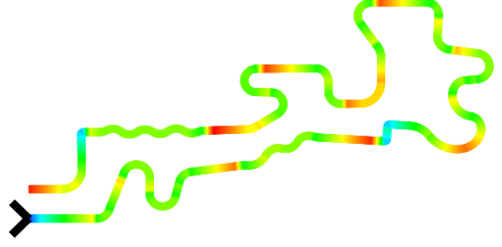
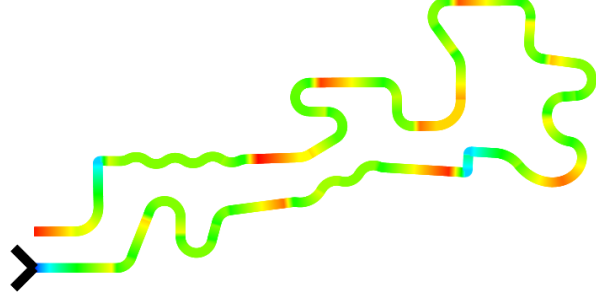
DD. *Downforce vs Distance vs Engine pada Autocross*

<i>Downforce vs Distance vs Engine</i>		Keterangan
	Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 1	
	Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 2	
	Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 3	
	Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 4	
	Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 5	

EE. *Contour Downforce pada Autocross*

<i>Contour Downforce</i>		Keterangan																							
 <table border="1" data-bbox="1002 309 1157 526"> <thead> <tr> <th colspan="2">Aerodynamic Downforce [N]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>■</td><td>-325.742</td></tr> <tr><td>■</td><td>-293.259</td></tr> <tr><td>■</td><td>-260.776</td></tr> <tr><td>■</td><td>-228.293</td></tr> <tr><td>■</td><td>-195.809</td></tr> <tr><td>■</td><td>-163.326</td></tr> <tr><td>■</td><td>-130.843</td></tr> <tr><td>■</td><td>-98.359</td></tr> <tr><td>■</td><td>-65.876</td></tr> <tr><td>■</td><td>-33.393</td></tr> <tr><td>■</td><td>-0.909</td></tr> </tbody> </table>	Aerodynamic Downforce [N]		■	-325.742	■	-293.259	■	-260.776	■	-228.293	■	-195.809	■	-163.326	■	-130.843	■	-98.359	■	-65.876	■	-33.393	■	-0.909	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 1</i>
Aerodynamic Downforce [N]																									
■	-325.742																								
■	-293.259																								
■	-260.776																								
■	-228.293																								
■	-195.809																								
■	-163.326																								
■	-130.843																								
■	-98.359																								
■	-65.876																								
■	-33.393																								
■	-0.909																								
 <table border="1" data-bbox="1002 633 1157 851"> <thead> <tr> <th colspan="2">Aerodynamic Downforce [N]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>■</td><td>-324.149</td></tr> <tr><td>■</td><td>-291.825</td></tr> <tr><td>■</td><td>-259.500</td></tr> <tr><td>■</td><td>-227.176</td></tr> <tr><td>■</td><td>-194.851</td></tr> <tr><td>■</td><td>-162.527</td></tr> <tr><td>■</td><td>-130.203</td></tr> <tr><td>■</td><td>-97.878</td></tr> <tr><td>■</td><td>-65.554</td></tr> <tr><td>■</td><td>-33.229</td></tr> <tr><td>■</td><td>-0.905</td></tr> </tbody> </table>	Aerodynamic Downforce [N]		■	-324.149	■	-291.825	■	-259.500	■	-227.176	■	-194.851	■	-162.527	■	-130.203	■	-97.878	■	-65.554	■	-33.229	■	-0.905	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 2</i>
Aerodynamic Downforce [N]																									
■	-324.149																								
■	-291.825																								
■	-259.500																								
■	-227.176																								
■	-194.851																								
■	-162.527																								
■	-130.203																								
■	-97.878																								
■	-65.554																								
■	-33.229																								
■	-0.905																								
