



MAGANG INDUSTRI – VM 191667

**PERANCANGAN AERODYNAMIC SYSTEM MOBIL FORMULA
NOGOGENI ITS TEAM**

**RAHMAD RAHARDIAN DIAS AFFANDI
10211710010059**

**Dosen Pembimbing
Rizaldy Hakim Ash Shiddieqy, ST., MT
1993201911071**

**Program Studi S1 Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2021**

LEMBAR PENGESAHAN

Yang bertandatangan dibawah ini

Nama : Lie S Hanafie
NIP :
Jabatan : Divisi Marketing

Menerangkan bahwa mahasiswa

Nama : Rahmad Rahardian Dias Affandi
NRP : 10211710010059
Prodi : S1 Terapan – Teknologi Rekayasa
Konversi Energi

Telah menyelesaikan Magang Industri di

Nama Perusahaan : PT LIQUI MOLY
Alamat Perusahaan : Blok 1 No 23-25, Jalan Kali
Rungkut Ruko Megah Raya Kali
Rungkut, Panjang Jiwo, Kec
Tenggilis Mejoyo, Kota Surabaya,
Jawa Timur, 60292
Bidang : Penyedia Produk Pelumas dan zat
adiktif kendaraan bermotor
Waktu Pelaksanaan : 10 Agustus – 10 Desember 2020

Surabaya, 15 Januari 2021



Lie S Hanafie

LEMBAR PENGESAHAN

Laporan Magang Industri
PT LIQUI MOLY SURABAYA
PERANCANGAN *AERODYNAMIC SYSTEM* MOBIL
FORMULA NOGOGENI ITS TEAM

Telah disetujui dan disahkan pada presentasi Laporan Magang Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya,



Dosen Pembimbing,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Rizaldy", written over the bottom right portion of the logo.

Rizaldy Hakim Ash Shiddieqy, ST., MT
NIP 1993201911071

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan anugerahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Magang Industri ini. Pada kesempatan ini juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT. Selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Industri
2. Bapak Rizaldy Hakim Ash Shiddieqy, ST., MT selaku dosen pembimbing Magang Industri
3. Bapak Lie Hanafie, ST. Selaku Pembimbing magang PT. LIQUI MOLY
4. Nogogeni ITS Team, sebagai wadah untuk melakukan riset serta anggota-anggota yang menjadi *support* pengerjaan

Laporan Magang Industri ini disusun sedemikian rupa dengan dasar ilmu perkuliahan dan juga berdasarkan pengamatan langsung di Lapangan dan juga tanya jawab dengan pembimbing PT. LIQUI MOLY

Magang Industri ini merupakan kewajiban bagi mahasiswa di Fakultas Vokasi Departemen Teknik Mesin Industri. Penulis menyadari bahwa laporan ini tidak sempurna maka dari itu penulis sangat menerima saran dan kritikan yang sifatnya membangun.

Demikian laporan Magang Industri ini dibuat, semoga laporan ini dapat bermanfaat. Atas perhatian dan waktunya penulis mengucapkan terima kasih.

Penulis

Surabaya, 15 Januari 2021



Rahmad Rahardian Dias Affandi

DAFTAR ISI

| | |
|--|------------|
| LEMBAR PENGESAHAN | i |
| LEMBAR PENGESAHAN | ii |
| KATA PENGANTAR..... | iii |
| DAFTAR ISI..... | 1 |
| DAFTAR GAMBAR..... | 3 |
| DAFTAR TABEL | 4 |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 5 |
| 1.1 Profil Perusahaan..... | 5 |
| 1.1.1 PT LIQUI MOLY | 5 |
| 1.2 Lingkup Unit Kerja | 8 |
| 1.3 Tujuan dan Manfaat Magang Industri | 9 |
| BAB II KAJIAN TEORIS | 10 |
| 2.1 Formula Society of Automotive Engineers (FSAE)..... | 10 |
| 2.1.1 Sejarah Singkat <i>FSAE</i> | 10 |
| 2.1.2 Pembagaian <i>Event FSAE</i> | 11 |
| 2.2 Dasar Teori <i>Aerodynamic system</i> | 13 |
| 2.2.1 Fluida | 13 |
| 2.2.2 Sifat Sifat Fluida (Udara)..... | 15 |
| 2.2.3 Teori Aliran Eksternal | 19 |
| 2.2.3.1 Terbentuknya <i>Boundary Layer</i> | 19 |
| 2.2.3.2 Aliran Non Viscous dan Viscous..... | 22 |
| 2.2.3.3 Separasi Aliran Pada <i>Boundary Layer</i> | 23 |
| 2.2.3.4 Persamaan Tekanan | 29 |
| 2.3 Gaya aerodinamika..... | 32 |
| 2.3.1 Teori terjadinya gaya drag dan gaya lift | 33 |
| 2.3.2 Airfoil..... | 36 |
| 2.4 Computational Fluid Dynamics Software | 39 |
| 2.4.1 Solidworks | 39 |
| BAB III AKTIFITAS KEGIATAN MAGANG INDUSTRI..... | 40 |

