

**PROYEK AKHIR - VM 191774**

**ANALISA PENGARUH REAR WING TERHADAP  
PERFORMA MOBIL FORMULA STUDENT  
NOGOGENI ITS MENGGUNAKAN SIMULASI  
NUMERIK**

**MARLIN DWI JAYA KUSUMA**  
NRP 10211810010002

Dosen Pembimbing  
**Dedy Zulhidayat Noor, ST., MT. Ph.D**  
NIP 19751206 200501 1 002

**Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekaya Konversi Energi**  
Departemen Teknik Mesin Industri  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya



**PROYEK AKHIR - VM 191774**

**ANALISA PENGARUH REAR WING TERHADAP  
PERFORMA MOBIL FORMULA STUDENT  
NOGOGENI ITS MENGGUNAKAN SIMULASI  
NUMERIK**

**MARLIN DWI JAYA KUSUMA**  
NRP 10211810010002

Dosen Pembimbing  
**Dedy Zulhidayat Noor, ST., MT. Ph.D**  
NIP 19751206 200501 1 002

**Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi**  
Departemen Teknik Mesin Industri  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022



**FINAL PROJECT - VM 191774**

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF REAR WING ON  
THE PERFORMANCE OF ITS NOGOGENI STUDENT  
FORMULA CAR USING NUMERICAL SIMULATION**

**MARLIN DWI JAYA KUSUMA**  
NRP 10211810010002

Advisor  
**Dedy Zulhidayat Noor, ST., MT. Ph.D**  
NIP 19751206 200501 1 002

**Bachelor of Applied Energi Conversion Engineering Technology**  
Department of Industrial Mechanical Engineering  
Fakulty of Vocation  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022

***(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)***

# LEMBAR PENGESAHAN

## ANALISA PENGARUH REAR WING TERHADAP PERFORMA MOBIL FORMULA STUDENT NOGOGENI ITS MENGGUNAKAN SIMULASI NUMERIK

### PROYEK AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
memperoleh gelar Sarjana Terapan pada  
Program Studi D-4 Teknologi Rekayasa Konversi Energi  
Departemen Teknik Mesin Industri  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh: **MARLIN DWI JAYA KUSUMA**  
**NRP.10211810010002**

Disetujui oleh Tim Penguji Proyek Akhir :

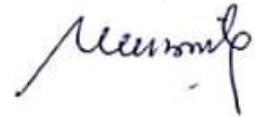
1. Dedy Zulhidayat Noor, S.T, M.T, Ph.D.  
NIP.19751206 200501 1 002

Pembimbing



2. Dr. Ir. Heru Mirmanto, M.T.  
NIP. 19620216 199512 1 001

Penguji



3. Ir. Budi Luwar Sanyoto, M.T.  
NIP. 19621114 199003 1 002

Penguji



4. Rivai Wardhani, S.T., M.Sc.  
NIP. 19810722 200912 1 004

Penguji



**SURABAYA**

**Juli, 2022**

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Marlin Dwi Jaya Kusuma / 10211810010002  
Departemen : Teknik Mesin Industri  
Dosen Pembimbing / NIP : Dedy Zulhidayat Noor, S.T, M.T, Ph.D./  
19751206 200501 1 002

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “ANALISA PENGARUH *REAR WING* TERHADAP PERFORMA MOBIL *FORMULA STUDENT* NOGOGENI ITS MENGGUNAKAN SIMULASI NUMERIK” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

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

Surabaya, 18 Juli 2022

Mengetahui,

Dosen Pembimbing



Dedy Zulhidayat Noor, S.T, M.T, Ph.D.

NIP. 19751206 200501 1 002

Mahasiswa,



Marlin Dwi Jaya Kusuma

NRP. 1021181001002

# **PENGARUH REAR WING TERHADAP PERFORMA MOBIL FORMULA STUDENT NOGOGENI ITS MENGGUNAKAN SIMULASI NUMERIK**

**Nama Mahasiswa** : Marlin Dwi Jaya Kusuma  
**NRP** : 10211810010002  
**Departemen** : Teknik Mesin Industri FV-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dedy Zulhidayat Noor, S.T., M.T., Ph.D

## **ABSTRAK**

Formula SAE Australasia (FSAE-A) adalah kompetisi tahunan yang merupakan bagian dari *Formula Student of Automotive Engineering (FSAE)* yang diadakan di Australia dengan peserta yang diikuti oleh mahasiswa di seluruh dunia. Nogogeni ITS Team untuk pertama kalinya mengikuti kompetisi ini pada tahun 2020. Pada kategori *design event*, Nogogeni berfokus pada *reliability and maneuverability* kendaraan. Pengembangan aerodinamika pada mobil sangat penting untuk mendapatkan performa yang maksimal dan meningkatkan keselamatan pada mobil.

Pada penelitian ini dengan menggunakan body yang cukup kompleks, yaitu *nosecone, wishbone, wheels, engine, frame, driver, headrest* cukup membuat hasil simulasi menjadi lebih akurat dengan menggunakan body yang kompleks di banding dengan penelitian terdahulu, parameter yang digunakan dalam proyek akhir ini adalah tentang kecepatan dan juga tekanan pada performa mobil, ketika tidak menggunakan perangkat aerodinamika, dan ketika menggunakan perangkat aerodinamika *rear wing*. jenis yang di gunakan oleh *airfoil* adalah jenis *Eppler E423* yang digunakan pada *rear wing*. Pada simulasi *Computational Fluid Dynamics (CFD)* dilakukan dengan menggunakan domain pada lintasan lurus dengan kecepatan 22.22 m/s, dan model turbulensi yang di gunakan yaitu *K-epsilon Realizable* dengan aliran *steady*. Karakteristik aliran dinyatakan dalam bentuk kontur distribusi tekanan, vektor kecepatan, dan grafik distribusi  $C_p$ .

Hasil menunjukkan Nilai  $C_d$  dan  $C_l$  mobil tanpa menggunakan *rear wing* adalah 0.32 dan -0.11, dengan nilai *dragforce* sebesar 63.10 N dan nilai *downforce* sebesar -22.22 N. Dengan penambahan *rear wing* saja mengalami peningkatan  $C_d$  sebesar 0.42 dan  $C_l$  sebesar -0.43, dengan nilai *dragforce* sebesar 99.72 N dan nilai *downforce* sebesar -102.21 N.

**Kata kunci:** *FSAE, Aerodinamika, CFD, Rear Wing, Cd, Cl*

## REAR WING INFLUENCE ON THE PERFORMANCE OF ITS NOGOGENI FORMULA STUDENT CAR USING NUMERICAL SIMULATIONS

**Name of Student** : Marlin Dwi Jaya Kusuma  
**NRP** : 10211810010002  
**Departement** : Teknik Mesin Industri FV-ITS  
**Supervisor** : Dedy Zulhidayat Noor, S.T., M.T., Ph.D

### ABSTRACT

*Formula SAE Australasia (FSAE-A) is an annual competition that is part of the Formula Student of Automotive Engineering (FSAE) held in Australia with participants followed by students around the world. Nogogeni ITS Team for the first time participated in this competition in 2020. In the event design category, Nogogeni focuses on the reliability and maneuverability of the vehicle. The development of aerodynamics in the car is very important to get maximum performance and improve safety in the car.*

*In this study using a fairly complex body, namely nosecone, wishbone, wheels, engine, frame, driver, headrest enough to make the simulation results more accurate by using a complex body compared to previous research, The parameters used in this final project are about speed and also pressure on the performance of the car, when not using aerodynamic devices, and when using rear wing aerodynamic devices. The type used by airfoil is the Eppler E423 type used on rear wings. Numerical modeling using fluent software in three dimensions. Computational Fluid Dynamics (CFD) simulation is done using a domain on a straight track with a speed of 22.22 m / s, and the turbulence model used is K-epsilon Realizable with steady flow. Flow characteristics are expressed in the form of pressure distribution contours, velocity vectors, and Gafic Cp distributions.*

*The results show the Cd and Cl values of the car without the use of rear wing are 0.32 and -0.136, with a dragforce value of 63.10 N and a downforce value of -22.22 N . With the addition of rear wing alone, it increased Cd by 0.42 and Cl by -0.43, with a dragforce value of 99.72 N and a downforce value of -102.21 N.*

**Keywords:** *FSAE, Aerodynamic, CFD, Rear Wing, Cd, Cl*

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT atas berkah, rahmat, serta hidayah-Nya yang senantiasa dilimpahkan kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan Proyek Akhir ini yang berjudul: “Pengaruh *Rear Wing* Terhadap Performa Mobil *Formula Student* Nogogeni ITS Menggunakan Simulasi Numerik”. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Proposal Proyek Akhir ini. Terima kasih saya sampaikan dengan hormat kepada :

1. Bapak **Dr. Ir. Heru Mirmanto, M.T.**, selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
2. Bapak **Dedy Zulhidayat Noor, S.T., M.T., Ph.D.**, selaku dosen pembimbing Proposal Proyek Akhir
3. Bapak **Rizaldy Hakim Ash Shiddieqy, S.T., M.T.**, dan Bapak **Ir. Joko Sarsetiyanto MT.**, selaku dosen pembimbing Nogogeni ITS Team yang memberikan masukan dan saran terhadap riset yang dilakukan oleh tim Nogogeni.
4. **Orang tua** yang selalu memberikan doa, semangat, dan motivasi agar penulis dapat menyelesaikan Proposal Proyek Akhir.
5. Teman-teman Tim Nogogeni 2019 yang telah membantu dan mendukung dalam pengerjaan Proyek Akhir
6. Teman-teman **Departemen Teknik Mesin Industri Angkatan 2018** atas dukungannya dalam pengerjaan Proyek Akhir.
7. Serta semua pihak yang telah membantu kelancaran penyusunan Proposal Proyek Akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan tugas akhir ini. Akhirnya, penulis berharap semoga proyek akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan di masa depan.

Surabaya, Juli 2022  
Penulis

## DAFTAR ISI

<b>PERNYATAAN ORISINALITAS</b> .....	<b>Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.</b>
<b>STATEMENT OF ORIGINALITY</b> .....	<b>Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	3
2.1 Formula SAE Australasia .....	3
2.2 Regulasi wing untuk Formula SAE-A .....	3
2.3 Ilmu Aerodiamika .....	4
2.4 Downforce .....	4
2.5 <i>Drag Force</i> .....	5
2.5.1 Definisi <i>Drag</i> Dan Persamaannya .....	6
2.5.2 Definisi Koefisien <i>Drag</i> Dan Persamaannya .....	6
2.6 <i>Lift Force</i> .....	6
2.6.1 Definisi <i>Lift</i> Dan Persamaannya .....	7
2.6.2 Definisi Koefisien <i>Lift</i> Dan Persamaannya .....	7
2.7 <i>Coefficient of Pressure</i> .....	7
2.8 Teori <i>Wings</i> .....	10
2.8.1 Airfoil .....	10

2.8.2 Angle of Attack of Wing.....	11
2.8.3 <i>Rear wing</i> .....	11
2.9 Penelitian Terdahulu.....	13
2.9.1 Penelitian Pengaruh Penambahan Front Wing Dan Rear Wing.....	13
2.9.2 Hasil Simulasi.....	18
2.10 <i>Computational Fluid Dynamic</i> .....	18
2.10.1 <i>Pre-processing</i> .....	19
2.10.2 <i>Processing</i> .....	19
2.10.3 <i>Post-processor</i> .....	20
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>22</b>
3.1 Studi Literatur .....	22
3.2 Geometri Benda Uji.....	23
3.3 Desain <i>Wing</i> dan dimensi .....	24
3.3.1 Dimensi <i>Rear Wing</i> .....	24
3.4 Simulasi CFD.....	25
3.4.1 <i>Computational Domain</i> .....	25
3.4.2 <i>Meshing</i> Paramater.....	26
3.4.3 Parameter Permodelan .....	26
3.5 Jadwal Kegiatan .....	29
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>30</b>
4.1 Validasi Metode Pengambilan Data .....	30
4.2 <i>Grid</i> Independensi .....	34
4.3 Hasil Simulasi Mobil tanpa <i>Rear Wing</i> .....	35
4.3.1 Grafik Coefficient Pressure pada Daerah Midspan Formula Student Nogogeni ITS .....	38
4.4 Hasil Simulasi Mobil menggunakan <i>Rear Wing</i> .....	39
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>48</b>
5.1 Kesimpulan .....	48

5.2 Saran .....	48
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>49</b>
<b>LAMPIRAN 1 : REGULASI F-SAE AUSTRALASIA .....</b>	<b>50</b>
<b>LAMPIRAN 2 : DIMENSI GEOMETRI KENDARAAN .....</b>	<b>51</b>
<b>BIODATA PENULIS .....</b>	<b>1</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Regulasi dimensi wing di Formula SAE Australasia (Australasia, 2021) .....	4
Gambar 2. 2 Downforce pada kendaraan (Pelakis, N., & Oxyzoglou, I. 2017)..	5
Gambar 2. 3 Dragforce pada kendaraan.....	6
Gambar 2. 4 Lift Force pada pesawat (Pelakis & Oxyzoglou, 2017) .....	7
Gambar 2. 5 Detail Aliran Viscous Disekitar Airfoil (Philip, 2021) .....	8
Gambar 2. 6 Koefisien drag pada bola halus sebagai fungsi bilangan Reynolds (Philip, 2011) .....	8
<i>Gambar 2. 7 Distribusi tekanan di sekitar Cylinder untuk aliran laminar dan turbulen boundary layer, dibandingkan dengan aliran inviscid (Philip, 2011) .....</i>	<i>9</i>
Gambar 2. 8 Airfoil pada pesawat terbang (Seljak, 2008) .....	10
Gambar 2. 9 Gaya pada Airfoil (Kontogiannis & Ekaterinaris, 2013) .....	11
Gambar 2. 10 Angle of Attack pada Airfoil (Pelakis & Oxyzoglou, 2017).....	11
Gambar 2. 11 Rear Wing (Pelakis & Oxyzoglou, 2017) .....	12
Gambar 2. 12 Variation of lift coefficient with the number of elements (Pelakis & Oxyzoglou, 2017) .....	13
Gambar 2. 13 Desain Mobil Formula Student Nogogeni tanpa front wing dan rear wing (Nugraha, 2021).....	14
Gambar 2. 14 Desain Mobil Formula Student Nogogeni dengan rear wing (Nugraha, 2021) .....	14
Gambar 2. 15 Desain Mobil Formula Student Nogogeni dengan front wing (Nugraha,2021) .....	14
Gambar 2. 16 Desain Mobil Formula Student Nogogeni dengan front wing dan rear wing (Nugraha,2021).....	15
Gambar 2. 17 Domain Komputasi Mobil Formula Student Nogogeni(Nugraha, 2021) .....	16
Gambar 2. 18 Penambahan Front Wing (a) Kontur Distribusi Tekanan di Sekitar Mobil (b) Kontur Kecepatan Aliran (c) Kontur Energi Kinetik Turbulensi .....	16
Gambar 2. 19 Penambahan Rear Wing (a) Kontur Distribusi Tekanan di Sekitar Mobil (b) Kontur Kecepatan Aliran (c) Kontur Energi Kinetik Turbulensi .....	17
Gambar 2. 20 Penambahan Front Wing dan Rear Wing (a) Kontur Distribusi Tekanan di Sekitar Mobil (b) Kontur Kecepatan Aliran (c) Kontur Energi Kinetik Turbulensi.....	17
Gambar 2. 21 Referensi Dimensi domain (Lai,S, 2016).....	20
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian.....	22

Gambar 3. 2 Desain Mobil Formula Student Nogogeni tanpa rear wing.....	23
Gambar 3. 3 Desain Mobil Formula Student Nogogeni dengan rear wing.....	23
Gambar 3. 4 Batasan Desain Volumetrik Rear Wing .....	24
Gambar 3. 5 Konfigurasi basis dari front wing yang terdiri dari main element, 1st flap, 2nd flap (Iljaz, J., Leopold, S., Starkl, M., & Marn, J. 2016) .....	25
Gambar 3. 6 Domain Komputasi Mobil Formula Student Nogogeni .....	25
Gambar 3. 7 Mesh Model pada Mobil Formula Student Nogogeni ITS.....	26
Gambar 3. 8 Mesh Model pada Domain Komputasi.....	26
Gambar 4. 1 Dimensi Geometri Ahmed Body .....	30
Gambar 4. 2 Domain Komputasi Ahmed Body .....	31
Gambar 4. 3 Ahmed Body Mesh.....	31
Gambar 4. 4 Grafik Validasi Plot Variasi Kecepatan Inlet terhadap Nilai Cd menggunakan turbulance k-epsilon realizable (RKE) .....	32
Gambar 4. 5 Grafik Validasi Plot Variasi Kecepatan Inlet terhadap Nilai Cd menggunakan turbulance k-omega SST .....	33
Gambar 4. 6 Turbulence Kinetic Energy Contours dan Streamlines (a) Penelitian Bayraktar (b) Simulasi .....	34
Gambar 4. 7 Distribusi Tekanan Pada Mobil Formula Student Nogogeni ITS (Contour Pressure Coefficient) .....	35
Gambar 4. 8 Distribusi Tekanan Pada Mobil Formula Student Nogogeni ITS (Tampak Isometri).....	35
Gambar 4. 9 Distribusi Tekanan Pada Mobil Formula Student Nogogeni ITS (Tampak Samping).....	36
Gambar 4. 10 (a) Kontur Distribusi Tekanan Gambar (b) Kontur Kecepatan Aliran .....	37
Gambar 4. 11 Vektor Kecepatan Aliran pada midspan.....	37
Gambar 4. 12 Streamline Kecepatan Pada Mobil Formula Student Nogogeni ITS (a) Tampak Isometri (b) Tampak Depan (c) Tampak Belakang .....	38
Gambar 4. 13 Grafik Distribusi Cp Midspan pada Kontur Bodi lowerside dan uppertime.....	39
Gambar 4. 14 Distribusi Tekanan Pada body Mobil Formula Student Project dengan Rear Wing ( Contour Pressure ) .....	40
Gambar 4. 15 Distribusi Tekanan Pada Body Mobil Formula Student Project dengan Rear Wing (Isometri).....	40
Gambar 4. 16 Distribusi Tekanan Pada Body Mobil Formula Student Project dengan Rear Wing (Tampak Bawah Rear Wing) .....	40
Gambar 4. 17 (a) Kontur Distribusi Tekanan Gambar (b) Kontur Kecepatan Aliran .....	42
Gambar 4. 18 Vektor Kecepatan Aliran Bidang Symetry Mobil dengan Penambahan Rear Wing.....	42

Gambar 4. 19 Streamline Kecepatan Pada Mobil Formula Nogogeni ITS (a) Tampak Depan bagian symmetri (b) Tampak Belakang (c) Bagian Rear Wing .....	43
Gambar 4. 20 Grafik Distribusi Cp Midspan pada Kontur Bodi lowerside dan uppertime .....	44

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi Mobil Formula Student Nogogeni.....	15
Tabel 2. 2 Hasil Drag Force (N) dan Koefisien Drag (CD) .....	18
Tabel 2. 3 Hasil Lift Force (N) dan Koefisien Lift (CL).....	18
Tabel 3. 1 Spesifikasi Mobil Nogogeni Formula Project.....	24
Tabel 3. 2 Dimensi desain Rear Wing.....	24
Tabel 3. 3 Boundary Condition.....	27
Tabel 3. 4 Reference Value.....	28
Tabel 3. 5 Timeline Pengerjaan Tugas Akhir .....	29
Tabel 4. 1 Parameter Simulasi .....	31
Tabel 4. 2 Validasi Hasil Simulasi.....	32
Tabel 4. 3 Grid Independency .....	34
Tabel 4. 4 Hasil Drag Force (N) dan Koefisien Drag (C <sub>D</sub> ).....	45
Tabel 4. 5 Hasil Lift Force (N) dan Koefisien Lift (C <sub>L</sub> ) .....	46

## DAFTAR SIMBOL

<b>Cd</b>	= Koefisien <i>Drag</i>
<b>Fd</b>	= Gaya <i>Drag</i> (N)
<b>Cl</b>	= Koefisien gaya lift
<b>Fl</b>	= Gaya angkat (N)
<b>V</b>	= Kecepatan aliran fluida (m/s)
<b>A</b>	= Luas permukaan benda (m <sup>2</sup> )
<b>Fd</b>	= Gaya <i>Drag</i> (N)
<b>ρ</b>	= Massa jenis fluida

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

*Formula Student of Automotive Engineer* (FSAE) adalah kompetisi tahunan yang diadakan *Society of Automotive Engineering* (SAE) *International*, di mana kompetisi tersebut berfokus pada rancang bangun kendaraan formula untuk tingkat mahasiswa dalam skala internasional. Kompetisi tersebut terbagi menjadi beberapa regional di seluruh dunia, salah satunya adalah regional Australia (FSAE-A) yang di ikuti oleh Tim Nogogeni ITS. Dalam FSAE, *event* terbagi menjadi dua kategori yaitu *static event* dan *dynamic event*. Pada *static event* kompetisi berfokus pada perancangan mobil mulai dari persiapan anggaran biaya pembuatan mobil hingga prospek ke depan ketika mobil tersebut dipasarkan. Dalam *static event* terbagi menjadi beberapa sub *event* meliputi *design event*, *cost event*, dan *presentation event*. Pada *dynamic event* kompetisi berfokus pada pengujian performa mobil ketika diuji dijalanan dalam waktu tertentu. *Dynamic event* terbagi menjadi beberapa sub *event* meliputi *acceleration*, *skip pad*, *autocross*, *endurance* dan *efficiency*.