 <table border="1" data-bbox="1002 936 1157 1153"> <thead> <tr> <th colspan="2">Aerodynamic Downforce [N]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>■</td><td>-315.916</td></tr> <tr><td>■</td><td>-284.412</td></tr> <tr><td>■</td><td>-252.909</td></tr> <tr><td>■</td><td>-221.405</td></tr> <tr><td>■</td><td>-189.902</td></tr> <tr><td>■</td><td>-158.398</td></tr> <tr><td>■</td><td>-126.895</td></tr> <tr><td>■</td><td>-95.391</td></tr> <tr><td>■</td><td>-63.888</td></tr> <tr><td>■</td><td>-32.385</td></tr> <tr><td>■</td><td>-0.881</td></tr> </tbody> </table>	Aerodynamic Downforce [N]		■	-315.916	■	-284.412	■	-252.909	■	-221.405	■	-189.902	■	-158.398	■	-126.895	■	-95.391	■	-63.888	■	-32.385	■	-0.881	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 3</i>
Aerodynamic Downforce [N]																									
■	-315.916																								
■	-284.412																								
■	-252.909																								
■	-221.405																								
■	-189.902																								
■	-158.398																								
■	-126.895																								
■	-95.391																								
■	-63.888																								
■	-32.385																								
■	-0.881																								
 <table border="1" data-bbox="1002 1238 1157 1456"> <thead> <tr> <th colspan="2">Aerodynamic Downforce [N]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>■</td><td>-295.851</td></tr> <tr><td>■</td><td>-266.348</td></tr> <tr><td>■</td><td>-236.845</td></tr> <tr><td>■</td><td>-207.342</td></tr> <tr><td>■</td><td>-177.839</td></tr> <tr><td>■</td><td>-148.336</td></tr> <tr><td>■</td><td>-118.833</td></tr> <tr><td>■</td><td>-89.330</td></tr> <tr><td>■</td><td>-59.827</td></tr> <tr><td>■</td><td>-30.325</td></tr> <tr><td>■</td><td>-0.822</td></tr> </tbody> </table>	Aerodynamic Downforce [N]		■	-295.851	■	-266.348	■	-236.845	■	-207.342	■	-177.839	■	-148.336	■	-118.833	■	-89.330	■	-59.827	■	-30.325	■	-0.822	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 4</i>
Aerodynamic Downforce [N]																									
■	-295.851																								
■	-266.348																								
■	-236.845																								
■	-207.342																								
■	-177.839																								
■	-148.336																								
■	-118.833																								
■	-89.330																								
■	-59.827																								
■	-30.325																								
■	-0.822																								
 <table border="1" data-bbox="1013 1552 1157 1758"> <thead> <tr> <th colspan="2">Aerodynamic Downforce [N]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>■</td><td>-295.692</td></tr> <tr><td>■</td><td>-266.205</td></tr> <tr><td>■</td><td>-236.718</td></tr> <tr><td>■</td><td>-207.231</td></tr> <tr><td>■</td><td>-177.744</td></tr> <tr><td>■</td><td>-148.257</td></tr> <tr><td>■</td><td>-118.770</td></tr> <tr><td>■</td><td>-89.283</td></tr> <tr><td>■</td><td>-59.796</td></tr> <tr><td>■</td><td>-30.309</td></tr> <tr><td>■</td><td>-0.822</td></tr> </tbody> </table>	Aerodynamic Downforce [N]		■	-295.692	■	-266.205	■	-236.718	■	-207.231	■	-177.744	■	-148.257	■	-118.770	■	-89.283	■	-59.796	■	-30.309	■	-0.822	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 5</i>
Aerodynamic Downforce [N]																									
■	-295.692																								
■	-266.205																								
■	-236.718																								
■	-207.231																								
■	-177.744																								
■	-148.257																								
■	-118.770																								
■	-89.283																								
■	-59.796																								
■	-30.309																								
■	-0.822																								