| | |
|--|-----------|
| 3.1 Kegiatan Magang Industri | 40 |
| 3.1.1 Tabel Timeline Pengerjaan Selama Magang | 40 |
| 3.1.2 Penjelasan Singkat dari Timeline Pengerjaan..... | 41 |
| 3.2 <i>Rapid Prototype</i> | 42 |
| 3.2.1 Diagram Alir | 43 |
| 3.2.2 Desain Parameter | 44 |
| 3.2.3 Proses Desain <i>System Aerodynamic</i> | 46 |
| 3.2.4 Simulasi Analisis Aliran Udara (CFD)..... | 48 |
| 3.2.5 Perhitungan <i>Aerodynamic system</i> | 50 |
| BAB IV HASIL Pengerjaan dan Pembahasan | 52 |
| 4.1 Hasil Analisa CFD..... | 52 |
| BAB V PENUTUP..... | 56 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 56 |
| 5.2 Saran | 56 |
| Daftar Pustaka..... | 57 |
| Lampiran | 58 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 1.1 Struktur organisasi | 7 |
| Gambar 2.1 Boundary layer pada pelat datar | 21 |
| Gambar 2.2 Teori terbentuknya boundary layer | 22 |
| Gambar 2.3 Perbedaan antara fluida ideal dan viscous..... | 23 |
| Gambar 2.4 Boundary layer flow dengan pressure gradient..... | 24 |
| Gambar 2.5 (a) Aliran incompressible melawati bola (sphere) (b) Separasi aliran melewati benda streamline | 26 |
| Gambar 2.6 Deskripsi skematik separasi bubble dan transisi lapisan batas | 28 |
| Gambar 2.7 Distribusi tekanan pada separasi bubble | 28 |
| Gambar 2.8 Terminologi untuk mendeskripsikan aplikasi perumusan..... | 29 |
| Gambar 2.9 Distribusi C_p sepanjang 2D kontur automobile Katz..... | 31 |
| Gambar 2.10 Gaya lift, drag, side dan momen | 33 |
| Gambar 2.11 Penguraian komponen gaya drag dan lift..... | 34 |
| Gambar 2.12 Aliran fluida melalui airfoil..... | 36 |
| Gambar 2.13 Geometri airfoil (a) panjang span, (b) angle of attack, (c) leading edge, trailing edge, maximum thicknes dan chord..... | 37 |
| Gambar 2.14 Pengaruh koefisien lift terhadap angle of attack | 38 |
| Gambar 2.15 Aplikasi solidworks tool simulation..... | 39 |
| Gambar 3.1 Diagram alir <i>aerodynamic system</i> | 44 |
| Gambar 3.2 Rules aerodinamics FSAE..... | 45 |
| Gambar 3.3 Tampak depan desain multi element air foil (a) front wing (b) rear wing (c) side wing | 47 |
| Gambar 3.4 Part aerodynamic (a) front wing (b) rear wing (c) side wing..... | 48 |
| Gambar 3.5 Assembly desain system aerodynamic | 48 |
| Gambar 3.6 Simulasi pressure tanpa system aerodynamic | 49 |
| Gambar 3.7 Simulasi pressure dengan system aerodynamic | 49 |
| Gambar 3.8 Simulasi streamline tanpa system aerodynamic..... | 49 |
| Gambar 3.9 Simulasi streamline dengan system aerodynamic | 49 |
| Gambar 4.1 hasil simulasi pressure (a) tanpa menggunakan perangkat aerodynamic (b) dengan menggunakan perangkat aerodynamic | 53 |
| Gambar 4.2 Hasil simulasi streamline (a) tanpa perangkat aerodynamic (b) dengan pengerangkat aerodynamic..... | 54 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 1 Timeline pengerjaan system aerodynamic | 41 |
| Tabel 2 Parameter pembuatan desain system aerodynamic..... | 44 |
| Tabel 3 Hasil analisa simulasi aliran udara (CFD) | 52 |

BAB I

PENDAHULUAN

Magang Industri merupakan salah satu kurikulum pada Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember, yang diwajibkan dilaksanakan dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk dapat menyusun Tugas Sarjana.