Dalam *dynamic event* desain sangatlah berpengaruh terhadap hasil uji mobil dan juga performa mobil. Nogogeni ITS Team untuk pertama kalinya mengikuti kompetisi ini pada tahun 2020. Pada kategori *design event*, Nogogeni berfokus pada *reliability and maneuverability* kendaraan. Setiap tahun mobil FSAE menjadi lebih cepat, yang berarti bahwa daya mereka terus berlanjut. Untuk meningkatkan kestabilan pada kendaraan, sebuah kekuatan ekstra harus diterapkan pada roda, mengarahkan ke tanah. Perlu adanya gaya tekan ke bawah atau *downforce*, sehingga pada saat mobil melaju cepat pada saat melewati tikungan, mobil akan lebih stabil. (Walter, 2007) .Beberapa tahun terakhir, juara umum dalam kompetisi FSAE di berbagai negara adalah mobil yang menggunakan *aerodynamic device* sebagai elemen penambah *downforce*. *Downforce* adalah Gaya yang bekerja pada mobil ke arah bawah, yang diciptakan oleh karakteristik aerodinamis mobil. Aerodinamika adalah ilmu tentang bagaimana udara mengalir di sekitar dan di dalam benda. Lebih Umumnya, dapat diberi label "*Fluid Dynamics*" karena udara benar-benar hanya jenis yang sangat tipis dari cairan. Di atas kecepatan lambat, aliran udara di sekitar dan melalui kendaraan mulai memiliki lebih banyak. efek pada akselerasi, kecepatan tertinggi, efisiensi bahan bakar dan penanganan Tujuan gaya turun adalah untuk memungkinkan mobil melaju lebih cepat melalui tikungan dengan meningkatkan gaya vertikal pada ban, sehingga menciptakan lebih banyak cengkraman. Karena dengan adanya *downforce*, mobil mendapatkan *drag force* (Walter, D. 2007)

Untuk mendapatkan hasil yang maksimal pada pengaruh aerodinamika dalam kendaraan perlu adanya sebuah aplikasi yang di rancang untuk mengetahui performa dari kendaraan tersebut. Sehingga dengan adanya CFD *fluent* dapat membantu untuk mengetahui performa kendaraan. CFD menjadi alternatif yang lebih cepat dan murah dalam perancangan alat atau penelitian untuk mengetahui karakteristik suatu aliran dan interaksinya (H K Versteeg and W Malalasekera .2007)

Pada penelitian (Nugraha, Aditiya Eka Yoga. 2021) Sudah disimulasikan dengan penambahan *part* seperti *nosecone*, *mainhoop*, *driver*, *wheels* dan juga *rear wing*. Seperti diketahui bahwa bagian atau *part* lain yang (lebih realistis) juga sangat berpengaruh terhadap gaya aerodinamika pada *body*. Sehingga pada penelitian ini dilakukan simulasi dengan menambahkan bagian yang lebih realistis.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang tersebut, didapatkan rumusan masalah sebagai berikut :

- a. Bagaimana pengaruh penggunaan perangkat aerodinamika *rear wing* terhadap koefisien *lift* dan koefisien *drag* mobil *formula student* Nogogeni ITS yang sudah dilengkapi dengan bagian yang realistis?
- b. Bagaimana detail struktur aliran yang melintasi body Nogogeni Formula Project?

## 1.3 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan penyelesaian masalah pada penelitian tugas akhir maka batasan masalah yang diangkat adalah sebagai berikut:

- a. Mobil yang di analisa adalah mobil *formula student* Nogogeni ITS generasi 1.
- b. Ukuran dan penempatan *body*, *rear wing* sesuai dengan regulasi FSAE-Australasia.
- c. Metode yang digunakan adalah simulasi numerik CFD Ansys Fluent
- d. Tidak menganalisa distribusi temperatur body.
- e. Simulasi dilakukan dengan aliran *inlet* dianggap *steady flow*, *uniform*, *incompressible flow*.
- f. Simulasi dilakukan terhadap kondisi mobil pada keadaan *track* lurus.
- g. Kondisi roda tidak berputar.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini sebagai berikut :

- a. Mengetahui nilai koefisien *drag* ( $C_D$ ) dan koefisien *lift* ( $C_L$ ) serta fenomena aliran secara fisis di sekitar *rear wing* melalui visualisasi *streamline*, kontur distribusi tekanan dan vektor kecepatan pada mobil *Formula Student* Nogogeni ITS ketika tidak menggunakan perangkat aerodinamika *rear wing*, dan menggunakan perangkat aerodinamika *rear wing*.
- b. Berapa persen peningkatan nilai *dragforce* dan nilai *downforce* ketika penambahan perangkat aerodinamika *rear wing* pada mobil *Formula Student* Nogogeni ITS.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Formula SAE Australasia**

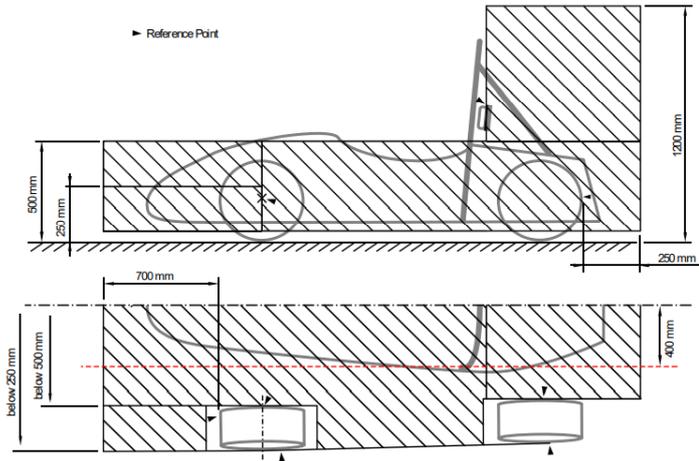
Formula SAE-A merupakan kompetisi automotif internasional yang di selenggarakan oleh *Society of Automotive Engineering* (SAE). Student Formula terdiri dari beberapa seri yang diadakan di seluruh dunia. *Formula SAE* Australasia 2 bidang kategori lomba yaitu *dynamic event* dan *static event*. (Australasia, S. 2021)

*Dynamic event* merupakan pengujian dari kendaraan terdiri atas *Acceleration event*, Pada *acceleration event* ini mobil harus mampu melaju sejauh 75 meter di garis lurus diatas permukaan datar. *Event ini* terbagi dalam dua babak yang harus dikendarai oleh dua pembalap, masing-masing memiliki dua kali percobaan. *Skidpad event*, pada *skidpad event* ini guna untuk melihat kemampuan memutar mobil. Treknnya berbentuk angka 8 dengan dua lingkaran masing-masing 15,25 meter dan di tengahnya terdapat garis start dan finish yang ditandai oleh 16 pembalap di sisi luar dan 16 di bagian dalam. Selanjutnya *Autocross event* , ini adalah acara mendorong yang terdiri dari menjalankan dua lap untuk menghargai keterampilan mobil. Sirkuit ini dilacak untuk mendapatkan kecepatan rata-rata antara 30 dan 40 km / jam dengan garis lurus pendek, kurva radius konstan, belokan jepit rambut, slalom, chicanes, dan kurva radius variabel. Skor diberikan oleh lap terbaik pada dua tantangan yang didorong oleh pembalap yang berbeda. Dan yang terakhir *Endurance event* ini adalah untuk melihat seluruh kinerja balap masing-masing mobil. Trek ini mirip dengan yang digunakan untuk *Autocross event* . Setiap mobil harus berkendara 22 km dan selama balapan tim tidak dapat menyentuh mobil tetapi diizinkan pengemudi berubah (tiga menit terakhir) setelah 13 lap. Daftar awal diberikan oleh skor *Autocross*. Total waktu *Endurance* diberikan oleh jumlah waktu kedua pengemudi di samping kemungkinan hukuman. Jumlah poin yang tersedia untuk acara ini adalah 300 poin. (Australasia, S. 2021)

*Static event* . untuk *event off track* Yang pertama adalah *design event* , yang terdiri dari presentasi proyek mobil yang telah selesai. Tujuan dari acara ini adalah untuk menilai pilihan dan upaya desain dan bagaimana mereka mampu memenuhi kebutuhan pasar. Tetapi juga menilai kemampuan menjawab pertanyaan dari hakim selama pemeriksaan masing-masing mobil. Kendaraan harus disajikan sepenuhnya dirakit dan siap untuk bersaing. Yang kedua adalah *Business event*, yang terdiri dari simulasi presentasi proyek mereka oleh masing-masing tim di depan sponsor potensial. Tujuan dari acara ini adalah untuk menghargai kemampuan tim dalam pengembangan kasus bisnis. Penghargaan ini diberikan oleh para ahli dari dunia otomotif. Dan yang terakhir adalah *Cost event*, yang berfokus pada perhitungan biaya manufaktur mobil, yang terakhir adalah *bussines presentation* yaitu dimana peserta merancang rencana untuk memasarkan mobil rancangan mereka dengan *case* yang sudah ditentukan oleh panitia. (Australasia, S. 2021)

#### **2.2 Regulasi wing untuk Formula SAE-A**

Desain rear wing dari body formula harus memenuhi regulasi yang di buat oleh penyelenggara event, yang bisa dilihat pada petunjuk regulasi T.7 *Bodywork and Aerodynamics devices*.



Gambar 2. 1 Regulasi dimensi wing di Formula SAE Australasia (Australasia, 2021)

Dalam gambar dijelaskan mengenai dimensi jarak antara *ice*, *frontwing* dan *rearwing* lebih lebih dari 700 mm dengan roda depan dan tidak lebih dari 250 dari roda belakang seperti terlihat pada gambar 2.1. Untuk ketinggian maksimum *front wing* dari tanah adalah kurang dari 250 mm dan *rearwing* 1200 mm. Lebar *front wing* dan *rear wing* tidak boleh melebihi sisi terluar jarak roda depan dan sisi dalam roda belakang seperti tampak pada gambar 2.1.

### 2.3 Ilmu Aerodinamika

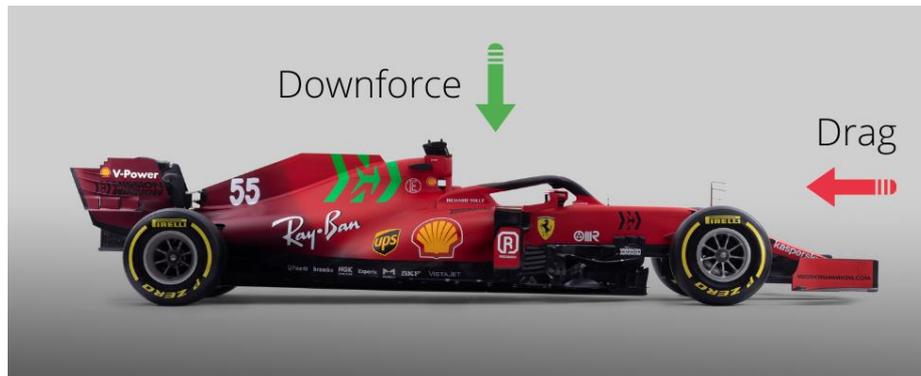
Aerodinamika adalah ilmu tentang bagaimana udara mengalir di sekitar dan di dalam benda. Lebih Umumnya, dapat diberi label "*Fluid Dynamics*" karena udara benar-benar hanya jenis yang sangat tipis dari cairan. Di atas kecepatan lambat, aliran udara di sekitar dan melalui kendaraan mulai memiliki lebih banyak efek yang jelas pada akselerasi, kecepatan tertinggi, efisiensi bahan bakar dan penanganan. Jadi untuk membangun mobil balap yang paling efisien, diperlukan untuk memahami dan mengoptimalkan bagaimana Udara mengalir di sekitar dan melalui tubuh, bukaan dan perangkat aerodinamisnya. Hal ini adalah sekarang menetapkan bahwa aerodinamika memiliki peran kunci dalam kinerja dan efisiensi mobil balap roda terbuka, bahkan ketika bergerak dengan kecepatan rendah di trek seperti FSAE mobil melakukannya. (Pelakis, N., & Oxyzoglou, I. 2017)

Aerodinamika telah menjadi subjek utama dalam balap selama 40 tahun terakhir dengan tujuan meningkatkan beban normal pada ban untuk meningkatkan cengkeraman tanpa penambahan massa yang sesuai. Jumlah cengkeraman yang tersedia di ban bersama dengan gaya hambat aerodinamis dan tenaga mesin menetapkan batas teoritis untuk kecepatan kendaraan di trek, terutama saat menikung, dan oleh karena itu sangat menarik ketika merancang kendaraan untuk meningkatkan cengkeraman ini sambil mempertahankan gaya hambat minimal. Selama bertahun-tahun, peraturan dan regulasi telah diberlakukan untuk menjaga keunggulan aerodinamis ini pada skala yang wajar seiring dengan kemajuan teknologi (H K Versteeg and W Malalasekera .2007)

### 2.4 Downforce

Setiap objek yang bergerak melalui udara menciptakan situasi pengangkatan atau downforce. Sebuah sayap dapat membuat pesawat lepas landas, tetapi jika kita meletakkannya

terbalik, itu bisa membuat kecepatan tinggi. Mobil balap tetap ke tanah. Prinsip yang sama yang memungkinkan pesawat terbang untuk bangkit dari tanah dengan menciptakan lift dari sayapnya digunakan secara terbalik untuk menerapkan kekuatan yang menekan perlombaan. mobil terhadap permukaan trek. Biasanya, istilah "*lift*" digunakan ketika berbicara tentang Jenis gaya aerodinamis diinduksi bertindak pada permukaan. Hal ini kemudian diberikan indikator, baik "*positif lift*" (*up*) atau "*negative lift*" (*down*) ke arahnya, karena sebagian besar Perangkat aerodinamis diciptakan untuk pesawat terbang dan dirancang untuk mengangkatnya ke udara.



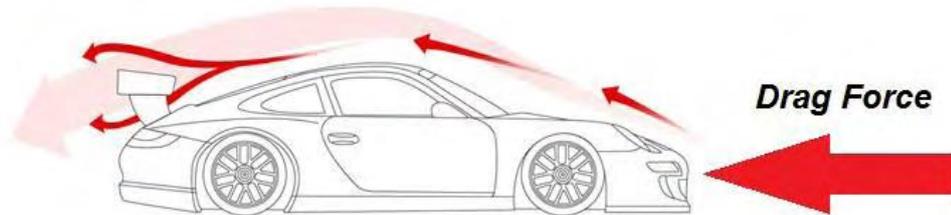
Gambar 2. 2 Downforce pada kendaraan (Pelakis, N., & Oxyzoglou, I. 2017)

Dalam aerodinamika mobil balap, gaya vertikal ke bawah yang disediakan oleh aerodinamis perangkat yang dipasang pada mobil balap, mendorong ban ke permukaan trek untuk memberikan lebih banyak grip, contoh yang di jelaskan pada gambar 2.2 mengenai downforce pada kendaraan yang pada gilirannya memungkinkan kecepatan menikung yang lebih tinggi dan pengereman yang lebih cepat. Pegangan antara Ban dan trotoar trek yang disediakan sepenuhnya oleh kekuatan aerodinamis disebut “pegangan aerodinamis” dan dibedakan dari “pegangan mekanis” yang merupakan fungsi dari repartisi massal mobil, ban dan suspensi. Penciptaan *downforce* oleh pasif perangkat seperti sayap, *bodywork*, *diffusers* dll hampir selalu hanya dapat dicapai pada biaya peningkatan hambatan aerodinamis (atau gesekan), dan pengaturan optimal hampir selalu kompromi antara keduanya. Karena itu adalah fungsi dari aliran udara di atas dan di bawah untuk menghasilkan efek yang signifikan. (Walter, D. 2007)

## 2.5 Drag Force

Ketika cairan mengalir di atas permukaan, permukaan akan menahan gerakannya. Di aerodinamis, *drag* adalah gaya *drag* fluida yang bekerja pada setiap tubuh padat bergerak di arah aliran bebas fluida. Hambatan aerodinamis pada balapan cari jumlah gesekan, bentuk dan hambatan tekanan. Gesekan menyeret terjadi sebagai partikel udara melewati permukaan mobil dan lapisan partikel yang paling dekat dengan permukaan menempel. Hambatan gesekan kulit disebabkan oleh Kontak sebenarnya dari partikel udara terhadap permukaan objek yang bergerak. Lapisan di atas Partikel-partikel yang melekat ini meluncur di atasnya, tetapi akibatnya diperlambat oleh partikel yang tidak bergerak di permukaan. Lapisan di atas lapisan yang melambat ini bergerak lebih cepat. Seperti yang di jelaskan pada gambar 2.3 yaitu dragforce pada kendaraan Sebagai Lapisan semakin jauh dari permukaan, mereka

melambat semakin sedikit sampai mereka mengalir dengan kecepatan *freestream*. (Anderson, John D., Jr., 1937)



Gambar 2. 3 Dragforce pada kendaraan

### 2.5.1 Definisi Drag Dan Persamaannya

*Drag* adalah gaya yang menghambat pergerakan sebuah benda padat melalui sebuah fluida (cairan atau gas) dimana gaya tersebut mempunyai arah yang sejajar dengan sumbu kecepatan aliran udara terhadap luas penampang dari suatu benda yang berlawanan dengan arah aliran tersebut (Anderson, John D., Jr., 1937) Gaya hambat dapat dirumuskan sebagai

$$F_D = F_{DP} + F_{Df}$$

$$F_D = \int \cos \theta p dA + \int \sin \theta \tau dA$$

### 2.5.2 Definisi Koefisien Drag Dan Persamaannya

Koefisien *drag* ( $C_d$ ) adalah bilangan yang menunjukkan besar kecilnya tahanan fluida yang diterima oleh suatu benda. Harga koefisien *drag* yang kecil menunjukkan hambatan fluida yang diterima benda saat berjalan adalah kecil, dan begitu juga sebaliknya. Nilai  $C_d$  sangat bergantung pada bentuk dari suatu geometri. Koefisien *drag* didefinisikan sebagai:

$$C_d = \frac{F_d}{\frac{1}{2} \rho v^2 A}$$

Dimana:

$C_d$  = Koefisien *Drag*

$V$  = Kecepatan aliran fluida (m/s)

$A$  = Frontal Area (m<sup>2</sup>)

$F_d$  = Gaya *Drag* (N)

$\rho$  = Massa jenis fluida (kg/m<sup>3</sup>)

(Gehart & Richard, 1985)

### 2.6 Lift Force

*Lift* (gaya angkat) adalah melawan gaya dari *weight* dan dihasilkan oleh efek dinamis dari udara yang beraksi di sayap dan beraksi tegak lurus pada arah penerbangan melalui *center of lift* dari sayap. Seperti yang di ditampilkan pada gambar 2.4 (Anderson, John D., Jr., 1937)



Gambar 2. 4 Lift Force pada pesawat (Pelakis & Oxyzoglou, 2017)

### 2.6.1 Definisi Lift Dan Persamaannya

Gaya *Lift* atau biasa disebut gaya angkat adalah gaya yang mengangkat suatu benda ke atas yang terjadi karena tekanan di bawah benda lebih besar daripada tekanan di atas benda. Gaya angkat ini sebagian besar ditimbulkan pada sayap pesawat terbang (Pelakis, N., & Oxyzoglou, I. 2017) dan biasanya digunakan untuk melawan gaya gravitasi bumi yang masih menarik pesawat tersebut ke arah bawah. Disamping itu dari hasil penelitian, gaya angkat tersebut dipengaruhi pula oleh sudut yang dibuat oleh penampang sayap dan besarnya berbanding lurus dengan kuadrat kecepatan fluida yang mengalir di sekitar sayap tersebut. Secara mudahnya, gaya angkat pesawat dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$F_L = - \int \sin \theta p dA + \int \sin \theta \tau dA$$

### 2.6.2 Definisi Koefisien Lift Dan Persamaannya

Koefisien *lift* adalah sebuah fungsi dari parameter tak berdimensi yang menunjukkan besarnya gaya angkat yang bekerja pada suatu benda yang dialiri oleh fluida. Koefisien *lift* sangat dipengaruhi oleh bentuk benda, koefisien *lift* dapat diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

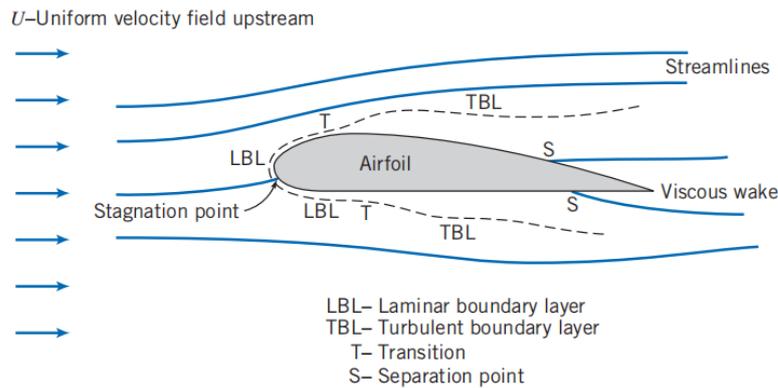
$$C_l = \frac{F_l}{\frac{1}{2} \rho v^2 A}$$

Dimana:

- $C_L$  = Koefisien *Lift*
  - $V$  = Kecepatan fluida (m/s)
  - $A$  = Luas permukaan benda ( $m^2$ )
  - $F_L$  = Gaya *lift* (N)
  - $\rho$  = Massa jenis fluida ( $kg/m^3$ )
- (Gehart & Richard, 1985)

## 2.7 Coefficient of Pressure

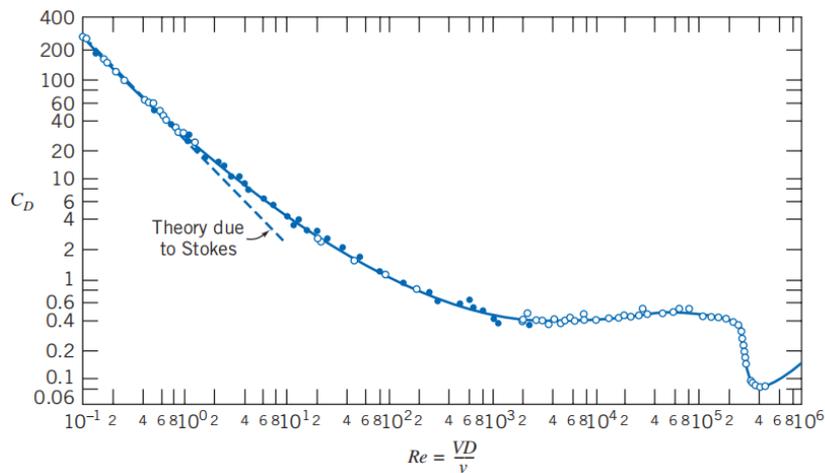
*Coefficient of Pressure* adalah angka tak berdimensi yang menggambarkan tekanan relatif di seluruh medan aliran dalam dinamika fluida. *Coefficient of Pressure* digunakan dalam aerodinamika dan hidrodinamika



Gambar 2. 5 Detail Aliran Viscous Disekitar Airfoil (Pritchard, 2011)

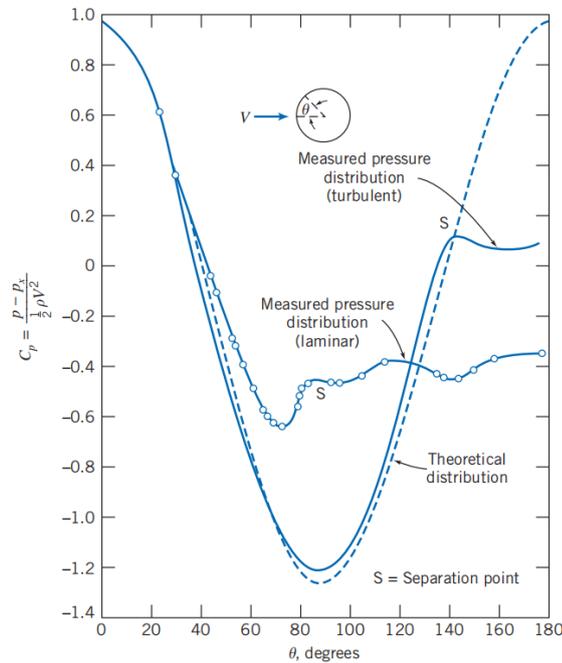
Pada gambar 2.5 dijelaskan tentang fenomena aliran yang terjadi pada bagian eksternal yang melewati airfoil. Aliran *freestream* dibagi menjadi dua pada titik stagnasi dan *No. slip condition*. Pada permukaan atas dan bagian terbentuk boundary layer. Aliran yang terjadi pada *boundary layer* adalah laminar. Aliran transisi dari aliran laminar ke aliran turbul terjadi titik stagnasi pada jarak tertentu, sesuai kondisi aliran bebas, gradien tekanan dan kekasaran permukaan (Philip, 2007) titik dengan simbol “T” pada gambar 2.5 adalah titik transisi. (Philip, 2011)

*Turbulence boundary layer* mengalami pertambahan yang cukup cepat setelah mengalami transisi dari yang semula *Laminar Boundary Layer*. Pergeseran yang kecil pada garis aliran eksternal di sebabkan penebalan *boundary layer* di permukaan. Di daerah tekanan yang meningkat atau di sebut *Adverse Pressure Gradient*, separasi aliran dapat terjadi. Titik yang terjadi separasi di tandai dengan simbol “S” pada gambar. Fluida yang berada *boundary layer* pada *body surface* membentuk *viscous wake* di belakang titik yang terjadi separasi.