FF. Contour Speed pada Autocross

Contour Speed	Keterangan
 <p>Speed [m/s]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>0.981</li> <li>2.740</li> <li>4.499</li> <li>6.258</li> <li>8.017</li> <li>9.776</li> <li>11.534</li> <li>13.293</li> <li>15.052</li> <li>16.811</li> <li>18.570</li> </ul>	<p>Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 1</p>
 <p>Speed [m/s]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>0.981</li> <li>2.740</li> <li>4.499</li> <li>6.258</li> <li>8.017</li> <li>9.776</li> <li>11.535</li> <li>13.295</li> <li>15.054</li> <li>16.813</li> <li>18.572</li> </ul>	<p>Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 2</p>
 <p>Speed [m/s]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>0.981</li> <li>2.741</li> <li>4.501</li> <li>6.261</li> <li>8.021</li> <li>9.781</li> <li>11.540</li> <li>13.300</li> <li>15.060</li> <li>16.820</li> <li>18.580</li> </ul>	<p>Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 3</p>
 <p>Speed [m/s]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>0.981</li> <li>2.745</li> <li>4.509</li> <li>6.273</li> <li>8.036</li> <li>9.800</li> <li>11.564</li> <li>13.328</li> <li>15.092</li> <li>16.856</li> <li>18.619</li> </ul>	<p>Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 4</p>
 <p>Speed [m/s]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>0.981</li> <li>2.744</li> <li>4.506</li> <li>6.269</li> <li>8.031</li> <li>9.794</li> <li>11.557</li> <li>13.319</li> <li>15.082</li> <li>16.844</li> <li>18.607</li> </ul>	<p>Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 5</p>

GG. *Contour Time* pada Autocross

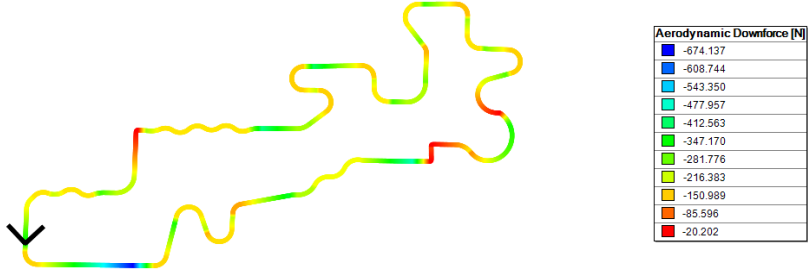
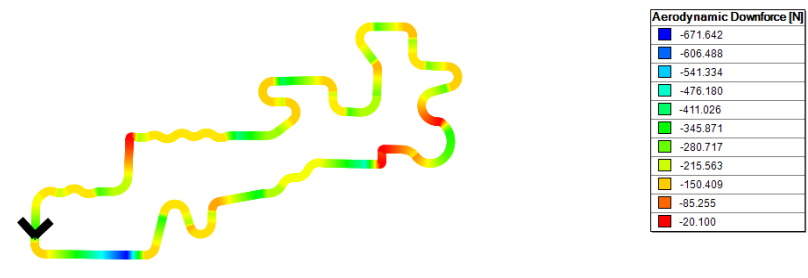
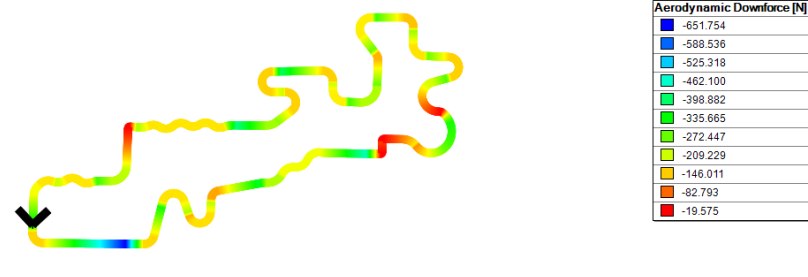
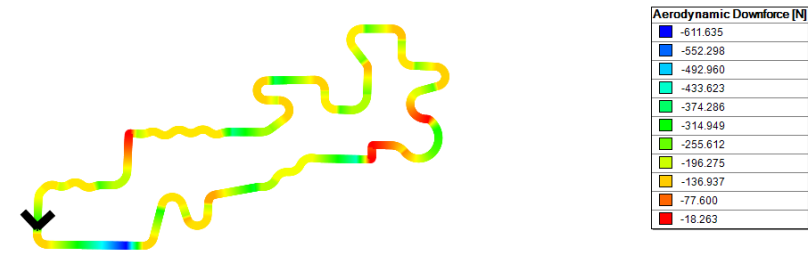
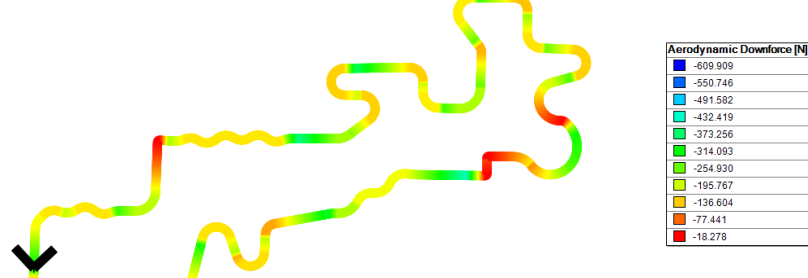
<i>Contour Time</i>		Keterangan												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Elapsed Time [s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.000</td></tr> <tr><td>6.886</td></tr> <tr><td>13.772</td></tr> <tr><td>20.658</td></tr> <tr><td>27.544</td></tr> <tr><td>34.430</td></tr> <tr><td>41.316</td></tr> <tr><td>48.202</td></tr> <tr><td>55.088</td></tr> <tr><td>61.974</td></tr> <tr><td>68.860</td></tr> </tbody> </table>	Elapsed Time [s]	0.000	6.886	13.772	20.658	27.544	34.430	41.316	48.202	55.088	61.974	68.860	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 1</i>
Elapsed Time [s]														
0.000														
6.886														
13.772														
20.658														
27.544														
34.430														
41.316														
48.202														
55.088														
61.974														
68.860														
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Elapsed Time [s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.000</td></tr> <tr><td>6.885</td></tr> <tr><td>13.770</td></tr> <tr><td>20.655</td></tr> <tr><td>27.540</td></tr> <tr><td>34.425</td></tr> <tr><td>41.310</td></tr> <tr><td>48.196</td></tr> <tr><td>55.081</td></tr> <tr><td>61.966</td></tr> <tr><td>68.851</td></tr> </tbody> </table>	Elapsed Time [s]	0.000	6.885	13.770	20.655	27.540	34.425	41.310	48.196	55.081	61.966	68.851	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 2</i>
Elapsed Time [s]														
0.000														
6.885														
13.770														
20.655														
27.540														
34.425														
41.310														
48.196														
55.081														
61.966														
68.851														
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Elapsed Time [s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.000</td></tr> <tr><td>6.884</td></tr> <tr><td>13.768</td></tr> <tr><td>20.651</td></tr> <tr><td>27.535</td></tr> <tr><td>34.419</td></tr> <tr><td>41.303</td></tr> <tr><td>48.187</td></tr> <tr><td>55.071</td></tr> <tr><td>61.954</td></tr> <tr><td>68.838</td></tr> </tbody> </table>	Elapsed Time [s]	0.000	6.884	13.768	20.651	27.535	34.419	41.303	48.187	55.071	61.954	68.838	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 3</i>
Elapsed Time [s]														
0.000														
6.884														
13.768														
20.651														
27.535														
34.419														
41.303														
48.187														
55.071														
61.954														
68.838														
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Elapsed Time [s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.000</td></tr> <tr><td>6.876</td></tr> <tr><td>13.751</td></tr> <tr><td>20.627</td></tr> <tr><td>27.503</td></tr> <tr><td>34.379</td></tr> <tr><td>41.254</td></tr> <tr><td>48.130</td></tr> <tr><td>55.006</td></tr> <tr><td>61.881</td></tr> <tr><td>68.757</td></tr> </tbody> </table>	Elapsed Time [s]	0.000	6.876	13.751	20.627	27.503	34.379	41.254	48.130	55.006	61.881	68.757	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 4</i>
Elapsed Time [s]														
0.000														
6.876														
13.751														
20.627														
27.503														
34.379														
41.254														
48.130														
55.006														
61.881														
68.757														
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Elapsed Time [s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.000</td></tr> <tr><td>6.877</td></tr> <tr><td>13.754</td></tr> <tr><td>20.631</td></tr> <tr><td>27.507</td></tr> <tr><td>34.384</td></tr> <tr><td>41.261</td></tr> <tr><td>48.138</td></tr> <tr><td>55.015</td></tr> <tr><td>61.892</td></tr> <tr><td>68.769</td></tr> </tbody> </table>	Elapsed Time [s]	0.000	6.877	13.754	20.631	27.507	34.384	41.261	48.138	55.015	61.892	68.769	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 5</i>
Elapsed Time [s]														
0.000														
6.877														
13.754														
20.631														
27.507														
34.384														
41.261														
48.138														
55.015														
61.892														
68.769														