Gambar 2. 6 Koefisien drag pada bola halus sebagai fungsi bilangan Reynolds (Pritchard, 2011)

Pada bilangan reynolds yang semakin meningkat, nilai koefisien drag turun terus menerus hingga bilangan Reynolds sekitar 1000. *Turbulent wake* (tidak tergabung dalam teori stokes) berkembang dan tumbuh di bagian belakang bola saat titik separasi bergerak dari bagian belakang bola ke arah depan, wake ini berada pada tekanan yang relatif cukup rendah dan mengarah ke *pressure drag* yang besar. Pada saat ketika nilai Re 1000, sekitar 95% dari total nilai drag yang di sebabkan oleh tekanan. Untuk  $10^3 > Re > 3 \times 10^5$  koefisien drag yang konstan. Dalam seluruh pada bagian belakang bole memiliki *turbulent wake* bertekanan rendah, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7 dibawah (Philip, 2011)



Gambar 2. 7 Distribusi tekanan di sekitar Cylinder untuk aliran laminar dan turbulen boundary layer, dibandingkan dengan aliran inviscid (Pritchard, 2011)

Pada gambar 2.7 diatas bilangan Reynolds sekitar  $3 \times 10^5$ , terjadi transisi dan lapisan batas pada daerah permukaan depan bola yang menjadi turbulen. Titik pemisah kemudian bergerak ke hilir dari bagian tengah bola, dan ukuran *wake* berkurang. Gaya tekanan pada bola berkurang dan nilai koefisien drag turun secara langsung.

Untuk rumus dari  $C_p$  adalah sebagai berikut:

$$C_p = \frac{P - P_\infty}{\frac{1}{2} \rho V_\infty^2}$$

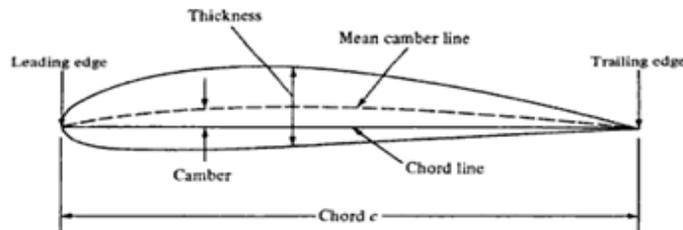
- Dimana  $C_p$  : Coefficient of Pressure  
 $P$  : Tekanan lokal statik ( $N/m^2$ )  
 $P_\infty$  : Tekanan statik pada *freestream* ( $N/m^2$ )  
 $\rho$  : Massa jenis ( $Kg/m^3$ )  
 $V_\infty$  : Kecepatan pada *freestream* (m/s)  
 (Houghton *et al*, 2017)

## 2.8 Teori Wings

Setiap sayap dalam pandangan planar memiliki bentuk *airfoil*. Airfoil aerodinamis kecepatan rendah memiliki bentuk khas dengan ujung depan membulat, diikuti dengan ujung belakang yang tajam, sering dengan kelengkungan simetris dari permukaan atas dan bawah. Geometri *airfoil* digambarkan dengan tiga istilah. *NS terdepan* yang merupakan titik di depan airfoil yang memiliki kelengkungan maksimum dan jari-jari minimum, *tepi belakang* yang merupakan titik kelengkungan minimum di bagian belakang airfoil, *garis akord* yang merupakan garis lurus menghubungkan *leading edge* dan *trailing edge*. Panjang tali busur, adalah panjang garis tali busur dan itu adalah dimensi referensi dari bagian *airfoil* (Pelakis, N., & Oxyzoglou, I. 2017)

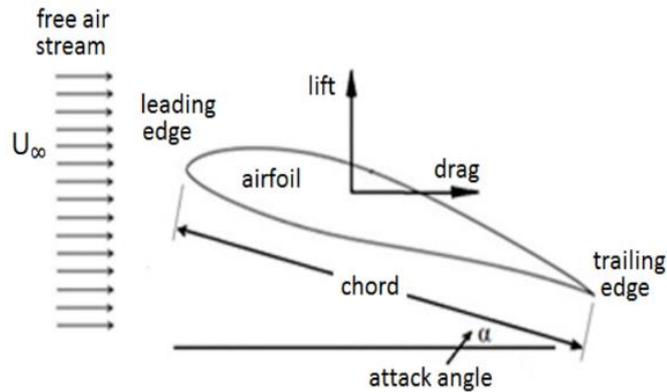
### 2.8.1 Airfoil

*Airfoil* merupakan geometri dasar sayap pesawat terbang yang menghasilkan efek aerodinamika ketika terdapat aliran udara yang melewatinya. Profil *airfoil* menyebabkan perbedaan aliran udara pada permukaan atas dan bawah. Kecepatan aliran udara berbanding terbalik dengan tekanannya. Aliran udara permukaan atas memiliki kecepatan lebih tinggi daripada permukaan bawah. Tekanan permukaan bawah *airfoil* lebih tinggi dibandingkan permukaan atas, sehingga menghasilkan gaya angkat. Ada berbagai jenis bentuk airfoil, panjang *chord*, dan bentang sayap yang memberikan performa unik setiap mobil formula. Ada data eksperimental pada banyak bentuk airfoil yang telah dilakukan oleh National Advisory Committee for Aeronautics (NACA) seperti yang ditampilkan pada gambar 2.8 yaitu airfoil pada pesawat terbang (Abbott, 1945)



Gambar 2. 8 Airfoil pada pesawat terbang (Seljak, 2008)

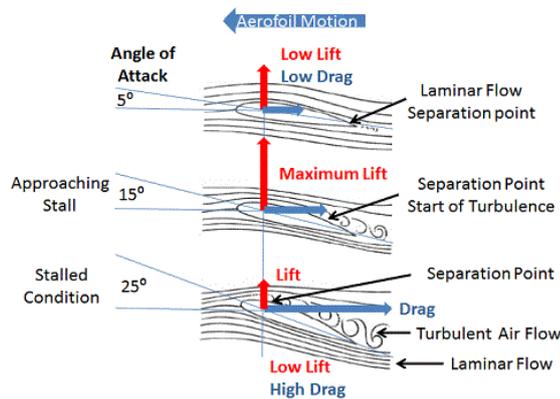
Aliran udara pada airfoil sayap pesawat terbang menyebabkan pusaran (*vortex*) di setiap ujung sayap (*wingtip*). Pusaran udara menambah gaya hambat dan mengurangi gaya angkat (*lift*) yang dihasilkan. Performa aerodinamika pesawat berkurang ketika nilai gaya hambat tinggi. *Winglet* adalah bagian pesawat yang terletak pada ujung sayap. *Winglet* digunakan untuk mengurangi pusaran udara pada ujung sayap. *Winglet* berfungsi untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar, menambah jarak tempuh pesawat terbang, dan menurunkan nilai *induced drag*. Tujuan penelitian untuk menganalisis sudut tekuk *winglet* terhadap performa aerodinamika sayap pesawat. Sudut tekuk disimulasikan dengan metode *vortex lattice* untuk mendapatkan nilai *coefficient drag* (CD) dan *coefficient lift* (CL), seperti yang dijelaskan pada gambar 2.9 yaitu gaya pada airfoil. Pengaruh sudut tekuk *winglet* dapat mempengaruhi efisiensi aerodinamika pesawat. (Wen Yen, L. 2017)



Gambar 2. 9 Gaya pada Airfoil (Kontogiannis & Ekaterinaris, 2013)

### 2.8.2 Angle of Attack of Wing

Sudut kritis serangan adalah sudut serangan yang menghasilkan daya angkat maksimum. koefisien. Ini juga disebut "sudut serangan stall". Di bawah sudut kritis serangan ini dan ketika sudut serangan meningkat, koefisien  $c_l$  angkat meningkat. Sebaliknya, di atas Sudut kritis serangan udara mulai mengalir kurang lancar di atas permukaan atas airfoil dan mulai terpisah. Pada sudut kritis serangan, aliran permukaan atas lebih dipisahkan dan airfoil atau sayap menghasilkan koefisien maksimum angkat. Sebagai sudut dari Serangan meningkat lebih lanjut, aliran permukaan atas menjadi semakin terpisah dengan sayap menghasilkan lebih sedikit daya angkat, CL menurun dan koefisien drag CD dengan cepat Meningkatkan. Sudut kritis atau *stalling* serangan biasanya sekitar  $12^\circ - 20^\circ$  sudut airfoils seperti yang di tunjukkan pada gambar 2.10. (Wen Yen, L. 2017)

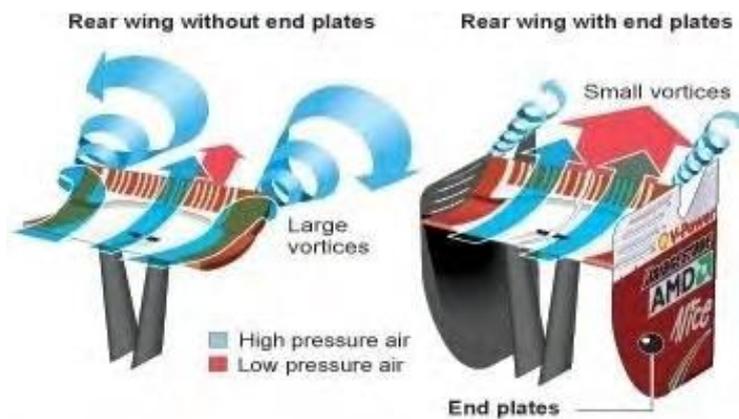


Gambar 2. 10 Angle of Attack pada Airfoil (Pelakis & Oxyzoglou, 2017)

### 2.8.3 Rear wing

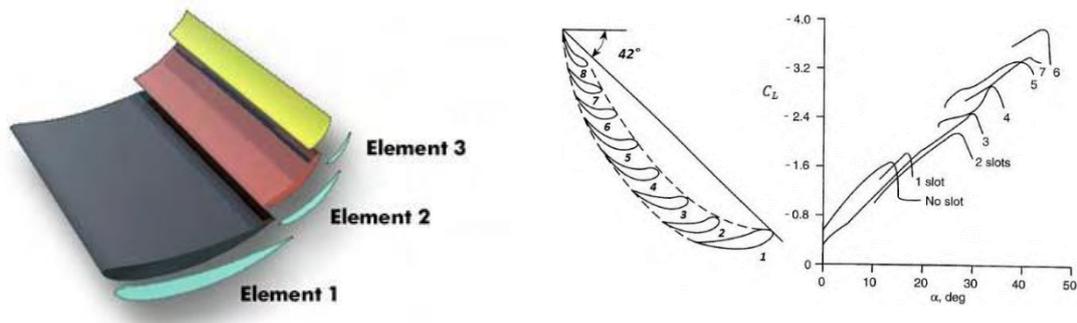
Sayap belakang dirancang untuk meningkatkan kinerja otomotif. dan meningkatkan stabilitas selama menikung, di mana mobil perlu menghasilkan downforce besar pada kecepatan yang relatif rendah. Ini *downforce* membantu menstabilkan mobil di bagian belakang memastikan bahwa Ujung belakang mobil tidak tergelincir secara bergantian. Dalam desain ini, aliran ramping dari depan akan terus terbalik dari mobil daripada ke

belakang hits bagian belakang. sayap Kasus ini akan membuat mudah untuk membuat *downforce*. Sayap belakang adalah bagian penting karena untuk mencegah lift dari *diffuser* belakang, getaran mesin suspensi belakang. Sehingga bisa membuat roda belakang lebih mencekam. ke tanah. Sayap belakang dirancang dengan dua airfoil. airfoil akan diapit dua *end plates*. Model ini diterapkan untuk mendapatkan tinggi *downforce*. Sayap belakang biasanya menghasilkan *downforce* hampir dua kali lipat dari sayap depan untuk menjaga keseimbangan penanganan mobil, tetapi ini juga tergantung pada desain dan pengaturan suspensi setiap mobil FSAE (Niklas, P. 2021)



Gambar 2. 11 Rear Wing (Pelakis & Oxyzoglou, 2017)

Pada sudut serang yang tinggi, udara tidak dapat mengikuti kontur permukaan sayap bawah dan dapat melepaskan (*kios*), menurunkan efisiensi sayap dan menambahkan drag. Menambahkan bibir kecil di tepi trailing, menyebabkan tekanan yang lebih rendah tepat di belakangnya yang menyedot aliran bawah kembali sampai ke permukaan sayap. Penutup Gurney (*atau rotan*) adalah tab kecil yang memproyeksikan dari bagian belakangnya tepi sayap. Biasanya diatur pada sudut serangan yang lebih tinggi pada permukaan sisi tekanan tinggi dari airfoil, dan tingginya harus sesuai dengan urutan ketebalan lapisan batas lokal atau 1% - 4% panjang akord sayap agar efektif. Perangkat trailing edge ini dapat meningkatkan kinerja airfoil sederhana ke tingkat yang hampir sama dengan kinerja tinggi yang kompleks desain. Perangkat pada dasarnya beroperasi dengan meningkatkan tekanan pada sisi tekanan sayap, mengurangi tekanan pada sisi hisap, dan membantu aliran lapisan batas tetap terpasang semua jalan ke trailing edge di sisi hisap airfoil. Pada saat yang sama, bangun lama hilir flap yang berisi sepasang vortisitas putar balik dapat menunda atau menghilangkan pemisahan aliran di dekat trailing edge di permukaan bawah. Seperti yang diunjukkan pada gambar 2.12 (Wen Yen, L, 2017).



Gambar 2. 12 Variation of lift coefficient with the number of elements (Pelakis & Oxyzoglou, 2017)

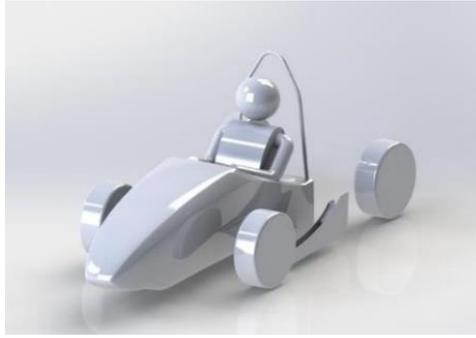
Saat udara mengalir di atas sayap, ia terganggu oleh bentuknya, menyebabkan gaya tarik. Walaupun gaya ini dirancang untuk menjadi kurang dari downforce, secara serius dapat membatasi kecepatan tertinggi dan Menyebabkan mesin menggunakan lebih banyak bahan bakar untuk mendapatkan mobil melalui udara. Desain sayap Harus mencerminkan kebutuhan untuk menghasilkan pegangan yang cukup untuk mengerem dengan kecepatan tanpa tergelincir. Ini memungkinkan rem yang lebih kuat untuk digunakan dengan ban yang sama karena downforce Meningkatkan grip ban. Kecepatan maksimum mobil dan tingkat yang diperlukan dari Deselerasi juga harus dipertimbangkan. Sayap harus dioptimalkan antara downforce yang dibutuhkan untuk pegangan saat pengereman dan hambatan yang mereka hasilkan. Si Masalah utama pada perancangan sayap belakang adalah turbulensi atau "bangun" yang tersisa. di belakang perangkat ini. Untuk memastikan bangun dikurangi seminimal mungkin, udara keluar dari mobil Tidak bisa bergolak dengan vortisitas. Namun, karena efek tabung Venturi di bawah mobil dan sayap menciptakan downforce di atas mobil, dua keluar dari aliran udara "kotor" bertemu di bagian belakang mobil menciptakan vortisitas besar dan mempengaruhi aerodinamika mobil secara signifikan dengan membuat drag. Oleh karena itu, selalu menjadi tujuan untuk membuat kedua aliran udara bertemu. secara linear mungkin dengan drag minimal (Wen Yen, L. 2017)

## 2.9 Penelitian Terdahulu

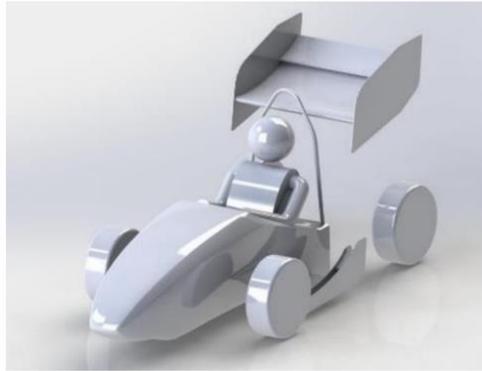
### 2.9.1 Penelitian Pengaruh Penambahan Front Wing Dan Rear Wing

Penelitian ini dilakukan oleh (Nugraha, Aditiya Eka Yoga, 2021) dengan judul penelitian yang asli “ Pengaruh Penambahan Front Wing Dan Rear Wing Terhadap Performa Aerodinamika Pada Mobil Formula Student Nogogeni ITS” meneliti tentang penambahan front wing dan rear wing pada mobil formula student nogogeni ITS, Penelitian ini menggunakan analisa numerik (CFD)

Pertama sebelum dilakukan simulasi adalah pembuatan desain geometri menggunakan aplikasi solidworks 2017 dengan part pada geometri meliputi yang di tunjukkan pada gambar 2.13 hingga gambar 2.16. *Front wing, rear wing, driver, nosecone, side wing* dan *mainhoop*.



*Gambar 2. 13 Desain Mobil Formula Student Nogogeni tanpa front wing dan rear wing (Nugraha, 2021)*



*Gambar 2. 14 Desain Mobil Formula Student Nogogeni dengan rear wing (Nugraha, 2021)*



*Gambar 2. 15 Desain Mobil Formula Student Nogogeni dengan front wing (Nugraha,2021)*



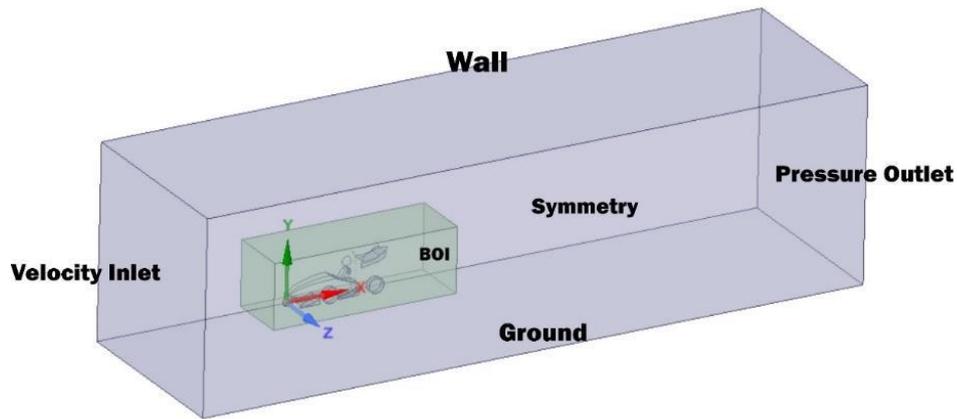
Gambar 2. 16 Desain Mobil Formula Student Nogogeni dengan front wing dan rear wing (Nugraha,2021)

Berikut adalah spesifikasi mobil *Formula Student* Nogogeni.

Tabel 2. 1 Spesifikasi Mobil Formula Student Nogogeni

Parameter	Nilai
Panjang (L)	3203.96 mm
Lebar (W)	1405 mm
Tinggi (H)	1356.31 mm
<i>Wheelbase</i>	1550 mm
<i>Ground Clearance</i>	40 mm
<i>Frontal Area</i>	1930 mm

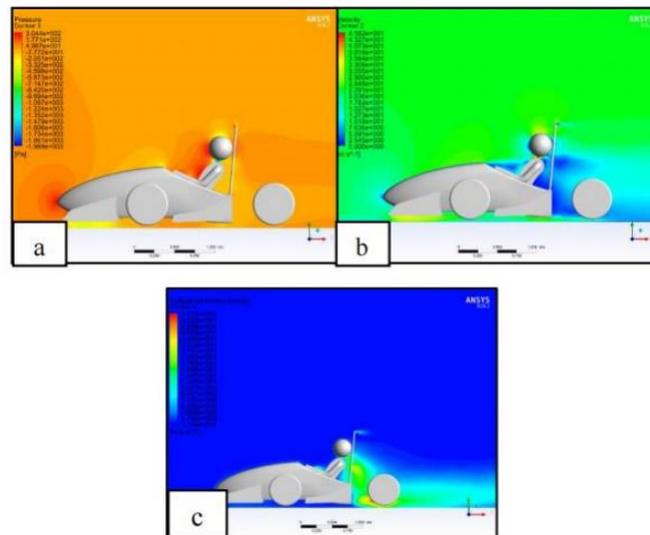
Pada tabel 2.1 disebutkan mengenai dimensi kendaraan yang di simulasi oleh nugraha aditya yoga. Dengan menggunakan aplikasi Ansys 18.2 *Fluent* Domain batas komputasi tertutup dibuat untuk mensimualsikan aliran udara disekitar sepanjang geometri mobil formula student serta *front wing* dan *rear wingnya*. Model dibuat dengan membelah menjadi dua sehingga diasumsikan simetris dengan aliran *steady*. Saluran *inlet*, *outlet*, dan *wall* didefinisikan dengan konsisi sebenarnya pada kehidupan nyata. Domain yang tidak terlalu besar sehingga mempersingkat waktu komputasi. Gambar 2.17 menunjukkan domain komputasi dari mobil formula student Nogogeni. Dimensi mengacu pada (Lai, 2016) sehingga panjang total  $7L$ , lebar  $2L$ , dan tinggi  $2L$



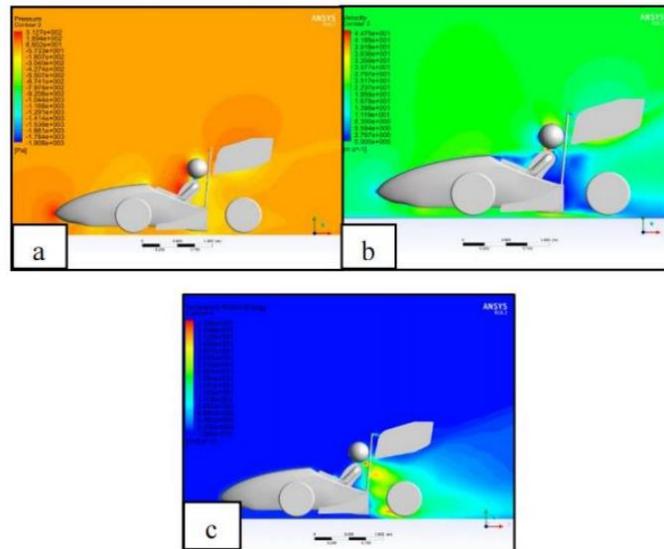
Gambar 2. 17 Domain Komputasi Mobil Formula Student Nogogeni(Nugraha, 2021)

Pada simulasi numerik menggunakan program Ansys Fluent 18.2, model turbulence yang dipilih adalah K- $\epsilon$ , dengan velocity inlet sebesar 22.22 m/s dimana kecepatan tersebut merupakan kecepatan maksimal mobil pada lintasan. Pada sisi bagian inlet, turbulence intensity sebesar 10%, dan turbulence viscosity ratio sebesar 10. Pada sisi bagian outlet, backflow turbulence intensity sebesar 10% dan backflow turbulence ratio sebesar 10. Dan parameter yang digunakan, Model Geometri dengan 3D Solver, Time Solver dengan nilai *Steady*, *Viscous Model* dengan nilai *k-epsilon*, *material properties Air*.