HH. *Downforce vs Distance vs Engine pada Endurance*

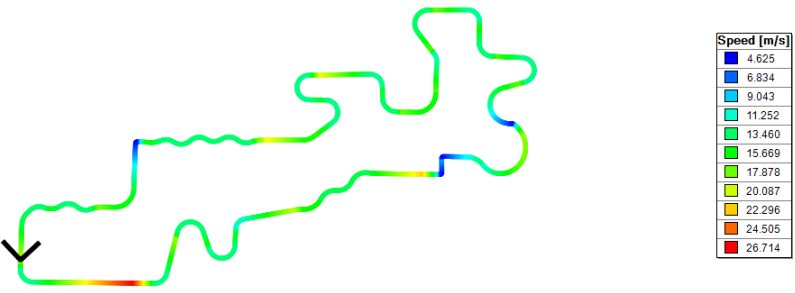
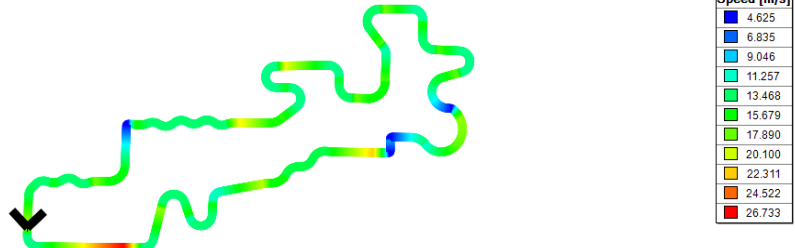
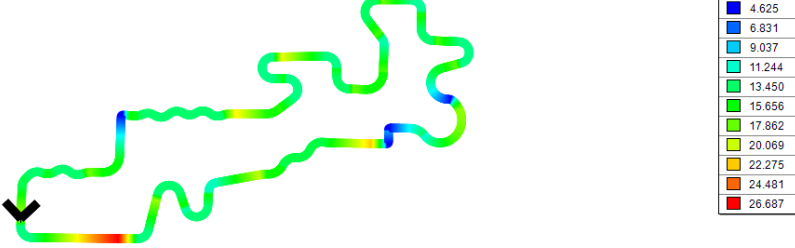

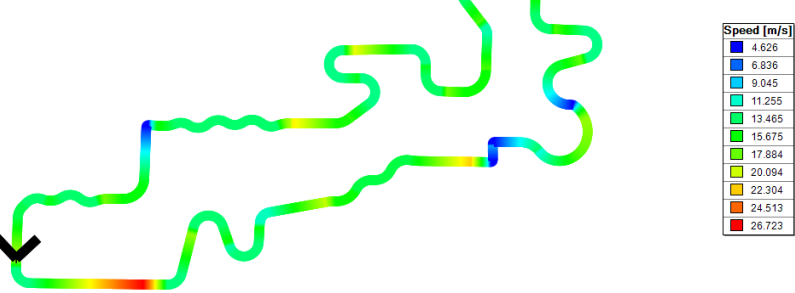
<p style="text-align: center;"><i>Downforce vs Distance vs Engine</i></p>		<p style="text-align: center;">Keterangan</p>
		<p style="text-align: center;">Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin</i> 1</p>
		<p style="text-align: center;">Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin</i> 2</p>
		<p style="text-align: center;">Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin</i> 3</p>
		<p style="text-align: center;">Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin</i> 4</p>
		<p style="text-align: center;">Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin</i> 5</p>