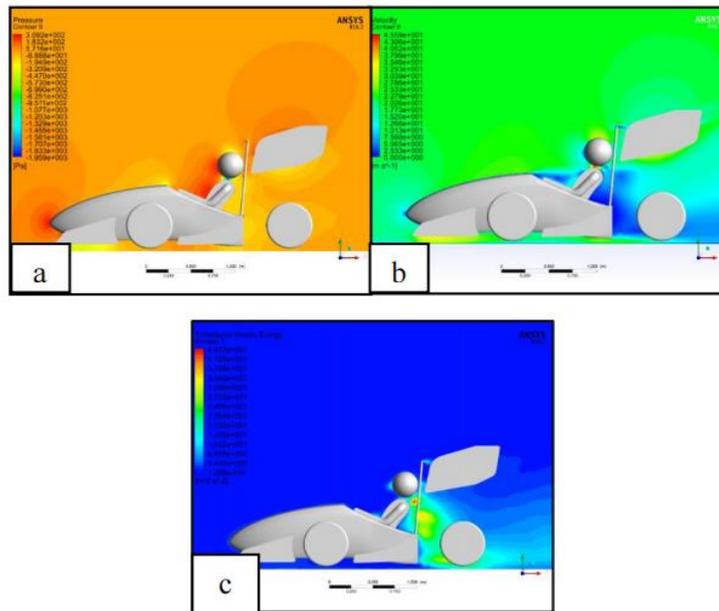
Berikut merupakan hasil simulasi kontur distribusi tekanan di sekitar mobil dengan memvisualisaikan bidang *symmetry* pada mobil dengan penambahan *front wing* dari penambahan *front wing*, penambahan *rearwing*, dan juga penambahan *front wing* dan *rear wing*.



Gambar 2. 18 Penambahan Front Wing (a) Kontur Distribusi Tekanan di Sekitar Mobil (b) Kontur Kecepatan Aliran (c) Kontur Energi Kinetik Turbulensi



Gambar 2. 19 Penambahan Rear Wing (a) Kontur Distribusi Tekanan di Sekitar Mobil (b) Kontur Kecepatan Aliran (c) Kontur Energi Kinetik Turbulensi



Gambar 2. 20 Penambahan Front Wing dan Rear Wing (a) Kontur Distribusi Tekanan di Sekitar Mobil (b) Kontur Kecepatan Aliran (c) Kontur Energi Kinetik Turbulensi

Pada gambar 2.18 (a) adalah analisa setelah penambahan front wing dan *front wing* ,pada kontur distribusi tekanan di sekitar mobil. dan pada gambar 2.18 (b) kontur kecepatan aliran dan pada gambar 2.18 (c) kontur energi kinetik turbulensi. Setelah dilakukan simulasi CFD pada *mobil Formula Student Nogogeni ITS* dengan menggunakan *Software Ansys Fluent*, didapat data kuantitatif berupa nilai Koefisien Drag (CD) dan Koefisien Lift (CL) serta dapat diketahui nilai dari Drag force (N) dan

*Downforce* (N). Simulasi dilakukan dengan memvariasikan mobil *Formula Student Nogogeni ITS* Tanpa menggunakan *rear wing* dan *front wing*, serta mobil *Formula Student Nogogeni ITS* dengan menggunakan *front wing* dan *rear wing*. Luas *frontal area* pada simulasi sebesar 0.66 m<sup>2</sup> dengan penambahan *front wing* dan *rear wing* menjadi sebesar 0.81 m<sup>2</sup>. Tujuan pengambilan data performa aerodinamika ini untuk melihat bagaimana perubahan dan pengaruh penambahan *front wing* dan *rear wing* pada mobil *Formula Student Nogogeni ITS* sehingga hasil yang diharapkan adalah mampu menentukan konfigurasi optimum berdasarkan simulasi yang telah dilakukan.

## 2.9.2 Hasil Simulasi

### 2.9.2.1 Hasil Koefisien *Drag* (CD)

Pada tabel 4.4 menunjukkan data kuantitatif dari nilai koefisien *drag* (CD) dan nilai dari *drag force* (N) pada pengujian simulasi mobil *Formula Student Nogogeni ITS* dari tanpa menggunakan *front wing* dan *rear wing* sampai menggunakan keduanya.

Tabel 2. 2 Hasil *Drag Force* (N) dan Koefisien *Drag* (CD)

Formula Student Nogogeni ITS Velocity Inlet = 22.22 m/s				
Variation	Drag Force (N)		Coefficient Drag	
	Nilai	Add	Nilai	Add
FSN w/o wing	53.03	-	0.26	-
FSN with frontwing	70.453	24.73%	0.35	25.71%
FSN with rearwing	94.525	43.89%	0.38	31.58%
FSN with wing	111.924	52.62%	0.46	50%

### 2.6.2.2 Hasil Koefisien *Lift* (CL)

Pada tabel 4.5 menunjukkan data kuantitatif dari nilai koefisien *lift* (CL) dan nilai dari *down force* (N) pada pengujian simulasi mobil *Formula Student Nogogeni ITS* dari tanpa menggunakan *front wing* dan *rear wing* sampai menggunakan keduanya.

Tabel 2. 3 Hasil *Lift Force* (N) dan Koefisien *Lift* (CL)

Formula Student Nogogeni ITS Velocity Inlet = 22.22 m/s				
Variation	Down Force (N)		Coefficient Lift	
	Nilai	Add	Nilai	Add
FSN w/o wing	27.42	-	-0.136	-
FSN with frontwing	167.007	83.83%	-0.829	83.59%
FSN with rearwing	167.659	83.64%	-0.684	75.73%
FSN with wing	311.198	91.19%	-1.265	89.25%

## 2.10 Computational Fluid Dynamic

*Computational fluid dynamics* (CFD) adalah teknik numerik yang dikembangkan dengan komputer. Hal ini memungkinkan solusi atau prediksi kuantitatif dari fenomena aliran

fluida berdasarkan hukum konservasi massa, momentum dan energi, dalam kondisi yang didefinisikan dalam hal geometri aliran, sifat fisik cairan, dan batas dan kondisi awal bidang aliran *Computational Fluid Dynamics* (CFD) merupakan suatu metode komputasi numerik untuk menyelesaikan persamaan aliran suatu benda dalam aliran fluida dengan berbasis komputer. CFD dapat mensimulasikan aliran udara, perpindahan panas, perpindahan massa, benda bergerak, reaksi kimia dengan membuat pemodelan di komputer. Salah satu *software* CFD yang sering digunakan untuk mensimulasikan aliran adalah Fluent . Dalam Fluent pemilihan model turbulensi sangat menentukan keakuratan hasil simulasi. Secara garis besar, model turbulensi digunakan untuk memodifisikan persamaan Navier Stokes sebagai pendekatan sistem aliran utama dengan memperkenalkan kuantitas rata-rata dan besar fluktuasi untuk menghasikan persamaan Reynold Average Navier Stokes (RANS untuk simulasi CFD sendiri kami menggunakan *Ansys Workbench 2018 r2* Suatu kode CFD tersusun atas algoritma-algoritma numerik yang dapat menyelesaikan permasalahan aliran fluida. Suatu kode CFD terdiri dari tiga elemen utama yaitu *pre-processor*, *solver*, dan *post-processor* (Nicholas, Mulvany, Chen, Li, Tu, Jiyuan, & Anderson. 2004)

### **2.10.1 Pre-processing**

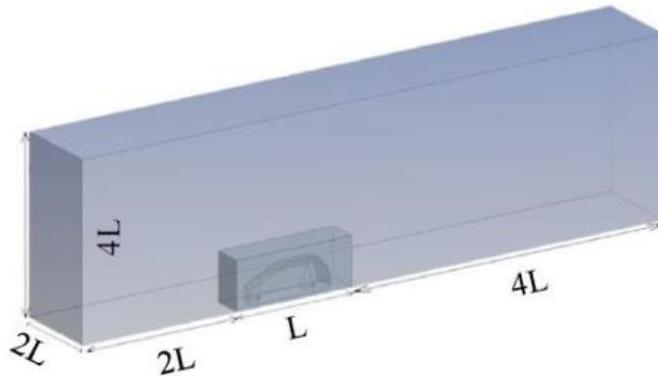
*Pre-processing* meliputi masukan dari permasalahan aliran ke suatu program CFD dan transformasi dari masukan tersebut ke bentuk yang cocok digunakan oleh solver. Langkah-langkah dalam tahap ini:

- Pendefinisian geometri yang di analisa.
- *Grid generation*, yaitu pembagian daerah domain menjadi bagian-bagian lebih kecil yang tidak tumpang tindih.
- Seleksi fenomena fisik yang perlu dimodelkan.
- Pendefinisian properti fluida.
- Pemilihan *boundary condition* (kondisi batas) pada kontrol volume atau sel yang berimpit dengan batas domain.
- Penyelesaian permasalahan aliran (kecepatan, tekanan, temperatur, dan sebagainya) yang didefinisikan pada titik nodal dalam tiap sel. Keakuratan penyelesaian CFD ditentukan oleh jumlah sel dalam grid. *Solver* dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu : *finite difference*, *finite element*, *finite volume* dan metode spektral. Secara umum metode numerik *solver* tersebut terdiri dari langkah-langkah sebagai berikut :
- Prediksi variabel aliran yang tidak diketahui dengan menggunakan fungsi sederhana.
- Diskretisasi dengan substitusi prediksi-prediksi tersebut menjadi persamaan-persamaan aliran utama yang berlaku dan kemudian melakukan manipulasi matematis.
- Penyelesaian persamaan aljabar. Metode *finite volume* adalah pengembangan khusus dari formulasi *finite difference*. *Finite volume* digunakan pada *software* CFD. Algoritma numerik metode ini terdiri dari :
- Integrasi persamaan aliran fluida yang digunakan pada semua kontrol volume domain.
- Diskretisasi persamaan integral menjadi sistem persamaan aljabar.
- Penyelesaian persamaan aljabar dengan metode iterasi.

### **2.10.2 Processing**

Tahap ini dilakukan pendefinisian metode numerik dengan menentukan kondisi batas (*boundary condition*), *initial condition*, dan parameter lain yang akan digunakan pada saat dilakukan simulasi. Parameter permodelan terdiri dari *Models* untuk menentukan model aliran, viskositas dll. Pemilihan jenis material yang akan digunakan. *Operating*

*conditions* digunakan untuk memperkirakan tekanan pada daerah operasi. *Boundary conditions* digunakan untuk menentukan batasan yang terjadi pada aliran seperti pada *inlet*, *outlet*, dan *wall*. Selanjutnya *Solution controls*, *monitor residual* dan *force* untuk melihat penyelesaian masalah. *Intialize* digunakan untuk menginisialisasi bidang aliran. kemudian dilakukan proses iterasi seperti yang di jelaskan pada refrensi gambar 2.21 menunjukkan refrensi domain. (Lai,S, 2016)



Gambar 2. 21 Referensi Dimensi domain (Lai,S, 2016)

### 2.10.3 Post-processor

*Post-processor* semakin berkembang dengan majunya *engineering workstation* yang mempunyai kemampuan grafik dan visualisasi cukup besar. Alat visualisasi tersebut antara lain :

1. Domain geometri dan *display*.
2. Plot vektor.
3. Plot kontur.
4. Plot 2D dan 3D *surface*.
5. Manipulasi tampilan (translasi, rotasi, skala, dan sebagainya).
6. Animasi *display* hasil dinamik.

Di dalam simulasi, model-model yang digunakan didiskretisasi dengan metode formulasi dan diselesaikan dengan menggunakan algoritma-algoritma numerik yang disesuaikan dengan permasalahan dan sistem yang akan dimodelkan. Model turbulensi yang sering digunakan untuk memodifikasikan persamaan RANS diantaranya Spalart-Almarast, k-epsilon, k-omega dan shear stress transport (SST) (H K Versteeg and W Malalasekera .2007)

#### -Spalart-Allmaras

Spalart-Allmaras merupakan model turbulensi dengan satu persamaan yang menyelesaikan model persamaan transpor untuk viskositas kinematika turbulen. Model ini dapat digunakan untuk simulasi yang relatif kasar dengan ukuran *mesh* yang besar di mana perhitungan aliran turbulen bukan merupakan hal yang bersifat kritis. Pemodelan yang akurat di dekat dinding merupakan hal yang penting untuk kebanyakan aplikasi teknik karena perkiraan penurunan tekanan (pressure drop), separasi aliran, lapisan batas bergantung kepada kebenaran prediksi gaya geser lokal pada dinding tersebut. Oleh karena itu diperlukan treatment tambahan untuk membuat kedua model tersebut lebih

akurat untuk memprediksikan perilaku aliran di dekat dinding, terutama pada aliran yang sangat terpengaruh oleh dinding (*wall-bonded flow*) (H K Versteeg and W Malalasekera .2007)

#### **-K-Epsilon**

Model ini merupakan model semi empiris yang dikembangkan oleh *Launder & Spalding*. Model k epsilon merupakan model turbulensi yang cukup lengkap dengan dua persamaan yang memungkinkan kecepatan turbulen (*turbulent velocity*) dan skala panjang (*length scales*) ditentukan secara independen. Kestabilan, ekonomis (dari sisi komputasi) dan akurasi yang memadai untuk berbagai jenis aliran turbulen membuat model k-epsilon sering digunakan pada simulasi fluida dan perpindahan panas . Model k-epsilon standar didasarkan pada persamaan *transport* untuk energi kinetik turbulen (k) dan tingkat disipasinya ( $\epsilon$ ) (H K Versteeg and W Malalasekera .2007)

#### **-Model k-omega**

Model k-omega standar merupakan model turbulensi berdasarkan model Wilcox k-omega yang memasukkan beberapa modifikasi untuk menghitung efek aliran pada bilangan Reynolds rendah, kompresibilitas dan penyebaran aliran geser (*shear flow*). Model ini dapat diaplikasikan pada aliran dalam saluran maupun aliran bebas geseran (*free shear flow*). Model k-omega standar didasarkan model empiris berdasarkan model persamaan *transport* untuk energy kinetik turbulen k dan tingkat disipasi spesifik  $\omega$ , atau disebut juga rasio antara  $\epsilon$  terhadap k. pada model ini, istilah produksi telah ditambahkan dalam persamaan untuk meningkatkan akurasi prediksi penyebaran aliran geser (H K Versteeg and W Malalasekera .2007)

#### **-Model Shear Stress Transport**

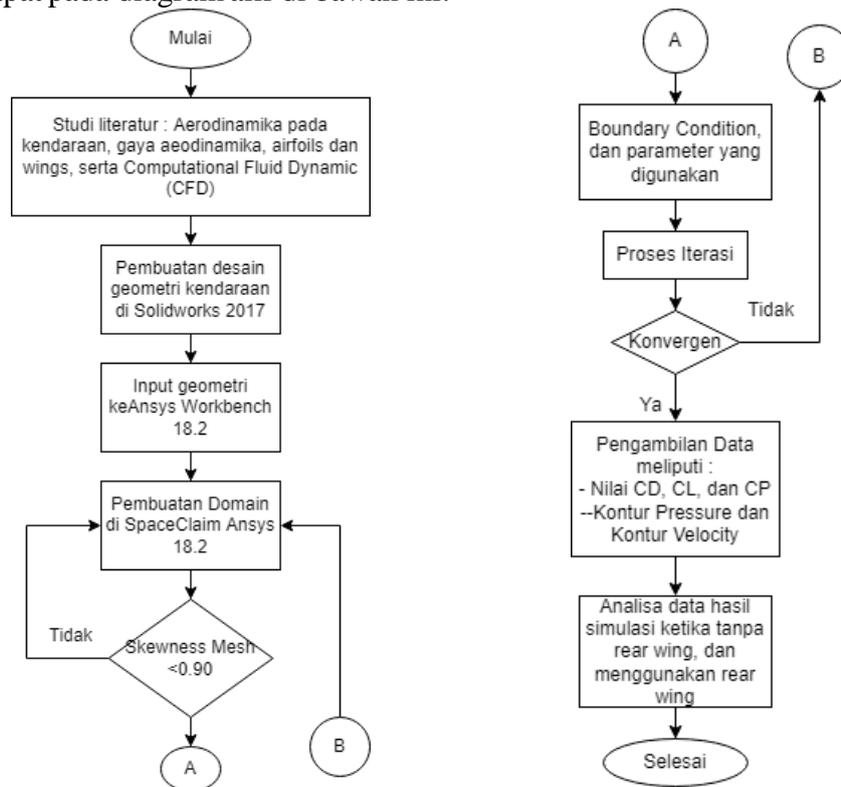
Salah satu permasalahan utama dalam memodelkan turbulensi adalah prediksi yang akurat terhadap separasi aliran di permukaan yang halus. Model turbulen 2-equation sering gagal dalam memprediksi letak awal dan jumlah separasi aliran di dalam kondisi *adverse pressure gradient*. Hal ini adalah fenomena yang penting dalam berbagai aplikasi teknis khususnya aerodinamika pesawat karena karakteristik stallnya diatur oleh separasi aliran pada sayap. Oleh karena itu dikembangkan model yang dapat memprediksi separasi aliran dengan lebih akurat. Model Shear-Stress-Transport (SST) didesain untuk memberikan akurasi yang tinggi terhadap letak awal dan jumlah aliran dalam separasi di dalam *adverse pressure gradient* dengan memasukkan efek transpor ke dalam formulasi eddy viscosity. Model ini disarankan untuk simulasi lapisan batas yang akurat. Oleh karena itu dibutuhkan resolusi yang tinggi pada lapisan batas. Model SST memiliki kelebihan dapat memprediksi separasi aliran dengan lebih akurat Sangat cocok untuk mendapatkan akurasi tinggi di lapisan batas, akurasi dalam menangani komputasi *near wall treatment* pada bilangan Reynolds rendah. Selain kelebihan model SST juga mempunyai kekurangan yaitu dibutuhkan *grid* yang bagus dan rapat di sekitar *wall* yang berarti dibutuhkan usaha lebih besar pada saat *grid generation* (H K Versteeg and W Malalasekera .2007)

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada proses pembuatan proyek akhir ini terdapat langkah-langkah dalam pelaksanaannya yang terdapat pada diagram alir di bawah ini. Langkah awal adalah studi literatur mengenai topik terkait Karakteristik profil suatu aliran fluida pada dasarnya dapat diketahui dengan menggunakan metode *Computational fluid dynamics* (CFD).

### 3.1 Studi Literatur

Proses pembuatan proyek akhir ini terdapat langkah-langkah dalam pelaksanaannya yang terdapat pada diagram alir di bawah ini:



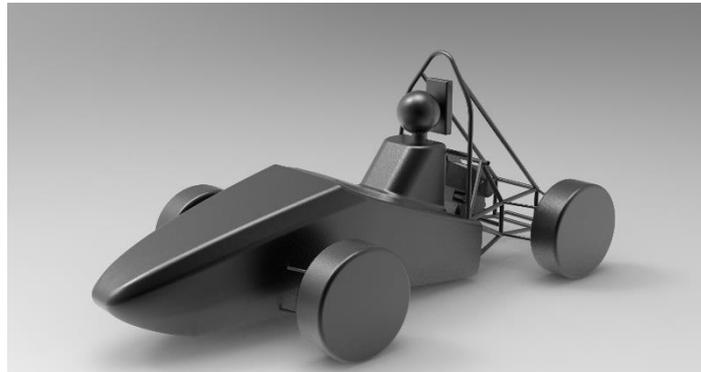
*Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian*

Pada gambar 3.1 menjelaskan bahwa pengerjaan proyek akhir ini diawali dengan studi literatur tentang aerodinamika pada kendaraan formula, gaya aerodinamika termasuk *downforce* dan *dragforce*, *airfoil*, *front wing* dan *rear wing*, dan simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD). Studi literatur bertujuan agar pemahaman mengenai materi secara utuh dalam proses simulasi dan analisis. Selanjutnya melakukan desain geometri kendaraan FSAE Nogogeni yang termasuk *nosecone*, *frame*, *engine*, *driver*, *headrest*, *wishbone*, *rear wing*. Pengujian dilakukan dengan 2 macam bentuk geometri sebagai pembandingan atau variabel diantaranya geometri mobil *original* tanpa *rear wing*, mobil dengan penggunaan *rear wing* saja. Setelah itu melanjutkan ke tahap *computational domain* dan penambahan *enclouser* serta *boi*. Tahap selanjutnya ke proses meshing dan memasuki tahap *boundary condition*, dan selanjutnya proses iterasi saat simulasi telah memenuhi konvergensi simulasi dan *grid*

*independence* serta pola *mesh* berada dibawah 10% menurut data acuan maka dilakukan pengambilan data berupa nilai CD dan CL dari setiap simulasi yang dilakukakan diantaranya mobil tanpa *rear wing* dan menggunakan *rear wing* serta beberapa plot *contour* dan *pathline*.