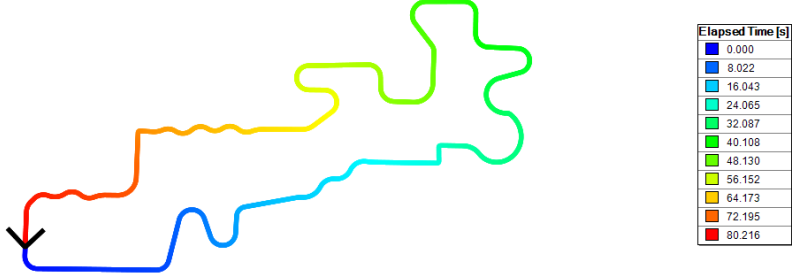
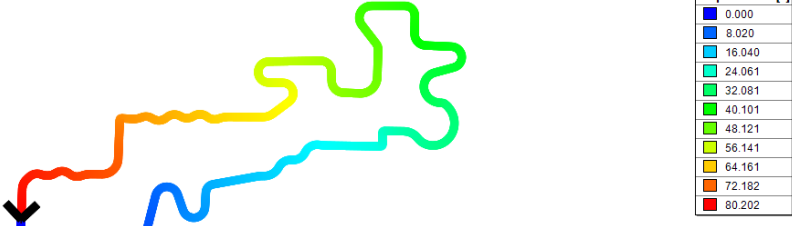
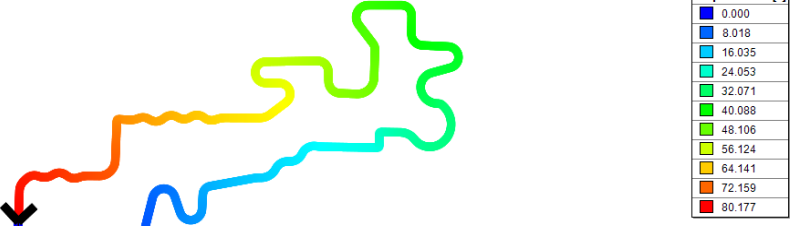
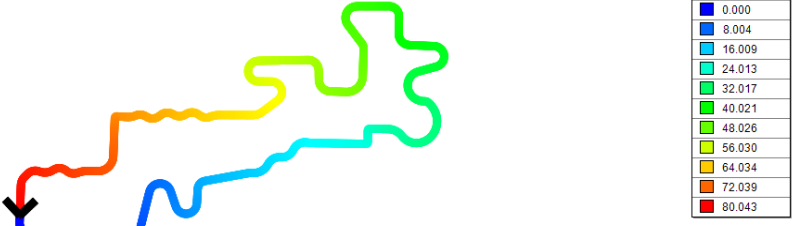
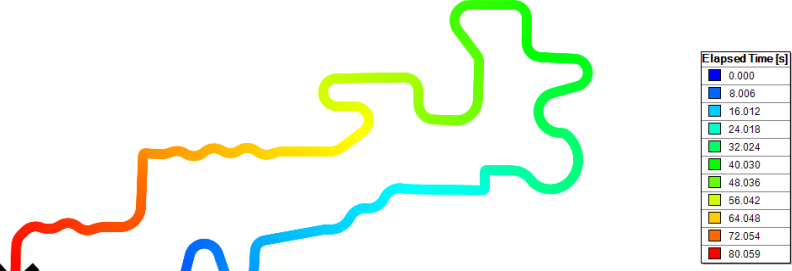
II. *Contour Downforce* pada *Endurance*

<i>Contour Downforce</i>	Keterangan
	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 1</i>
	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 2</i>
	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 3</i>
	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 4</i>
	Menggunakan <i>Undertray</i> dengan <i>Separate Fin 5</i>

JJ. Contour Speed pada Endurance

Contour Speed	Keterangan
 <p>Speed [m/s]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>4.625</li> <li>6.834</li> <li>9.043</li> <li>11.252</li> <li>13.460</li> <li>15.669</li> <li>17.878</li> <li>20.087</li> <li>22.296</li> <li>24.505</li> <li>26.714</li> </ul>	<p>Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 1</p>
 <p>Speed [m/s]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>4.625</li> <li>6.835</li> <li>9.046</li> <li>11.257</li> <li>13.468</li> <li>15.679</li> <li>17.890</li> <li>20.100</li> <li>22.311</li> <li>24.522</li> <li>26.733</li> </ul>	<p>Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 2</p>
 <p>Speed [m/s]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>4.625</li> <li>6.831</li> <li>9.037</li> <li>11.244</li> <li>13.450</li> <li>15.656</li> <li>17.862</li> <li>20.069</li> <li>22.275</li> <li>24.481</li> <li>26.687</li> </ul>	<p>Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 3</p>
 <p>Speed [m/s]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>4.626</li> <li>6.841</li> <li>9.055</li> <li>11.270</li> <li>13.484</li> <li>15.699</li> <li>17.913</li> <li>20.128</li> <li>22.342</li> <li>24.557</li> <li>26.772</li> </ul>	<p>Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 4</p>
 <p>Speed [m/s]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>4.626</li> <li>6.836</li> <li>9.045</li> <li>11.255</li> <li>13.465</li> <li>15.675</li> <li>17.884</li> <li>20.094</li> <li>22.304</li> <li>24.513</li> <li>26.723</li> </ul>	<p>Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 5</p>

KK. Contour Time pada Endurance

Contour Time	Keterangan
	<p>Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 1</p>
	<p>Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 2</p>
	<p>Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 3</p>
	<p>Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 4</p>
	<p>Menggunakan Undertray dengan Separate Fin 5</p>

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara yang lahir di Magetan, Jawa Timur pada tanggal 17 September 1995. Pendidikan formal yang pernah ditempuh meliputi SD Negeri Sumberagung 1, SMP Negeri 2 Plaosan, SMK Penerbangan Angkasa Lanud Iswahjudi Magetan, dan DIII Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi - Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Kemudian pada tahun 2019 penulis melanjutkan pendidikan kejenjang Sarjana di Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem - Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama menempuh perkuliahan penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi sebagai Anggota UKM Penalaran ITS 2016/2017, Anggota Laboratorium Perautan Departemen Teknik Mesin Industri ITS, staff magang ITS Team Sapuangin 2016/2017, staff ITS Team Sapuangin 2017/2018, dan terakhir menjabat sebagai Kepala Divisi Frame Body ITS Team Sapuangin 2018/2019.

Penulis juga mengikuti beberapa pelatihan seperti Pelatihan Karya Tulis Ilmiah (PKTI) TD FTI-ITS, Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa (LKMM) Pra-TD XIV FTI-ITS, LKMM TD X HMDM FV-ITS, Program Studi Islam JMMI ITS 2017, dan Autodesk Inventor Training DECIMO Surabaya 2017.

Kemudian penulis juga mempunyai prestasi Juara 1 Internal Combustion Engine Urban Concept Kontes Mobil Hemat Energi 2017 KEMENRISTEKDIKTI Tingkat Nasional, Juara 1 Hybrid Engine Urban Concept Kontes Mobil Hemat Energi 2017 KEMENRISTEKDIKTI Tingkat Nasional, Juara 1 FDR Award Kontes Mobil Hemat Energi 2017 KEMENRISTEKDIKTI Tingkat Nasional, Juara 1 Kontes Mobil Balap Hemat Energi 2017 KEMENRISTEKDIKTI Tingkat Nasional, Juara 3 Kontes Mobil Balap Hemat Energi 2017 KEMENRISTEKDIKTI Tingkat Nasional, *The Winner Internal Combustion Engine Urban Class Shell Eco Marathon Asia*, Singapore, *Runner up Driver's World Championship Regional Asia*, Singapore, *The Winner Driver's World Championship Global*, London UK, dan *Driver's World Championship Ferrari Manarello Experience*.

Penulis juga pernah melaksanakan Kerja Praktek di PT. GMF AeroAsia - Soekarno-Hatta International Airport, Cengkareng dan Kerja Praktek di Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan, Teknik Fisika - Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

E-mail: [bakdamhamza@gmail.com](mailto:bakdamhamza@gmail.com)