### 3.2 Geometri Benda Uji

Desain mobil Nogogeni formula Project tersebut sudah memenuhi regulasi atau *rules* yang telah di tetapkan oleh panitia kompetisi FSAE Australasia . Geometri mobil terdiri dari bentuk *nosecone*, *driver*, *frame*, roda depan, roda belakang, *wishbone*, *engine* dan *rear wing*. Berikut adalah rancangan desain mobil *Formula Student*



Gambar 3. 2 Desain Mobil Formula Student Nogogeni tanpa rear wing



Gambar 3. 3 Desain Mobil Formula Student Nogogeni dengan rear wing

Pada gambar 3.2 menunjukkan geomtri mobil ketika tidak menggunakan *rear wing*, dan pada gambar 3.3 menunjukkan geometri mobil ketika menggunakan *rear wing*. Proses desain 3D mobil Nogogeni Formula ITS dilakukan menggunakan *software CAD SOLIDWORKS 2017* .Dalam desain tersebut beberapa bagian mobil tidak di *assembly* secara lengkap dikarenakan kendaraan yang sudah di presentasikan sudah mencakupi dari bagian untuk di simulasikan Desain yang lebih detail dengan menambahkan semua part pada mobil akan secara signifikan meningkatkan *Reynold Number* di seluruh bagian kendaraan dan dapat menghambat proses konvergensi (Soliman, Schommer, & Martins, 2015) Pada tabel 3.1 di jelaskan tentang dimensi dari kendaraan mobil *formula student* Nogogeni ITS

Tabel 3. 1 Spesifikasi Mobil Nogogeni Formula Project

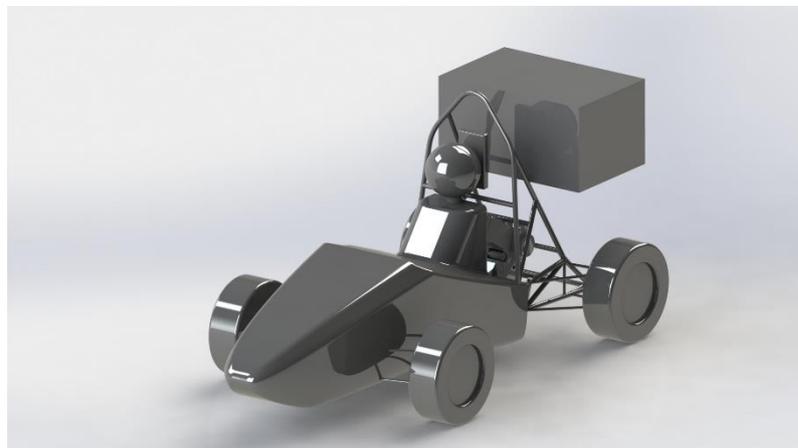
Parameter	Nilai
Panjang (L)	3203.96 mm
Lebar (W)	1405 mm
Tinggi (H)	1356.31 mm
Wheelbase	1550 mm
Tinggi GC	40 mm

### 3.3 Desain Wing dan dimensi

FSAE Australasia telah memberi regulasi atau *rules* untuk setiap peserta *Event*, itu mencakupi bagian perangkat aerodinamik yang berada dalam mobil. Regulasi tersebut sudah terdapat pada lampiran

#### 3.3.1 Dimensi *Rear Wing*

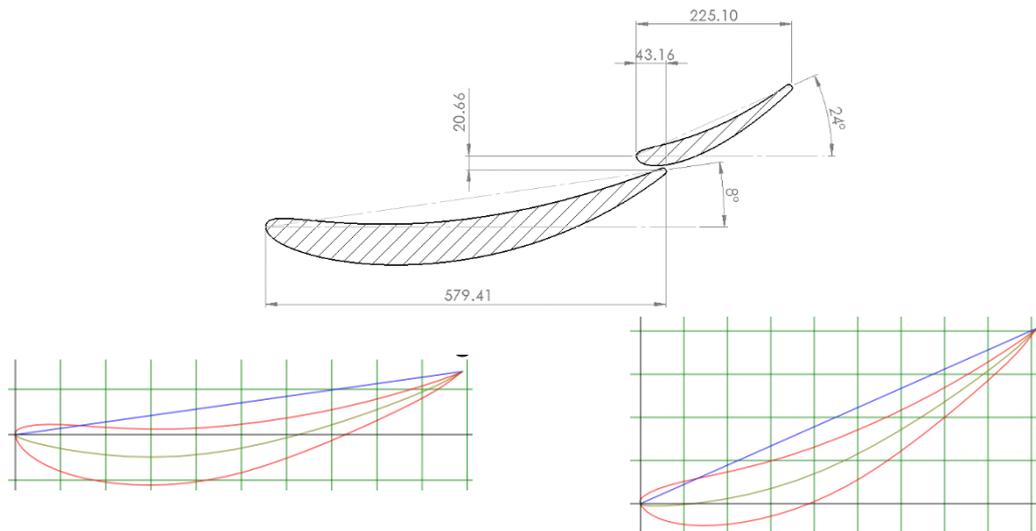
Berdasarkan batasan yang di tetapkan oleh regulasi mempertimbangkan pada bagian belakang mobil supaya memudahkan untuk reparasi komponen dan *packaging* penempatan *Rear Wing* yang tidak melebihi dari batas regulasi yang di berikan. Gambar 3.4 melihatkan desain volumetrik *Rear Wing*. Dan Gambar 3.5 merupakan dimensi serta sudut *airfoil*



Gambar 3. 4 Batasan Desain Volumetrik *Rear Wing*

Tabel 3. 2 Dimensi desain *Rear Wing*

Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)
920	863,58	544,75



**Angle of Attack 8°**

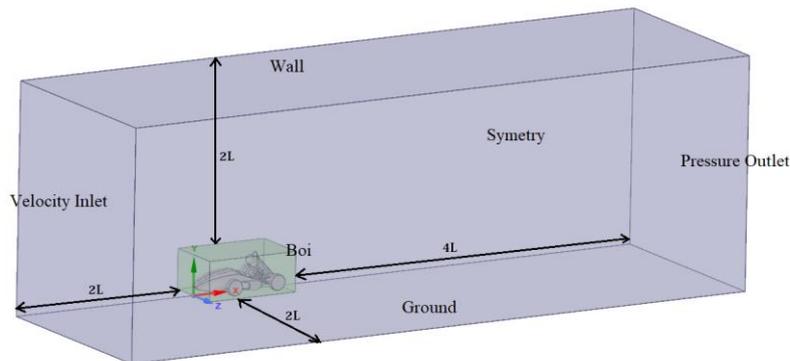
**Angle of Attack 24°**

Gambar 3. 5 Konfigurasi basis dari front wing yang terdiri dari main element, 1st flap, 2nd flap (Iljaz, J., Leopold, S., Starkl, M., & Marn, J. 2016)

### 3.4 Simulasi CFD

#### 3.4.1 Computational Domain

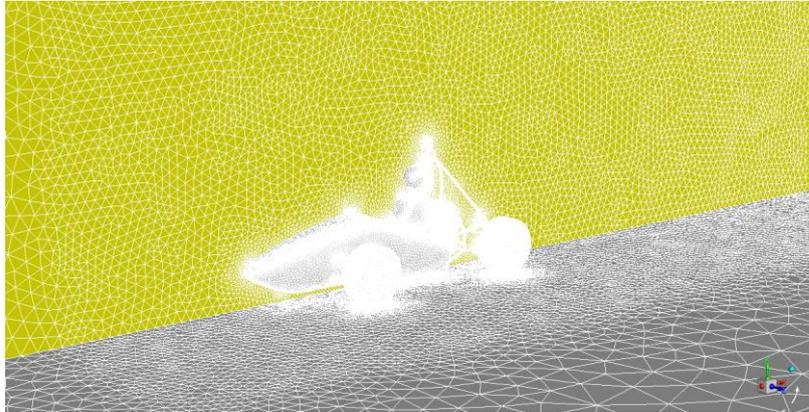
Pada kenyataannya, untuk simulasi kondisi *open road*, luas penampang terowongan angin harus menghasilkan *blockage rasio* kurang dari satu atau sama dengan 0,2%. *Blockage rasio* dapat dihitung dengan menggunakan rasio luas area depan objek yang di proyeksikan ke area penampang terowongan angin. Domain komputasi yang tidak terlalu besar dapat menghemat proses komputasi. Karena keterbatasan komputasi dan bentuk yang simetris hanya dibuat simulasi setengah kendaraan. Seperti yang di tunjukkan pada gambar 3.6 dibawah menjelaskan *computational domain* terdiri dari *velocity inlet* pada depan kendaraan dan *pressure outlet* yang berada di belakang kendaraan dan *symetri* yang berada pada area sebelah mobil serta *wall* merupakan bagian yang mengelilingi mobil dan *ground* berada di bawah kendaraan, serta dimensi dari domain yang terdiri dari 4x panjang mobil ke belakang, 2x panjang mobil kedepan, dan 2x panjang mobil ke atas, serta yang terakhir 2x panjang mobil ke bagian kanan.



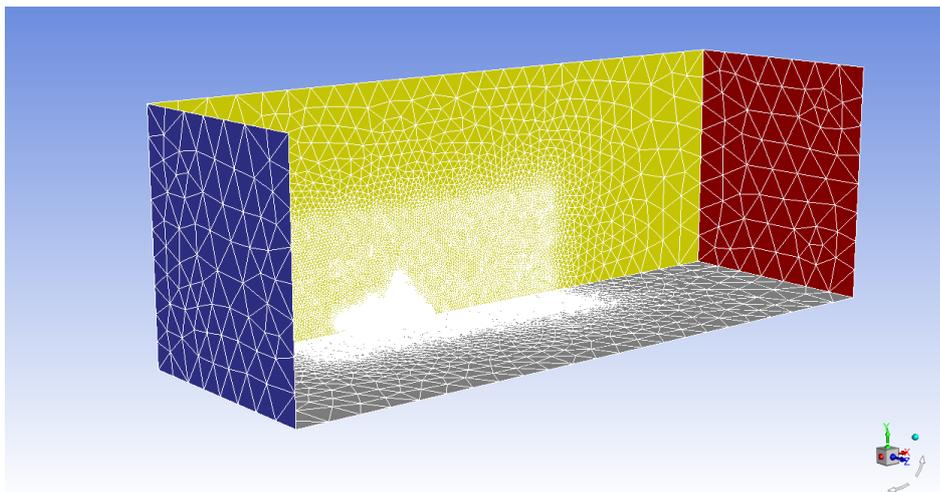
Gambar 3. 6 Domain Komputasi Mobil Formula Student Nogogeni

### 3.4.2 Meshing Parameter

*Meshing* yang di berikan pada simulasi ini memiliki ukuran kontrol volume dan metode yang berbeda beda tiap desain. Untuk membuktikan bahwa pola mesh yang di gunakan sudah tepat , dilakukan pengujian *grid independence*, yaitu memperkecil skala *mesh* hingga perubahan hasil simulasi yang di dapatkan mencapai nilai konstan, berapa mesh dengan jumlah elemen berbeda dan nilai *cd* masing-masing untuk setiap geometri. Yaitu memperkecil skala *mesh* hingga terdapat hasil simulasi yang konstan, serta mesh yang digunakan menggunakan *tetrahedra mesh* seperti yang di tunjukkan pada gambar 3.7 dan gambar 3.8.



Gambar 3. 7 Mesh Model pada Mobil Formula Student Nogogeni ITS



Gambar 3. 8 Mesh Model pada Domain Komputasi

### 3.4.3 Parameter Permodelan

#### 3.4.3.1 Viscous Model

Model turbulensi yang ditetapkan pada penelitian ini adalah k-epsilon Realizable telah *realizable* memiliki arti bahwa model tersebut memenuhi beberapa batasan matematis pada bilangan Reynold, konsisten dengan bentuk fisik aliran turbulen. Kelebihannya adalah lebih akurat untuk memprediksi laju penyebaran fluida dari pancaran jet/nosel. Model ini memberikan performa yang bagus untuk aliran yang melibatkan putaran, lapisan batas yang memiliki gradient tekanan yang besar, separasi, dan resirkulasi.

### 3.4.3.2 Material

Pada penelitian ini udara dipilih sebagai fluida kerja. *Property* udara yang digunakan adalah udara dengan densitas ( $\rho$ )  $1.225 \text{ kg/m}^3$  dan viskositas ( $\mu$ ) sebesar  $1.78 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$ .

### 3.4.3.3 Operating Conditions

Operating conditions berfungsi untuk mengatur parameter pada daerah operasi, dimana pada daerah operasi penelitian ini diatur sebesar 1 atm atau 101.325 KPa.

### 3.4.3.4 Boundary Conditions

*Boundary conditions* merupakan pengaturan permukaan yang membatasi zona fluida dalam domain komputasi. *Boundary conditions* yang digunakan dalam simulasi ini adalah *velocity inlet* pada domain bagian depan, *pressure outlet* pada bagian belakang. Bagian atas menggunakan *wall*, dan bagian bawah menggunakan *wall* yang di setting *moving wall*. *Moving wall* dengan kecepatan yang sama dengan *inlet* pada domain bagian bawah untuk menghindari pembentukan boundary layer pada bagian ground yang dapat berpengaruh ke hasil simulasi, dan *wall* pada permukaan *airfoil* dan ban. Nilai dari pengaturan *boundary conditions* dapat dilihat pada tabel 3.3 serta parameter pengujian dapat dilihat dari tabel 3.4

Tabel 3. 3 Boundary Condition

<b>Boundary Condition</b>	<b>Kondisi</b>
<i>Velocity Inlet</i>	Inlet air -Kecepatan aliran: 22,22 m/s -Turbulence intensity: 1% -Turbulence viscosity Ratio: 10
<i>Pressure Outlet</i>	Backflow Reference Frame: Absolute -Gauge Pressure: 0 Pa -Backflow Turbulent Intensity: 1% -Backflow Turbulent Ratio: 10
<i>Wall</i>	<i>No slip Wall</i>

Tabel 3.4 Parameter Pengujian

Parameter	Nilai
Model Geometri	3D Solver
Time Solver	Steady
Viscous Model	K- epsilon realizable
Material Properties	Air

### 3.4.3.5 Solution

Solution yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan skema SIMPLE, pengaturan *gradient pressure Green-Gauss Cell Based, second order* untuk *pressure*, *second order* untuk *momentum* memakai *second order upwind* dan *first order upwind* untuk *turbulent kinetic energi* dan *turbulent dissipation*.

### 3.4.3.6 Initialization

*Initialization* adalah suatu proses untuk memberikan nilai awal pada proses perhitungan numerik. Proses ini perlu dilakukan sebelum simulasi dapat dijalankan. Proses *initialization* yang digunakan adalah *hybrid initialization*.

### 3.4.3.7 Reference Values

*Reference values* digunakan untuk menentukan referensi perhitungan koefisien *drag* (CD) dan koefisien *lift* (CD) di mana nilai referensi ditentukan oleh kondisi yang diatur pada *inlet*

Tabel 3. 4 Reference Value

Properties	Value	Unit
Area	1.77	m <sup>2</sup>
Density	1.225	Kg/m <sup>3</sup>
Entahalpy	0	j/kg
Length	1	m
Pressure	0	Pascal
Temperature	288.16	k
Velocity	22.22	m/s
Viscosity	1.7894-05	Kg/m-s
Rasio of spesific heats	1.4	

### 3.4.3.7 Processing

Pada ANSYS *Fluent* kondisi-kondisi yang sudah ditetapkan pada tahap *preprocessing* akan dihitung dengan jumlah iterasi tertentu hingga *parameter* yang diuji akan mencapai nilai konvergen. Apabila simulasi belum memenuhi kriteria konvergensi yang sudah ditetapkan, proses *preprocessing* diulang dari tahap *meshing*.



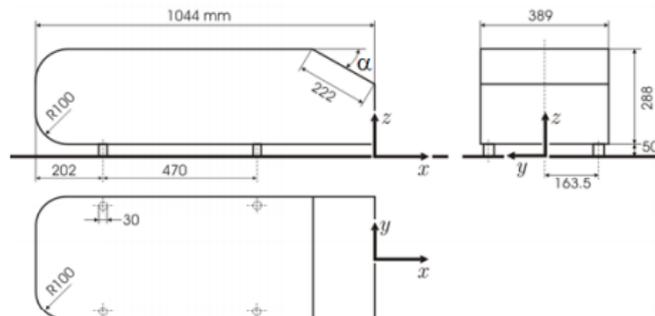
## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan dengan metode *Computational Fluid Dynamic* dengan analisa hasil simulasi kendaraan *Formula Student* Nogogeni dengan variasi penambahan *rear wing* pada kecepatan 22.22 m/s. Simulasi ini dilakukan menggunakan 3 dimensi dengan uji numerik menggunakan *software ANSYS FLUENT 18.2*

Data yang di peroleh dari hasil simulasi ini merupakan data kualitatif dan kuantitatif. Data kuantitatif yang di dapatkan merupakan Nilai koefisien *drag* ( $C_d$ ) dan koefisien *lift* ( $C_l$ ), untuk data kualitatif berupa visualisasi aliran dengan menampilkan kontur distribusi tekanan, vektor kecepatan aliran, dan *streamline* pada bodi kendaraan, dan rear wing.

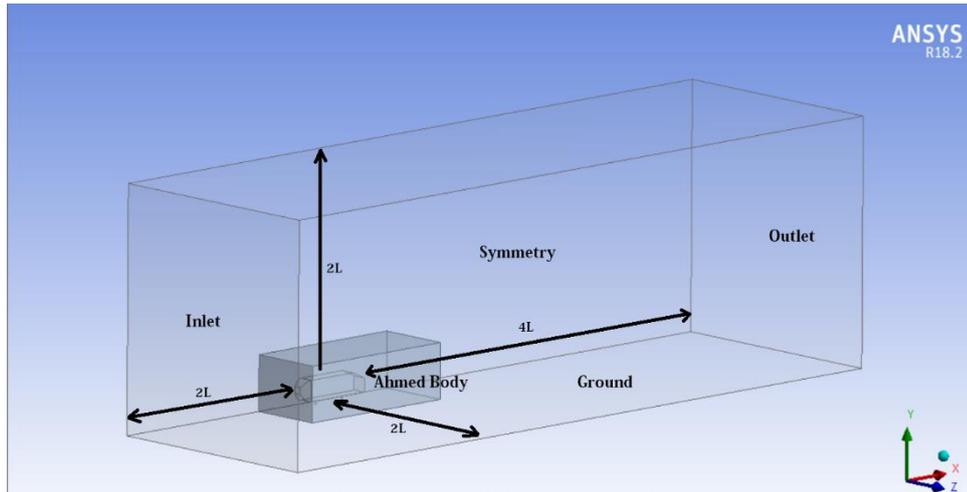
### 4.1 Validasi Metode Pengambilan Data

Validasi dari penelitian ini adalah dengan melakukan simulasi yang dilakukan oleh (Bayraktar & Ogun, 2018) yang meneliti tentang studi numerik aerodinamika pada *ahmed body*. Membandingkan hasil simulasi yang diperoleh dengan hasil simulasi penelitian sebelumnya perlu dilakukan untuk memvalidasi hasil dari simulasi ini. Dengan desain geometri pada gambar 4.1

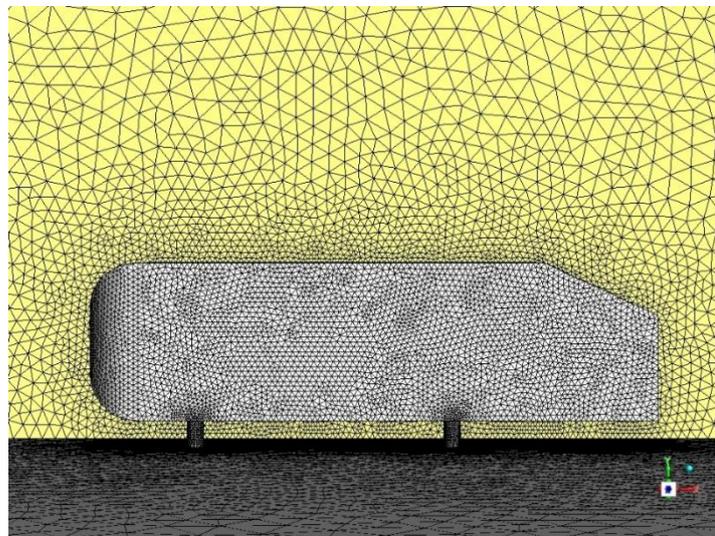


Gambar 4. 1 Dimensi Geometri Ahmed Body

*Ahmed body* tersebut berada pada domain komputasi yang berdimensi  $4L \times 2L \times 2L$  dalam *stream-wise*, *span-wise*, dan *normal directions*, dimana  $L$  adalah panjang total *ahmed body* sebesar 1044 mm, seperti yang di jelaskan pada gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Domain Komputasi Ahmed Body



Gambar 4. 3 Ahmed Body Mesh

Parameter pada simulasi ini dengan kondisi *no-slip* pada permukaan ahmed body dengan kecepatan *inlet* divariasikan. Dalam penelitian ini menggunakan model *viscous turbulence k-epsilon realizable* (RKE). Mesh yang digunakan yaitu *tetrahedral mesh* dengan *inflation* pada permukaan *ahmed body* dan *ground* yang dapat dilihat pada gambar 4.3. Pada tabel 4.1 merupakan parameter-parameter yang digunakan saat simulasi dilakukan sebagai berikut.

Tabel 4. 1 Parameter Simulasi

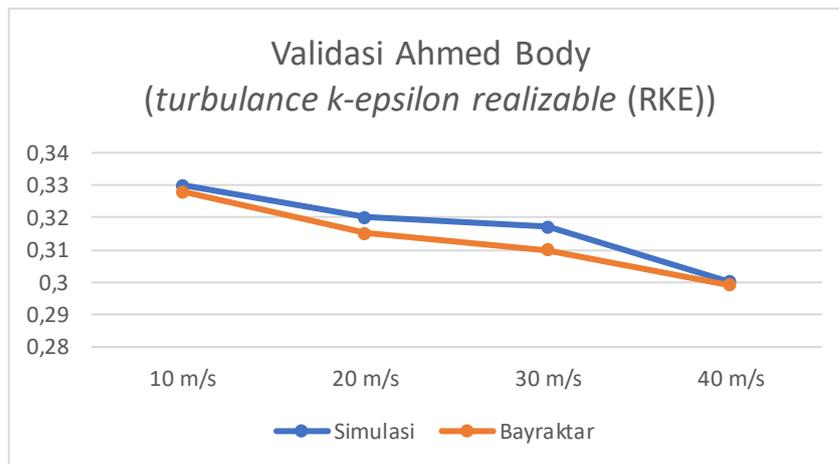
Deskripsi	Parameter	Nilai
<i>Body Length</i>	L(m)	1044
<i>Body Height</i>	H (m)	0.288
<i>Freestream Velocity</i>	U (m/s)	10, 20, 30, 40

Setelah dilakukan simulasi menggunakan *ansys fluent* 18.2 untuk validasi penelitian ini, didapatkan nilai koefisien *drag* dan koefisien *lift* untuk membandingkan simulasi yang dilakukan oleh (Bayraktar & Ogun, 2018) dengan simulasi yang dilakukan oleh peneliti dengan geometri dan parameter penelitian yang sama. Simulasi dilakukan dengan memvariasikan kecepatan *inlet* (m/s) terhadap nilai koefisien *drag*. Kecepatan *inlet* yang dimasukkan antara lain 10, 20, 30 dan 40 m/s. Seperti yang di jelaskan pada tabel 4.2

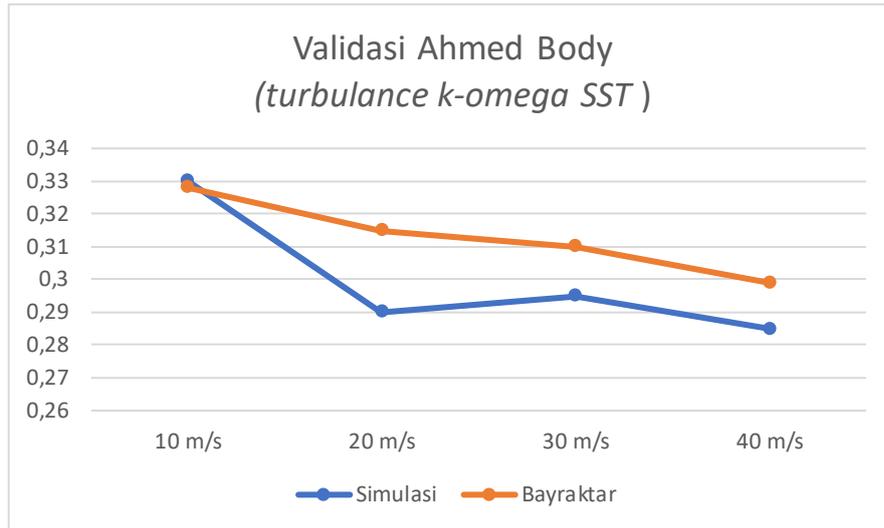
Tabel 4. 2 Validasi Hasil Simulasi

Variasi Kecepatan (m/s)	Koefisien Drag	
	Simulasi	Bayraktar
10	0,33	0,328
20	0,32	0,315
30	0,317	0,31
40	0,30	0,299

Setelah di peroleh nilai koefisien drag dari simulasi yang peneliti lakukan dan juga bayraktar dengan variasi kecepatan inlet, kemudian dilakukan perbandingan dengan melihat grafik pada gambar 4.4

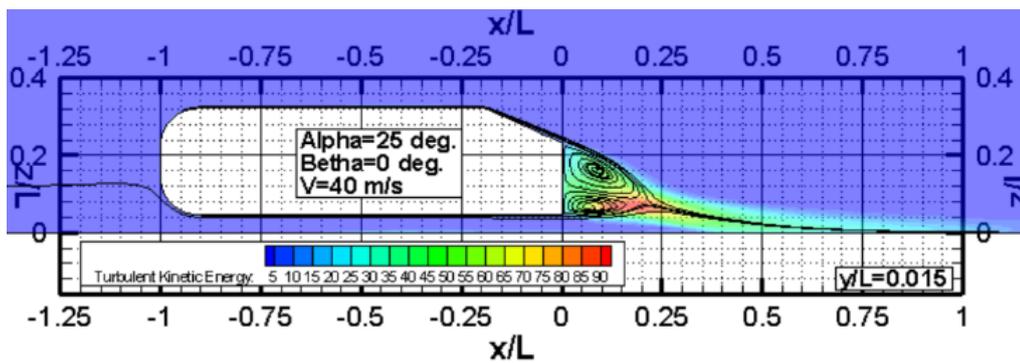


Gambar 4. 4 Grafik Validasi Plot Variasi Kecepatan Inlet terhadap Nilai Cd menggunakan *turbulence k-epsilon realizable (RKE)*

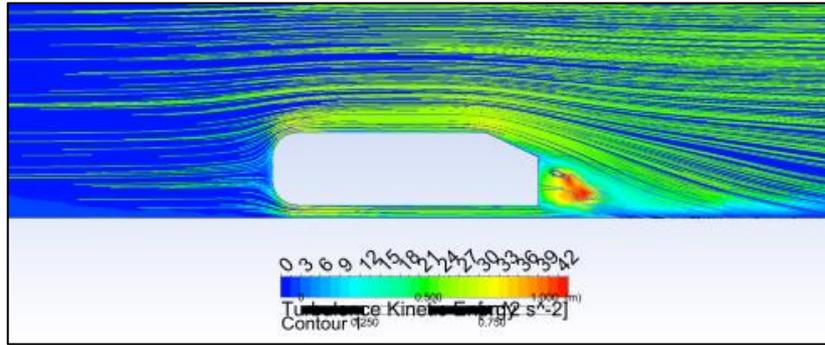


Gambar 4. 5 Grafik Validasi Plot Variasi Kecepatan Inlet terhadap Nilai Cd menggunakan *turbulence k-omega SST*

Berdasarkan gambar 4.4, ketika menggunakan *turbulence k-epsilon realizable* selisih kedua nilai koefisien *drag* simulasi dan penelitian dari Bayraktar tidak jauh berbeda. Grafik tersebut menunjukkan bahwa penurunan nilai koefisien *drag* antara kedua simulasi mengalami penurunan yang sama. Berbeda ketika menggunakan *turbulence k-omega SST* yang ditunjukkan pada gambar 4.5 yang mempunyai perbedaan hasil perbandingan yang lebih jauh dari simulasi bayraktar.



(a)



(b)

Gambar 4. 6 Turbulence Kinetic Energy Contours dan Streamlines (a) Penelitian Bayraktar  
(b) Simulasi

Pada gambar 4.6 diatas merupakan gambar simulasi dari penelitian dari bayraktar serta simulasi yang dilakukan oleh peneliti. Gambar diatas merupakan kontur *turbulence kinetic energi*. Warna merah yang berada di bagian belakang body bayraktar dan peneliti memiliki persamaan, yaitu terdapat *wake* pada daerah tersebut.

#### 4.2 Grid Independensi

Studi numerik dengan menggunakan perangkat lunak *Ansys Workbench* yang dilakukan pada penelitian kali ini diperlukan keakuratan data pada *pre-processing* dan *post-processing*. Keakuratan data di perlukan untuk bisa divalidasi pada pengaplikasian sebenarnya. Maka dari itu dilakukanlah grid independensi untuk menentukan struktur *grid* yang terbaik agar pada hasil pemodelan mendapatkan hasil yang akurat atau perubahan hasil mencapai nilai konstan dan mendekati hasil yang sebenarnya. *Grid independency* dilakukan dengan cara membuat variabel beberapa jumlah *cell (element)* dalam *mesh* dengan kondisi batas yang sama. Untuk hasil simulasi yang akurat juga di sebabkan kualitas mesh yang baik. Hasil mesh yang baik tidak tergantung pada Jumlah *cell* yang banyak, tetapi terdapat perbedaan dari beberapa mesh yang menunjukkan perbedaan hasil yang tidak signifikan atau hasil yang didapat mencapai nilai konstan. Pada tabel 4.3 menunjukkan hasil simulasi beberapa mesh untuk *grid* independensi dengan membandingkan parameter koefisien *drag (CD)*.

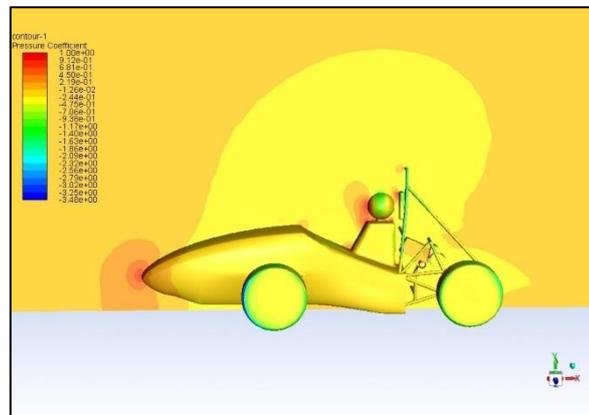
Tabel 4. 3 Grid Independency

No	Skewness	Jumlah Cell	Cd
A	0,8983	3291798 cell	0.32464786
B	0,90424	3669942 cell	0.32663431
C	0,86356	3917207 cell	0.32323468
D	0,93721	4432973 cell	0.31084342
E	0,89797	4850467 cell	0.31568983

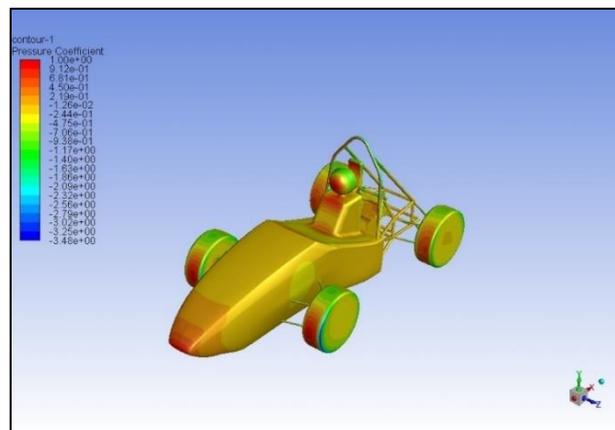
Dari hasil tabel 4.3 *grid independency* yang di dapat maka untuk pada simulasi penelitian kali ini menggunakan tabel C dengan *skewness* 0,86, dengan jumlah 3917207 *cell*, koefisien *drag* sebesar 0.32 dan koefisien *lift* sebesar 0.11 dikarenakan acuan dari nilai *skewness* yang <90 dan jumlah penambahan *cell* yang mulai meningkat signifikan pada *mesh* D dengan jumlah *cell* 4432973.

#### 4.3 Hasil Simulasi Mobil tanpa *Rear Wing*

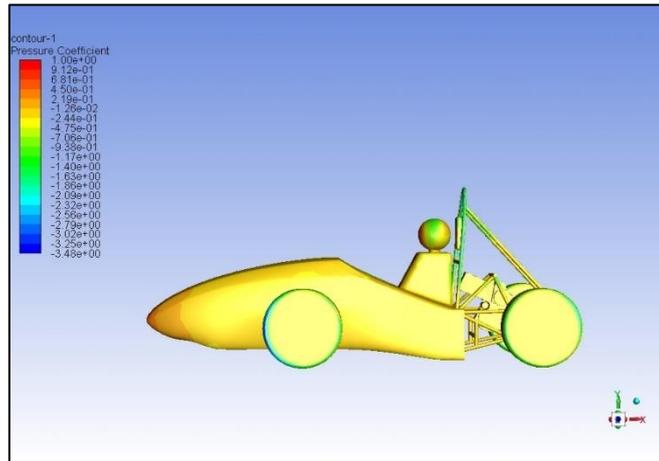
Setelah dilakukan *grid independency* dan dipilih pola mesh yang digunakan untuk simulasi, selanjutnya melakukan simulasi CFD pada keseluruhan body mobil *Formula Student* Nogogeni ITS mulai dari mobil tanpa menggunakan *front wing* dan *rear wing* sampai menggunakan penambahan kedua perangkat tersebut. Pada simulasi ini dilakukan pengujian mobil tanpa menggunakan *front wing* dan *rear wing* (*original body*). Domain komputasi simulasi ini menyerupai keadaan mobil dalam kondisi *track* lurus dengan kecepatan maksimum mobil sebesar 22.22 m/s dengan *no-slip wall* pada *ground*. Didapatkan hasil simulasi yang didapat pada *CFD post* pada *software* simulasi. Ditampilkan beberapa visualisasi salah satunya dari kontur distribusi tekanan, vektor kecepatan, dan streamline baik pada permukaan mobil maupun di sekitar mobil.



Gambar 4. 7 Distribusi Tekanan Pada Mobil Formula Student Nogogeni ITS (Contour Pressure Coefficient)

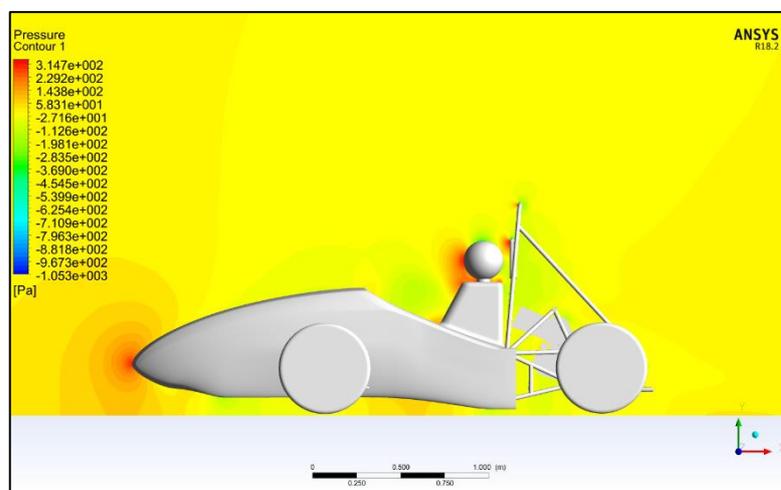


Gambar 4. 8 Distribusi Tekanan Pada Mobil Formula Student Nogogeni ITS (Tampak Isometri)

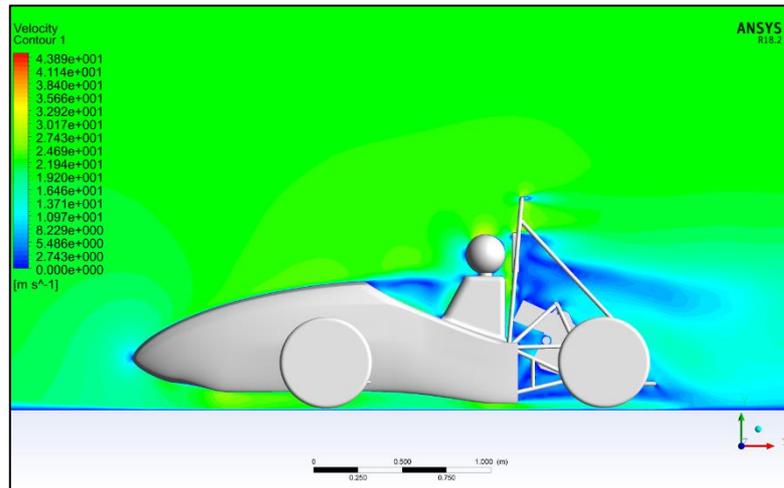


Gambar 4. 9 Distribusi Tekanan Pada Mobil Formula Student Nogogeni ITS (Tampak Samping)

Pada gambar 4.7 Di tunjukkan *Contour Pressure* yang mendapatkan tekanan paling tinggi berada pada permukaan *body* mobil yang menunjukkan warna merah pada permukaan *body* , selain pada permukaan *body* , di bagian area depan roda, dan juga setengah area depan roda belakang, area depan *wishbone*, area depan *wishbone* belakang, area depan *headrest* serta pada bagian kepala dan juga badan *driver* , dan juga pada *mainhoop*. Area yang berwarna dominan lebih merah terdapat pada bagian depan mobil, dikarenakan pada bagian depan mobil terkena tekanan langsung dengan aliran udara sehingga terjadinya titik stagnasi di daerah *nosecone* dengan nilai *coefficient pressure* sebesar 1 bisa dilihat dari yang di tunjukkan gambar 4.8 . Daerah yang terjadi stagnasi dapat berpengaruh pada gaya hambat mobil serta koefisien *drag*. *Spectrum* yang berwarna merah terletak pada daerah *leading edge* yang akan memecah aliran melalui *upperside* dan *lowerside body*, serta daerah kanan dan kiri body mobil. Efek viskositas dapat menyebabkan timbulnya *boundary layer* di sepanjang permukaan body mobil sehingga timbulnya *gradient* kecepatan. *Gradient* kecepatan yang terjadi dapat menimbulkan distribusi tekanan di sepanjang permukaan body mobil.



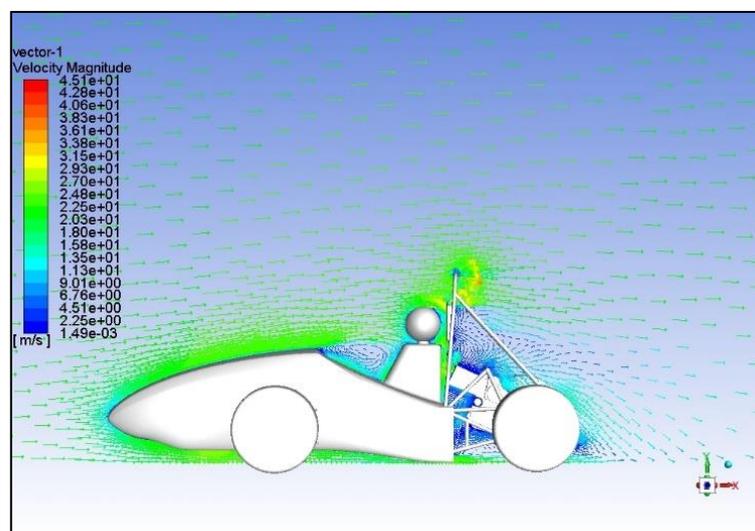
(a)



(b)

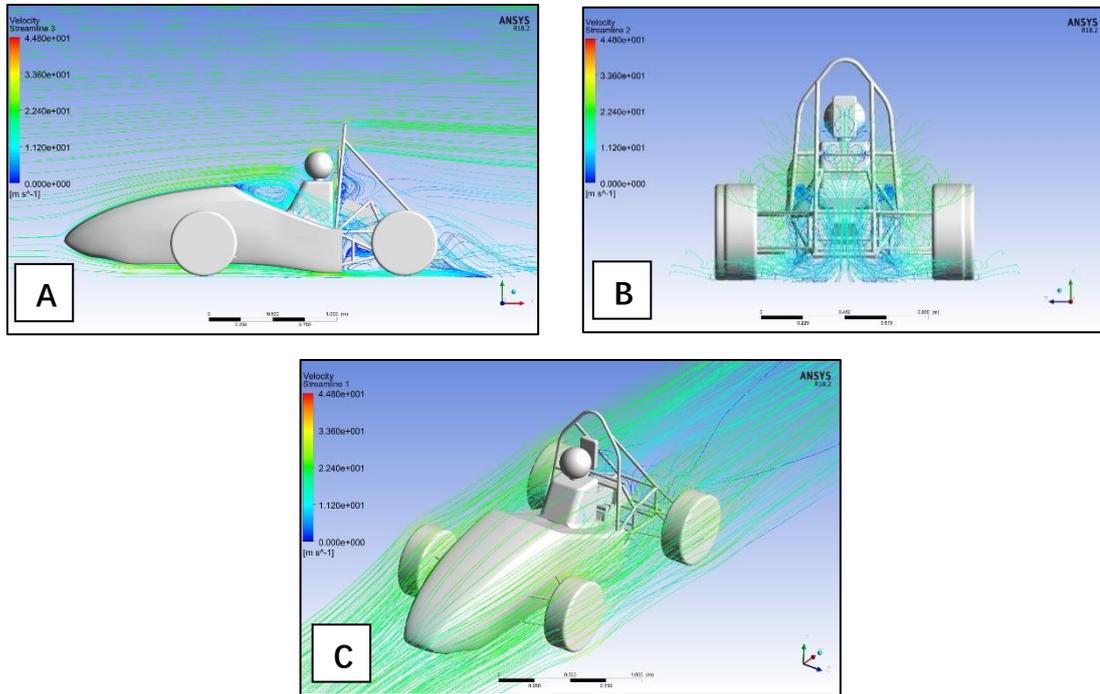
Gambar 4. 10 (a) Kontur Distribusi Tekanan Gambar (b) Kontur Kecepatan Aliran

Pada gambar 4.10 (a) Ditunjukkan kontur distribusi tekanan yang terjadi pada permukaan mobil dengan visualisasi bidang *symetry* . warna merah yang di tunjukkan di daerah *nosecone* dan *driver* yang memiliki titik stagnasi dengan nilai koefisien yang lebih tinggi, dan yang bertekanan lebih rendah berada pada bagian belakang mobil dan di bagian *lowerside* di akibatkan karena terjadinya perlambatan aliran kecepatan mobil. Pada gambar 4.10 (b) menunjukkan kontur kecepatan aliran yang di visualisasikan pada bidang *symetri*, dengan warna biru yang berada pada daerah belakang mobil menunjukkan aliran yang mengalami distribusi perlambatan aliran dan mengakibatkan kecepatan pada area daerah belakang *driver* dan belakang mobil menjadi lebih rendah, serta mengalami adanya fenomena separasi aliran udara yang terbentuk dan warna merah di tunjukkan bahwa kecepatan aliran yang dialami sangatlah tinggi. Titik separasi aliran juga di alami pada daerah *cockpit* , *driver* dan juga bagian *engine*.



Gambar 4. 11 Vektor Kecepatan Aliran pada midspan

pada gambar 4.11 menunjukkan vektor kecepatan aliran yang melalui permukaan mobil, dengan visualisasi bidang *symetri* sebagai objek dari aliran yang mengarah dari sumbu x. Pada gambar tersebut *vortex* terjadi pada belakang *driver* dan juga pada belakang *mainhoop* bagian atas. Aliran udara yang melewati mobil mengakibatkan terjadinya fenomena *gradient* tekanan antara depan mobil, sehingga aliran fluida mengalami perlambatan dan mengalami separasi aliran fluida. Pada bagian depan mobil, *cockpit*, hingga bagian bawah mobil mengalami aliran udara yang tinggi yang di terima dari bagian depan mobil.



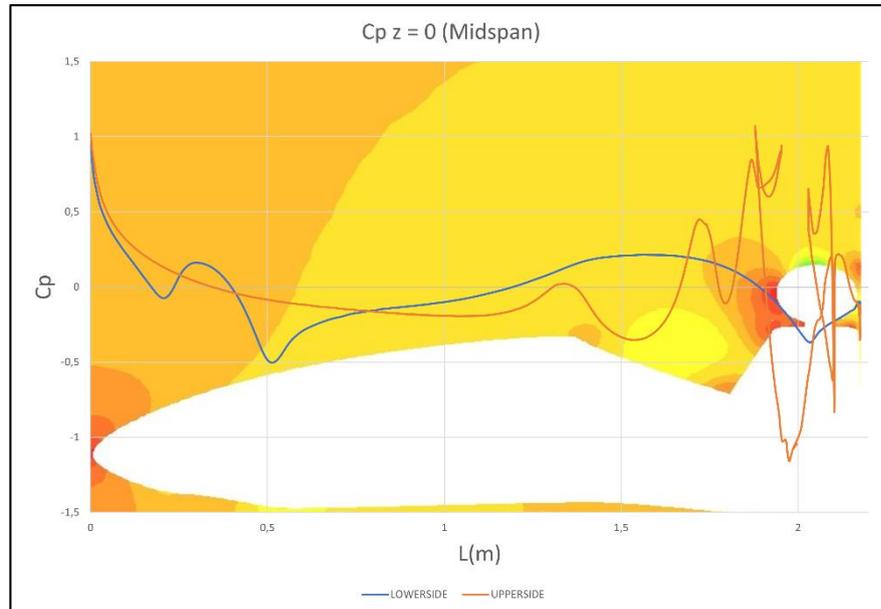
Gambar 4. 12 Streamline Kecepatan Pada Mobil Formula Nogogeni ITS (a) Tampak depan (b) Tampak Belakang (c) Tampak Isometri

Pada gambar 4.12 menunjukkan visualisasi *streamline* kecepatan pada mobil di bidang *syemmetry* dan terjadinya pemisah aliran dari *nosecone* menuju ke permukaan mobil. Berdasarkan visual *streamline* yang terjadi bisa diperlihatkan pada gambar 4.11 (a) tampak isometri dan gambar 4.12 (b) tampak belakang mobil, bisa di lihat bahwa terjadinya fenomena separasi aliran udara yang menyebabkan timbulnya *wake* pada area belakang mobil yang mengakibatkan *drag*. Dan pada gambar 4.12 (c) bisa di perlihatkan aliran udara yang menuju kearah bagian pada roda, pada tampak isometri.

#### 4.3.1 Grafik Coefficient Pressure pada Daerah Midspan Formula Student Nogogeni ITS

Pada hasil simulasi yang mengetahui nilai  $C_p$  pada daerah midspan mobil dengan panjang  $x=0$  sampai  $x=1.5$  (m). Aliran pada bodi mobil bagian *nosecone* mengalami aliran *freestream* yang menumbuk daerah *leading edge* dari bagian depan mobil yang akan membentuk titik stagnasi. Titik stagnasi merupakan titik yang kecepatannya

nol tanpa proses *friction*. Titik stagnasi pada daerah *nosecone* akan bergeser ke daerah *upperside*  $x/L = 0.001$ . aliran akan terbagi melewati *upperside* dan *lowerside* bodi setelah membentuk titik stagnasi.

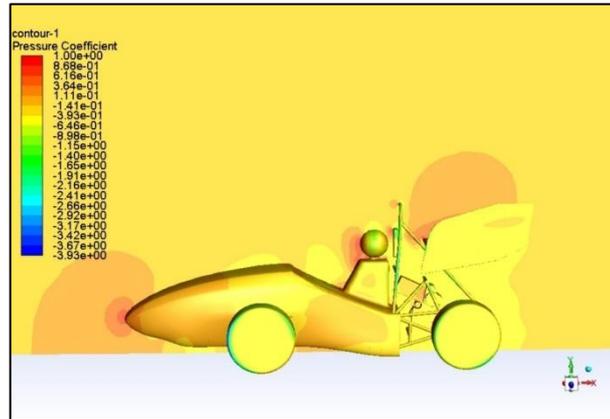


Gambar 4. 13 Grafik Distribusi Cp Midspan pada Kontur Bodi lowerside dan upperside

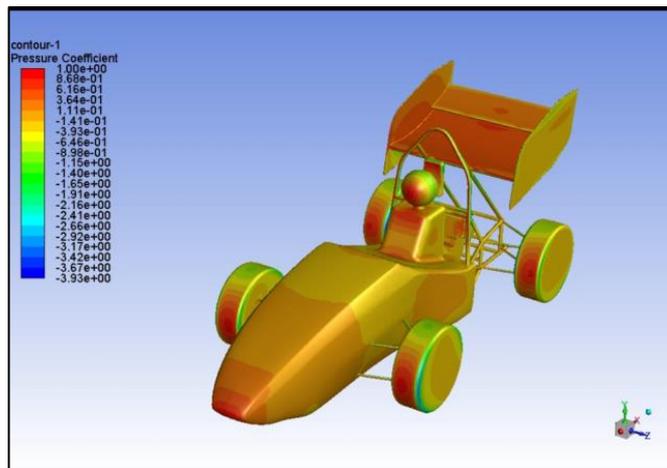
pada gambar diatas menunjukkan grafik 4.13 merupakan gambar yang menunjukkan pada kontur bodi bagian *lowerside* dan *upperside*. Bisa dijelaskan bahwa terbentuk titik stagnasi pada  $x=0.001$  dengan  $C_p$  sebesar 1 aliran udara akan dipercepat dengan ditunjukkannya penurunan grafik  $C_p$  di kedua aliran *upperside* dan *lowerside*. Percepatan aliran udara yang lebih menurun dengan konstan terjadi pada *upperside*, hal ini dikarenakan perubahan yang konstan daripada *lowerside*. Ketika aliran udara mendekati bagian *cockpit* dengan nilai  $C_p = -0.17$  pada  $x = 1.11$  m kecepatan aliran mengalami penurunan serta koefisien tekanan mengalami kenaikan dengan nilai  $C_p = 0.02$  pada  $x = 1.345$  m, setelah itu mengalami kenaikan aliran dengan nilai  $C_p = 0.33$  pada  $x = 1.5$  m dan mengalami penurunan pada  $x = 1.79$  dengan nilai  $C_p = -0.1092$ . Di bagian *lowerside* pada tekanan awal mengalami penurunan tekanan dengan nilai  $C_p = 1$  pada  $x = 0.001$  m menjadi  $C_p = -0.074$  pada  $x = 0.208$  m, kemudian naik kembali menjadi  $C_p = 0.158$  pada  $x = 0.312$ , perubahan hal tersebut terjadi dikarenakan kontur bodi *lowerside* yang bergelombang, setelah itu kembali turun menjadi  $C_p = -0.502$  pada  $x = 0.516$ , kemudian kontur nilai  $C_p$  menjadi ladaai dan konstan dengan nilai  $C_p = 0.208$  pada  $x = 1.5$ .

#### 4.4 Hasil Simulasi Mobil menggunakan *Rear Wing*

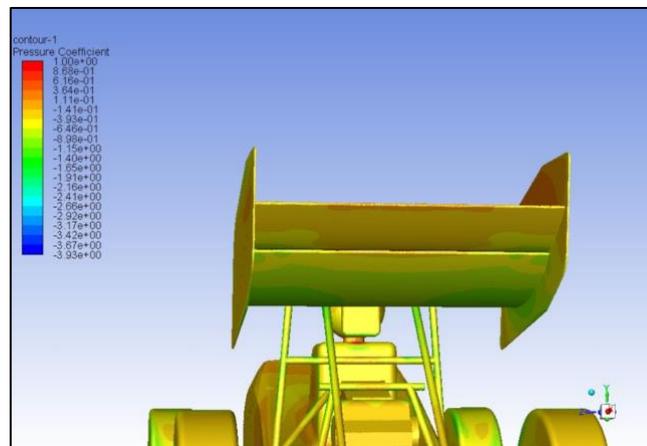
Pada pengujian selanjutnya dilakukan simulasi CFD pada mobil *Formula Student* Nogogeni ITS, namun pada simulasi ini dilakukan pengujian mobil dengan hanya menambahkan *rear wing* saja. Domain komputasi simulasi ini menyerupai keadaan mobil dalam kondisi *track* lurus dengan kecepatan maksimum mobil sebesar 22.22 m/s dengan *no-slip wall* pada *ground*. Didapatkan hasil simulasi yang didapat pada *CFD post* pada *software* simulasi. Ditampilkan beberapa visualisasi salah satunya dari kontur distribusi tekanan, vektor kecepatan, dan streamline baik pada permukaan mobil maupun di sekitar mobil.



Gambar 4. 14 Distribusi Tekanan Pada body Mobil Nogogeni Formula Project dengan Rear Wing ( Contour Pressure)

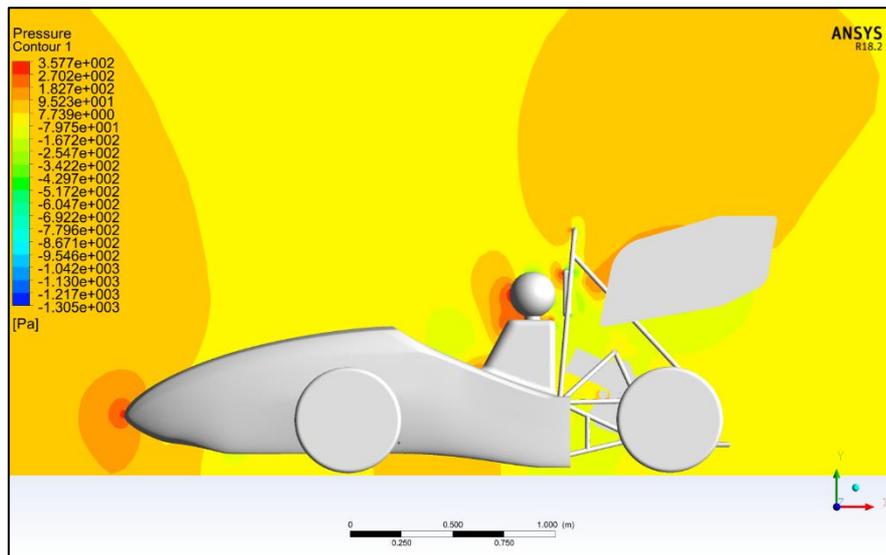


Gambar 4. 15 Distribusi Tekanan Pada Body Mobil Nogogeni Formula Project dengan Rear Wing (Isometri)

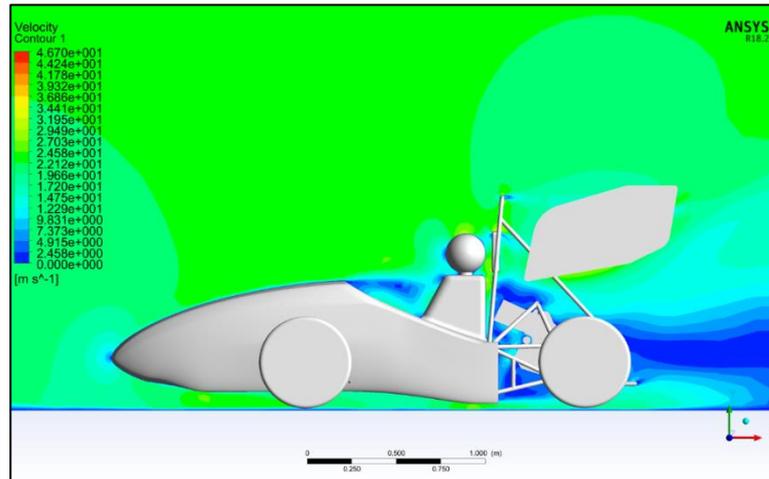


Gambar 4. 16 Distribusi Tekanan Pada Body Mobil Nogogeni Formula Project dengan Rear Wing (Tampak Bawah Rear Wing)

Pada gambar 4.14 Menunjukkan *surface* distribusi tekanan pada mobil formula nogegeni menggunakan *Rear Wing*. Nilai tekanan paling tinggi tinggi berada pada permukaan *body* mobil yang menunjukkan warna merah pada permukaan *body* , selain pada permukaan *body* , di bagian area depan roda, dan juga setengah area depan roda belakang, area depan *wishbone*, area depan *wishbone* belakang, area depan *headrest* serta pada bagian kepala dan juga badan *driver* , dan juga pada *mainhoop*. dan yang terakhir pada bagian *Rear Wing*. Area yang berwarna dominan merah terjadi pada di titik stagnasi yang terdapat pada bagian depan body mobil, dikarenakan bertekanan langsung oleh aliran udara yang menyentuh pada area depan mobil dengan ditandai nilai  $C_p = 1$  pada gambar 4.15 , daerah stagnasi di karenakan dari *coeficient drag* yang berpengaruh oleh gaya hambat yang di dihasilkan oleh mobil. *Spectrum* yang berwarna merah yang terjadi pada daerah *leading edge* setelah itu melewati dan juga memecah aliran *upperside* dan *lowerside body*. Timbulnya efek viskositas dari aliran udara menimbulkan *bounday layer* di sepanjang area permukaan *body* mobil sehingga munculnya *gradient* kecepatan. *Gradient* kecepatan akan mengakibatkan distribusi tekanan di area permukaan *body* mobil, bukan hanya *ground effect* yang di timbulkan pada aliran permukaan *body* bawah mobil (*lower surface*), karena tidak adanya penambahan perangkat aerodinamika yang di tambahkan pada *body* mobil seperti *diffuser*. Pada gambar 4.15 di tunjukkan *contour surface pressesure* pada area atas *rear wing* yang memiliki nilai *coefficient pressure* positif karena memiliki tekanan yang lebih tinggi daripada area bawah pada *rear wing*, seperti ditunjukkan pada gambar 4.16. Perbedaan nilai *pressure* dari yang tidak menggunakan *rear wing* dan menggunakan *rear wing*, yang mengakibatkan *downforce* yang lebih tinggi sehingga berpengaruh pada gaya hambat atau *drag* yang berlebih dengan menggunakan *rear wing*.



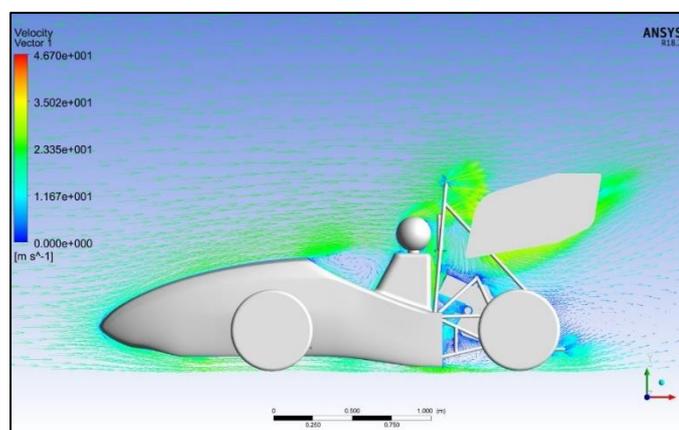
(A)



(B)

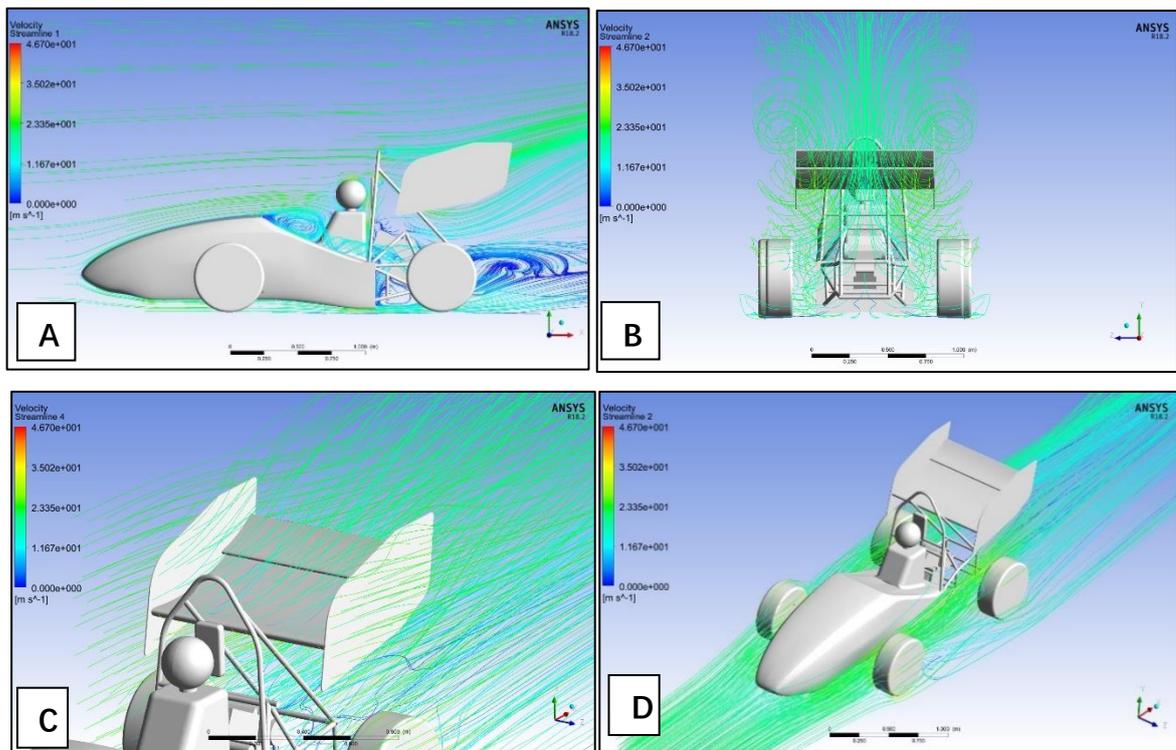
Gambar 4. 17 (a) Kontur Distribusi Tekanan Gambar (b) Kontur Kecepatan Aliran

Pada gambar 4.17 (a) merupakan kontur distribusi tekanan di sekitar *body* mobil dengan bidang *symmetri* sebagai tampilan dari visualisasi penggunaan *rear wing* pada mobil formula nogogeni. Tampak yang berwarna merah di bagian *nosecone*, *driver* dan *rear wing* memiliki titik stagnasi dengan koefisien pressure yang lebih tinggi, serta distribusi tekanan yang paling rendah terletak pada belakang mobil dan *lowerside* karena telah mengalami distribusi dan perlambatan. Gambar 4.17 (b) menunjukkan kecepatan aliran udara dengan pengaruh penambahan *rear wing* pada mobil formula nogogeni, warna biru menunjukkan kecepatan aliran yang rendah dan warna merah menunjukkan kecepatan aliran udara yang lebih tinggi. Jika dilihat pada gambar separasi aliran terdapat pada bagian belakang *driver* serta pada bagian *engine*. peningkatan kecepatan terdapat di area depan *kocpit*, *helm driver*, dan pada bagian bawah mobil dikarenakan oleh *ground clearance* yang sangat rendah. Pada *rear wing*, kontur aliran kecepatan udara berwarna kuning yang berada pada bawah permukaan *rear wing*, dan berwarna hijau pada permukaan atas *rear wing*, hal ini menunjukkan kecepatan aliran di bagian bawah *rear wing* lebih tinggi dar pada bagian atas *rear wing* dengan kecepatan yang lebih rendah.



Gambar 4. 18 Vektor Kecepatan Aliran Bidang Symetry Mobil dengan Penambahan Rear Wing

Pada gambar 4.18 menunjukkan visualisasi dari vektor kecepatan aliran yang terjadi dari arah sumbu X pada plane simetridengan penambahan *rear wing* pada mobil formula nogogeni, bisa dilihat dri detail *vortex* yang terjadi pada belakang driver hinga berkelanjutan mngikuti arah sumbu X selanjutnya. *Tip vortices* mulai terjadi pada bagian *rear wing* yang di tunjukkan disekitar *endplate* pada bagian atas hingga aliran mengarah ke atas, fungsi dari *endplate* sendiri merupakan sebagai mengurangi vortex yang terbentuk. Aliran yang mengarah dan melewati mobil mengakibatkan tejadinya *gradient* tekanan pada bagian depan mobil dan juga pada bagian belakang mobil, sehingga terjadinya penghambatan aliran udara, dan mengakibatkan fenomena separasi aliran fluida, dan terjadi pada belakang *driver* di bagian *engine* juga terjadi fenomena separasi aliran fluida.



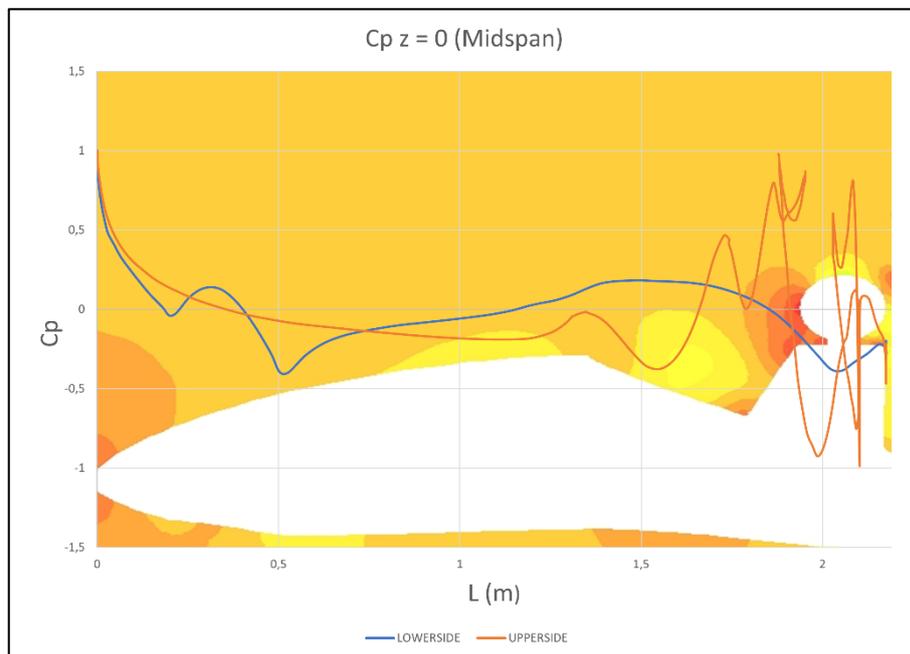
Gambar 4. 19 Streamline Kecepatan Pada Mobil Formula Nogogeni ITS (a) Tampak Depan bagian symmetri (b) Tampak Belakang (c) Bagian Rear Wing (d) Tampak Isometri

Dari gambar 4.19 menunjukkan visualisasi streamline aliran udara di sekitar mobil. *Streamline* kecepatan yanag diperlihatkan pada gambar tersebut menunjukkan terjadi pemecahan aliran pada daerah *nosecone* ke sekitar *surface* bodi mobil. 4.19 (a) dapat diketahui bahwa terjadi fenomena separasi aliran pada bagian belakang bodi mobil. Adanya separasi aliran akan menyebabkan timbulnya *wake* di belakang bodi mobil yang mengakibatkan *drag*. Selain itu terlihat pada gambar aliran tidak beraturan terjadi di belakang mobil, pada *sidepod* terjadi sedikit pusaran dan *endplate* pada *sidepod* berfungsi untuk

mengarahkan aliran udara mengarah ke sisi samping roda belakang sehingga meminimalkan gaya hambat pada area depan roda belakang. Terlihat pada gambar 4.19 (c) bahwa adanya *vortex* terbentuk karena adanya *endplate* pada *rear wing*. Selain itu, *streamline* juga menunjukkan *wing* dapat menghindari gangguan aliran di belakang kendaraan. Terlihat pada gambar menunjukkan bahwa aliran udara yang melewati *rear wing* dipengaruhi oleh banyak bagian dari kendaraan yang terletak di bagian depan *rear wing* yang mengakibatkan dampak pada efisiensi *rear wing*. Pengurangan efisiensi ini banyak dipengaruhi pada bagian kokpit, helm dan *mainhoop* yang dilewati oleh *freestream* yang kemudian menciptakan *vortice*. Pada gambar 4.19 (c) menunjukkan aliran pada daerah yang melintasi pada roda.

#### 4.4.1 Grafik Coefficient Pressure pada Daerah Midspan Formula Student Nogogeni ITS

Pada hasil simulasi yang mengetahui nilai  $C_p$  pada daerah midspan mobil dengan panjang  $x=0$  sampai  $x=1.5$  (m). Aliran pada bodi mobil bagian *nosecone* mengalami aliran *freestream* yang menumbuk daerah *leading edge* dari bagian depan mobil yang akan membentuk titik stagnasi. Titik stagnasi merupakan titik yang kecepatannya nol tanpa proses *friction*. Titik stagnasi pada daerah *nosecone* akan bergeser ke daerah *upper side*  $x/L = 0.001$ . Aliran akan terbagi melewati *upper side* dan *lower side* bodi setelah membentuk titik stagnasi.



Gambar 4. 20 Grafik Distribusi  $C_p$  Midspan pada Kontur Bodi lowerside dan upperside

Pada grafik gambar 4.20 (a) diatas menunjukkan grafik pada bagian *lowerside* dan *upper side*. Bisa dijelaskan bahwa terbentuk titik stagnasi pada  $x=0.001$  dengan  $C_p$  sebesar 1 aliran udara akan dipercepat dengan ditunjukkannya penurunan grafik  $C_p$  di kedua aliran *upper side* dan *lowerside*. Percepatan aliran udara yang lebih menurun dengan konstan terjadi pada *upper side*, hal ini dikarenakan perubahan yang konstan daripada *lowerside*, ketika aliran udara mendekati bagian *cockpit* dengan nilai

mengalami kenaikan pada  $x = 1.34$  dengan  $C_p$  sebesar  $-0.0162$  dan mengalami penurunan pada  $x = 1.55$  dengan nilai  $C_p$  sebesar  $-0,37$  dan mengalami kenaikan kembali pada  $x = 1.72$  dengan nilai  $C_p$   $0.463$ , mengalami kenaikan lagi pada  $x = 1.78$  dengan nilai  $0.0027$ . Pada bagian *lowerside* awalnya mengalami penurunan dengan nilai  $C_p = -0,024$  pada  $x = 0.2$  (m) kemudian mengalami kenaikan dengan nilai  $C_p = 0.044$  pada  $x = 0.384$ . hal ini disebabkan oleh kontur bodi yang cukup bergelombang pada bagian *lowerside*, sehingga terdapat perbedaan kontur bodi bagian *lowerside*. Setelah itu mengalami percepatan aliran udara dengan penurunan kembali dengan nilai  $C_p = -0.398$  pada  $x = 0.526$ , kemudian mengalami kenaikan kembali dengan nilai  $C_p = 0.088$  pada  $x = 1.349$ . Setelah itu  $C_p$  pada *lowerside* mengalami kenaikan yang konstan mengikuti kontur bodi pada *lowerside*.

#### 4.5 Analisa Hasil $C_d$ dan $C_l$ pada Mobil Formula Student Nogogeni ITS

Setelah dilakukan simulasi CFD dengan menggunakan software ANSYS FLUENT, didapatkan hasil yang kuantitatif berupa nilai Koefisien Drag ( $C_d$ ) dan Koefisien Lift ( $C_l$ ). Dan di dapatkan hasil nilai dari *Dragforce* dan *Downforce*. Dengan simulasi mobil formula student Nogogeni ITS menggunakan *body* yang cukup kompleks berupa, *nosecone*, *wishbone*, *engine*, *frame*, *rear wing*, *driver wheels*, dan *headrest.*, dengan variabel dari simulasi yaitu *body* formulas student Nogogeni ITS tidak menggunakan perangkat aerodinamika *rear wing*, dan *body* formulas student Nogogeni ITS menggunakan *rear wing*. Luas *frontal area* pada simulasi sebesar  $0.64$  dengan menggunakan *rear wing* sebesar  $0.77 \text{ m}^2$ . tujuan pengambilan data performa aerodinamika untuk mengetahui bagaimana perubahan dan pengaruh penambahan *rear wing* pada mobil *Formula Student* Nogogeni ITS sehingga hasil yang diharapkan adalah mampu menentukan konfigurasi optimum berdasarkan simulasi yang telah dilakukan.

##### 4.5.1 Hasil Koefisien Drag ( $C_D$ )

Pada tabel 4. Menunjukkan perbandingan hasil data kuantitatif dengan hasil uji sebelumnya yaitu dari koefisien drag ( $C_D$ ) dan nilai dari *drag force* (N) pada pengujian simulasi mobil *Formula Student* Nogogeni ITS tidak menggunakan *rear wing* dan menggunakan *rear wing*. Hasil pengujian dengan menggunakan parameter yang sama dengan pengujian sebelumnya dan di tentukan pada metodologi penelitian.

Tabel 4. 4 Hasil Drag Force (N) dan Koefisien Drag ( $C_D$ )

Formula Student Nogogeni ITS Velocity Inlet = 22.22 m/s				
Variation	Hasil Simulasi		Aditya Yoga	
	Drag Force	Coefficient Drag	Drag Force	Coefficient Drag
FSN w/o wing	63.10 N	0.32	53.03 N	0.26
FSN with rearwing	99.72 N	0.42	94.525 N	0.38

Pada tabel 4.4 menjelaskan Setelah dilakukan simulasi CFD dengan 2 variasi menggunakan *rear wing* dan tidak menggunakan *rear wing*, maka di dapatkan hasil kuantitatif yang di peroleh dari mobil *Formula Student* Nogogeni ITS tidak

menggunakan *rear wing* dengan kecepatan konstan 22 m/s pada *track* lurus dari penelitian ini sebesar 63.10 N. Sedangkan hasil simulasi yang dilakukan oleh Aditya Yoga sebesar 53.03 N. Untuk hasil simulasi penelitian ini dengan penambahan perangkat aerodinamika *rear wing* sebesar 99.72 N , sedangkan hasil simulasi yang dilakukan oleh Aditya Yoga sebesar 94.525 N . Untuk hasil nilai kuantitatif simulasi mobil *Formula Student* Nogogeni ITS dari koefisien *drag* ( $C_d$ ) dengan variasi tidak menggunakan *rear wing* pada penelitian ini memiliki nilai sebesar 0.32 . dan hasil yang dilakukan oleh Aditya Yoga sebesar 0.26. Sedangkan hasil nilai kuantitatif simulasi mobil *Formula Student* Nogogeni ITS menggunakan perangkat aerodinamika *rear wing* pada penelitian ini sebesar 0.42 sedangkan hasil simulasi yang dilakukan oleh Aditya Yoga sebesar 0.38. Dengan perbedaan hasil setiap variasi tidak menggunakan *rear wing* dan menggunakan *rear wing* dikarenakan *frontal area* yang semakin meningkat dan memiliki keuntungan menambah *downforce*, namun memiliki konsekuensi yaitu dengan nilai *drag force* yang dihasilkan lebih semakin meningkat salah satunya dengan penambahan perangkat aerodinamika *rear wing*. Dengan terdapat perbedaan hasil dari simulasi sebelumnya dikarenakan pada penelitian kali ini dengan menggunakan *body* yang cukup kompleks berupa , *nosecone*, *wishbone*, *engine*, *frame*, *rear wing*, *driver wheels*, dan *headrest.*, dengan adanya penambahan beberapa *part* mobil dapat menambahkan hasil dari *drag force* dan juga koefisien *drag* dari mobil *Formula Student* Nogogeni ITS.

#### 4.5.2 Hasil Koefisien Lift ( $C_L$ )

Pada tabel 4. Menunjukkan perbandingan hasil data kuantitatif dengan hasil uji sebelumnya yaitu dari koefisien lift ( $C_L$ ) dan nilai dari *drag force* (N) pada pengujian simulasi mobil *Formula Student* Nogogeni ITS tidak menggunakan *rear wing* dan menggunakan *rear wing*. Hasil pengujian dengan menggunakan parameter yang sama dengan pengujian sebelumnya dan di tentukan pada metodologi penelitian.

Tabel 4. 5 Hasil Lift Force (N) dan Koefisien Lift ( $C_L$ )

Formula Student Nogogeni ITS Velocity Inlet = 22.22 m/s				
Variation	Hasil Simulasi		Aditya Yoga	
	Lift Force	Coefficient Lift	Lift Force	Coefficient Lift
FSN w/o wing	-22.22 N	-0.11	27.42 N	-0.136
FSN with rearwing	-102.21 N	-0.43	167.659 N	-0.684

Pada tabel 4.5 menjelaskan Setelah dilakukan simulasi CFD dengan 2 variasi menggunakan *rear wing* dan tidak menggunakan *rear wing*, maka di dapatkan hasil kuantitatif yang di peroleh dari mobil *Formula Student* Nogogeni ITS tidak menggunakan *rear wing* dengan kecepatan konstan 22 m/s pada *track* lurus dari penelitian ini sebesar -22.22 N. Sedangkan hasil simulasi yang dilakukan oleh Aditya Yoga sebesar 27.42 N. Untuk hasil simulasi penelitian ini dengan penambahan perangkat aerodinamika *rear wing* sebesar -102.21 N , sedangkan hasil simulasi yang

dilakukan oleh Aditya Yoga sebesar 167.659 N . Untuk hasil nilai kuantitatif simulasi mobil *Formula Student* Nogogeni ITS dari koefisien *lift* (*Cl*) dengan variasi tidak menggunakan *rear wing* pada penelitian ini memiliki nilai sebesar -0.11 . dan hasil yang dilakukan oleh Aditya Yoga sebesar -0.136 . Sedangkan hasil nilai kuantitatif simulasi mobil *Formula Student* Nogogeni ITS menggunakan perangkat aerodinamika *rear wing* pada penelitian ini sebesar -0.43 sedangkan hasil simulasi yang dilakukan oleh yoga sebesar -0.684. Dengan perbedaan hasil setiap variasi tidak menggunakan *rear wing* dan menggunakan *rear wing* dikarenakan *frontal area* yang semakin meningkat dan memiliki keuntungan menambah *downforce*, namun memiliki konsekuensi yaitu dengan nilai *drag force* yang dihasilkan lebih semakin meningkat salah satunya dengan penambahan perangkat aerodinamika *rear wing*.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan dengan menggunakan *software Ansys Fluent 18.2* dengan hasil yang di dapatkan pengaruh penambahan *rear wing* pada mobil Formula Nogogeni ITS dengan menggunakan permodelan numerik, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Hasil pengujian pada penelitian ini dengan menambahkan body yang lebih realistis meliputi *nosecone, wishbone, wheels, engine, frame, driver, headrest*. Dengan penambahan part tersebut pada mobil *Formula Student Nogogeni ITS* ketika tidak menggunakan *rear wing* maka di dapatkan hasil koefisien *drag* ( $C_D$ ) dan koefisien *lift* ( $C_L$ ) yang berbeda di bandingkan pada mobil *Formula Student Nogogeni* tidak menggunakan *rear wing*, dengan hasil pada penelitian ketika tidak menggunakan *rear wing* mendapatkan nilai  $C_D$  sebesar 0.32 dengan nilai *dragforce* sebesar 63.10 N dan  $C_L$  sebesar -0.11 dengan nilai *downforce* sebesar -22.22 N. Pada penelitian yang menggunakan perangkat aerodinamika *rear wing* memiliki pengaruh yang signifikan, dengan hasil pada penelitian kali ini  $C_D$  sebesar 0.42 dengan nilai *dragforce* sebesar 99.72 N serta  $C_L$  sebesar -0.43 dengan nilai *downforce* sebesar -102.21 N.
2. Hasil setelah penambahan dari *rear wing* nilai *dragforce* bertambah sebesar 58% dan nilai *downforce* mengalami peningkatan yang cukup signifikan sebesar 359%

### 5.2 Saran

Setelah dilakukan penelitian ini, terdapat beberapa saran yang dapat bermanfaat untuk penelitian selanjutnya, sebagai berikut

1. Diperlukan penelitian yang lebih lanjut pada variasi *Angle of Attack* pada masing masing *flap* dibagian *rear wing*, guna mendapatkan hasil yang lebih optimal ketika mengetahui variasi terbaik yang digunakan untuk performa mobil *Formula Student Nogogeni ITS*.
2. Diperlukan *meshing* yang lebih baik untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat serta mendapatkan hasil yang lebih optimal terhadap performa mobil.
3. Diperlukan simulasi dengan domain komputasi yang mengetahui performa mobil pada saat berbelok.
4. Perlu hasil uji eksperimental untuk memperkuat hasil simulasi yang dilakukan

## DAFTAR PUSTAKA

- Abbott, I. H. Von Doenhoff, A.E.V., and Stivers, L. S. (1945) "Summary of Aerofoil Data", NACA Report No. 824.
- Anderson, John D., Jr. (John David), (2017) (19317) *Fundamentals of Aerodynamics* Sixth edition. | New York, NY : McGraw-Hill Education,
- Australasia, S. (2021). *formula-resources* . Retrieved from Society of Automotive Engineers - Australasia: <https://www.saea.com.au/formula-resources>
- Bayraktar, S., & Ogun, Y. (2018). Effects of under body diffuser on the aerodynamics of a generic . *International Journal of Automotive Engineering* .
- Damjanovic, D.; Kozak, D.; Zivic, M.; Ivandic, Z.; and Baskaric T. (2010). CFD analysis of concept car in order to improve aerodynamics. *Keynote Address at International Scientific and Expert Conference TEAM*, Kecskemet.
- H K Versteeg and W Malalasekera (2007). An Introduction to Computational Fluid Dynamics THE FINITE VOLUME METHOD Second Edition
- Houghton, E. L , Carperter. P.W., Collicott. S. H, & Valentine, D. T (2017). Aerodynamic for Engineering Students Sevent Edition. United Kingdom : Todd Green
- Iljaz, J., Leopold, S., Starkl, M., & Marn, J. (2016). Optimization of SAE Formula Rear Wing. *University of Maribor, Faculty of Mechanical Engineering, Slovenia*
- Kontogiannis, S.G. & Ekaterinaris, J.A. (2013). Design, performance evaluation and optimization of a UAV. *Aerospace Science and Technology*.
- Lai, S. (2016). Effect of Size and Shape of Side Mirrors on the Drag of a Personal Vehicle. Taylor's University EURECA Conference, Subang Jaya, Selangor
- Nicholas, Mulvany, Chen, Li, Tu, Jiyuan, & Anderson. (2004). Steady State Evaluation of 'Two-Equation' RANS Turbulence Models Simulation for High-Reynolds Number Hydrodynamic Flow. . DSTO Platform Division, Australia.
- Nugraha, Aditiya Eka Yoga.(2021). Simulasi Numerik Pengaruh Penambahan Front Wing dan Rear Wing. Terhadap Performas Aerodinamika pada Mobil Formula Student Nogogeni ITS *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Pelakis, N., & Oxyzoglou, I. (2017). Design & Development of An Aerodynamic Package For A Fsaе Race Car. *Thessaly: University of Thessaly*.
- Pritchard. (2011). Fox and McDonal's Introduction to Fluid Mechanics, Eighth Editon. USA : JOHN WILEY & SONS, INC.
- Seljak, G. (2008) Race Car Aerodynamics; University of Ljubljana: Ljubljana, Slovenia.
- Walter, D. (2007). Study of Aerofoils at High Angle of Attack in Ground Effect. *Master's Thesis*.
- Wen Yen, L. (2017). Design and Development of a Multi-Element Active Aerodynamic Package to Enhance the Performance of Taylor's Formula SAE Car. *Department of Mechanical Engineering, School of Engineering, Taylor's University, Malaysia*.

## **LAMPIRAN 1 : REGULASI F-SAE AUSTRALASIA**

Berikut merupakan daftar regulasi FSAE Australasia 2020 yang berkaitan dengan topik Aerodinamika kendaraan.

### **T.7 Bodywork And Aerodynamic Devices**

#### **T.7.1 Aerodynamic Devices**

##### **T.7.1.1 Aerodynamic Device**

A 50<sup>uet</sup> o50 the vehicle which guides airflow for purposes including generation of downforce and/or change of drag. Examples include but are not limited to: wings, undertray, splitter, endplates, vanes

##### **T.7.1.2 No power device may be used to move or remove air from under the vehicle.**

Power ground effects are strictly prohibited.

##### **T.7.1.3 All Aerodynamic Devices must be designed such that the mounting system provides sufficient**

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.7.1.4 All forward facing edges that could contact a pedestrian (wings, end plates, and undertrays)**

must have a minimum radius of 5 mm for all horizontal edges and 3 mm for vertical edges. This may 50<sup>uet</sup> o radius of the edges 83 themselves, or additional permanently attached pieces designed to meet this requirement.

##### **T.7.1.5 Other edges that a person may touch must not be sharp**

#### **T.7.2 Bodywork**

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

##### **T.7.2.2 Bodywork, a nose cone, or another component mounted to the vehicle is an Aerodynamic**

Device if is designed to, or may possibly, produce force 50<sup>uet</sup> o aerodynamic effects

##### **T.7.2.3 Bodywork must not contain openings into the Cockpit from the front of the vehicle back to the**

Main Hoop or Firewall. The cockpit opening and minimal openings around the front suspension components are allowed.

##### **T.7.2.4 All forward facing edges on the Bodywork that could contact people, including the nose, must**

have forward facing radii minimum 38 mm. This minimum radius must extend 45° or more relative to the forward direction, along the top, sides and bottom of all affected edges.

#### **T.7.3 Measurement<sup>84</sup>**

##### **T.7.3.1 All Aerodynamic Device limitations are measured:**

- a. With the wheels pointing in the straight ahead position
- b. Without a driver in the vehicle The intent is to standardize the measurement, see GR.4.4.1

##### **T.7.3.2 Any part of any Aerodynamic Device or Bodywork must meet V.1.1**

##### **T.7.3.3 Head Restraint Plane**

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

##### **T.7.4 Length**

In plan view, any part of any Aerodynamic Device must be:

- a. No more than 700 mm forward of the fronts of the front tires
  - b. No more than 250 mm rearward of the rear of the rear tires
- Formula SAE® Rules 2021 © 2020 SAE International Page 65 of

#### **T.7.5 Width**

In plan view, any part of any Aerodynamic Device must be:

##### **T.7.5.1 When forward of the centerline of the front wheel axles:**

Inboard of two vertical planes parallel to the centerline of the chassis touching the outside of the front tires at the height of the hubs.

##### **T.7.5.2 When between the centerlines of the front and rear wheel axles:**

Inboard of a line drawn connecting the outer surfaces of the front and rear tires at the height of the wheel centers

##### **T.7.5.3 When rearward of the Head Restraint Plane:**

Inboard of two vertical planes parallel to the centerline of the chassis touching the inside of the rear tires at the height of the hub centerline.

#### **T.7.6 Height**

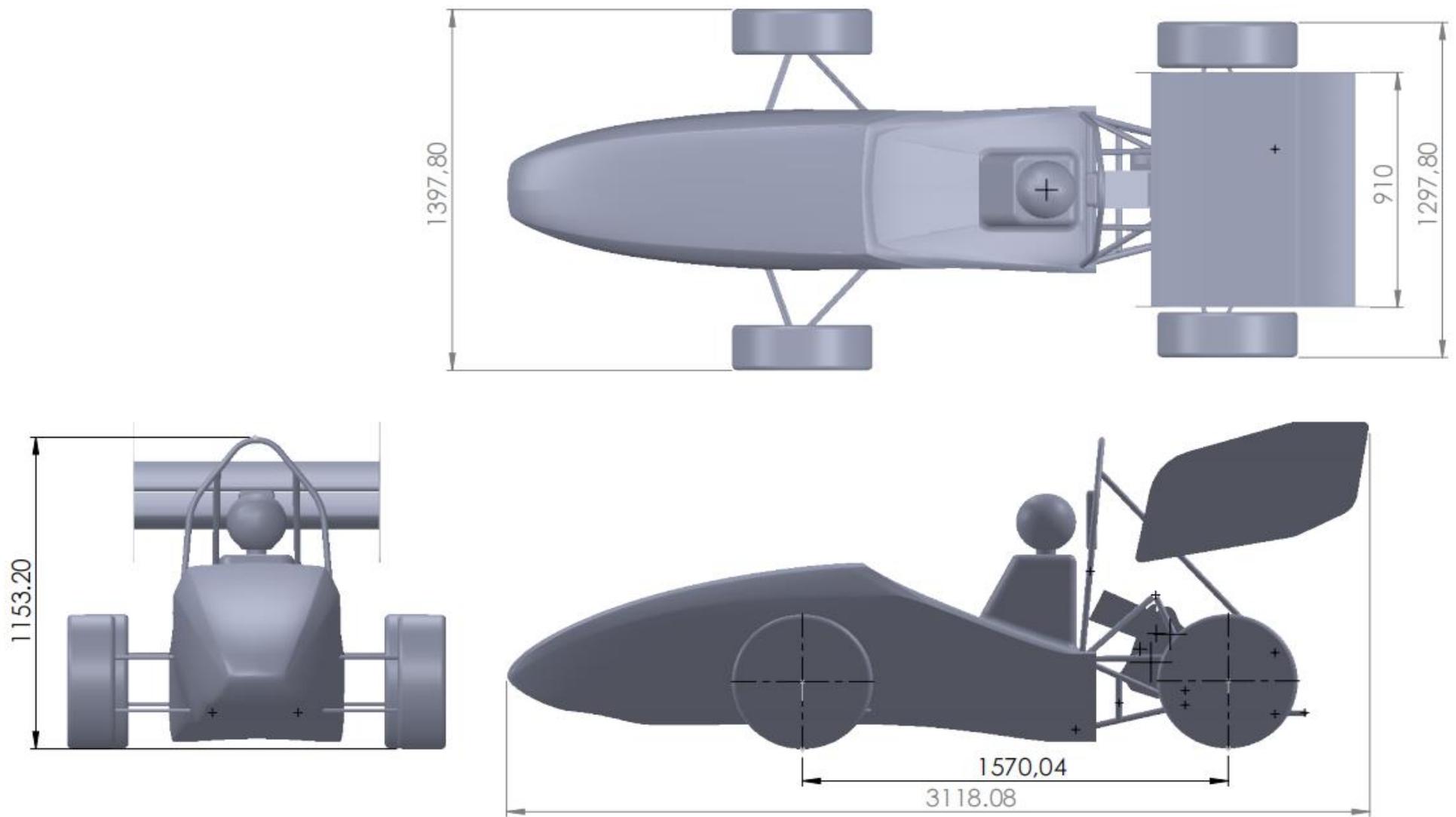
##### **T.7.6.1 Any part of any Aerodynamic Device that is located:**

- a. Rearward of the Head Restraint Plane must be no higher than 1200 mm above the ground.
- b. Forward of the Head Restraint Plane must be no higher than 500 mm above the ground.
- c. Forward of the centerline of the front wheel axles and Outboard of two vertical planes parallel to the centerline of the chassis touching the inside of the front tires at the height of the hubs must be no higher than 250 mm above the ground

##### **T.7.6.2 Bodywork height is not restricted when the Bodywork is located:**

- Between the transverse vertical planes positioned at the front and rear axle centerlines
- Inside two vertical fore and aft planes 400 mm outboard from the centerline on each side of the vehicle

## **LAMPIRAN 2 : DIMENSI GEOMETRI KENDARAAN**



	Skala : 1:25	Digambar :	Peringatan :	
	Satuan Ukuran : mm	NRP :		
	Tanggal :	Dilihat :		
FV-ITS		FORMULA STUDENT NOGOGENI ITS	No.	A4

## **BIODATA PENULIS**



Penulis dilahirkan di Gresik, 19 Maret 2000, dan merupakan anak ke kedua dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu, SDN Pongangan Gresik, SMP Muhammadiyah 1 Gresik, SMA Muhammadiyah 1 Gresik dan Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS. Pada tahun 2018 penulis di terima di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 1021181001002 Teknik Rekayasa Konversi Energi merupakan bidang yang di pilih penulis. Selama duduk di bangku kuliah penulis aktif mengikuti kegiatan baik dibidang akademik maupun non akademik. Penulis juga pernah mengikuti kegiatan yang membangun keahlian softskill dan juga hardskill. Organisasi yang pernah diikuti oleh penulis yaitu Nogogeni ITS Team pada tahun 2019-2022 di divisi body and frame.

Pelatihan yang pernah diikuti oleh penulis yaitu Pelatihan yang pernah diikuti penulis: Pelatihan Karya Tulis Ilmiah Departemen Teknik Mesin Industri ITS (2018). Pelatihan LKMM Pra TD di Fakultas Vokasi ITS (2018), dan pelatihan basic media schooling HMDM ITS (2019) serta Pelatihan Motor Bakar HMDM ITS (2019). Penulis juga melaksanakan program magang industri di PT PLN Pusat Pemeliharaan Ketenagalistrikan (PUSHARLIS) UWP VI Surabaya pada bulan Maret hingga bulan Juni 2021 di bidang quality control, mechanic dan perencanaan.