Melalui magang industri, mahasiswa diharapkan dapat menerapkan teori-teori ilmiah yang diperoleh selama mengikuti perkuliahan untuk kemudian dapat dianalisa dan memecahkan masalah yang timbul dilapangan, serta memperoleh pengalaman yang berguna dalam mewujudkan pola kerja yang akan dihadapi nantinya setelah mahasiswa menyelesaikan studinya.

1.1 Profil Perusahaan

1.1.1 PT LIQUI MOLY

PT Liqui Moly, adalah sebuah perusahaan asal Jerman yang menyediakan pelumas serta produk aditif yang digunakan pada kendaraan bermotor. Didirikan sejak tahun 1957 di Ulm, Liqui Moly terkenal lewat produk utama mereka oli yang telah ditambahkan zat aditif *Molibidenum Sulfida* yang diklaim mampu mencegah tingkat keausan pada ruang pembakaran yang tinggi. Saat ini, Liqui Moly telah memasarkan produknya hampir keseluruhan dunia dengan lebih dari 4000 produk yakni, pelumas mesin dan roda gigi, pelumas rantai, hingga produk perawatan peralatan berkendara lainnya seperti pembersih helm. Tidak hanya itu, Liqui Moly telah menjadi salah satu sponsor untuk kompetisi balap *Formula 1* dan MotoGP.

PT Liqui Moly juga menjalin mitra dengan salah satu tim riset di Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang bergerak dibidang otomotif, Nogogeni ITS Team. Liqui Moly menjadi salah satu *sponsor* yang mendukung dalam bentuk penyedia pelumasan untuk mobil hemat energi serta mobil *Formula SAE* milik Nogogeni ITS Team. Kerjasama ini telah

berlangsung sejak tahun 2019 dan berlanjut hingga saat ini yang berkembang tidak hanya menjadi pendukung dalam keperluan perlombaan, namun juga memberika ruang bagi mahasiswa untuk melatih kemampuan berwirausahaan, dan manajemen di PT Liqui Moly, dengan bentuk Magang Industri. Dalam program Magang Industri ini, anggota Nogogeni ITS Team diberikan pengarahaan dan praktek lapangan tentang bagaimana memanajemen sebuah usaha *service* atau *tune up* kendaraan bermotor.

a. Visi dan Misi

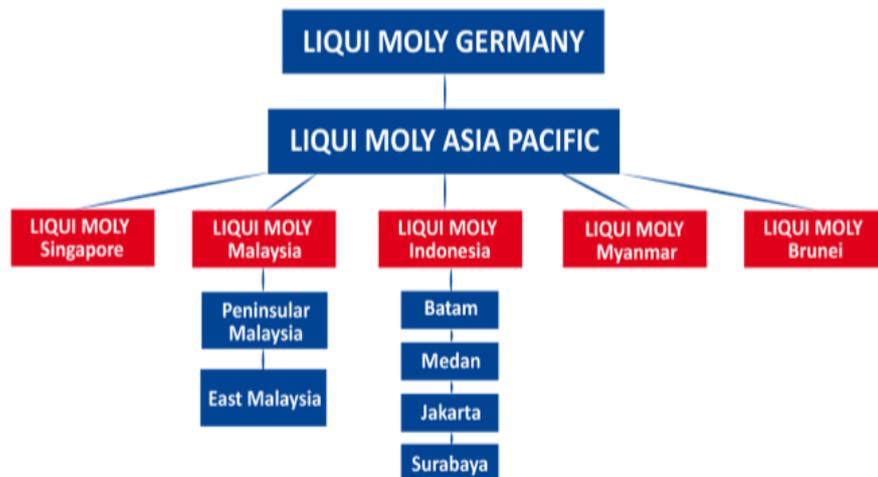
Antusiasme - kekuatan pendorong di belakang semua pikiran dan tindakan kita. Berdiri sejak tahun 1957 di Ulm, Jerman, dengan dedikasi dan semangat mereka, gagasan dan kemampuan mereka, lebih dari 800 karyawan kami telah menjadikan LIQUI MOLY seperti sekarang ini: produsen pelumas berkualitas premium, oli motor, aditif, produk perawatan kendaraan, alat perbaikan bahan kimia, produk layanan, yang terkenal secara global. Merek dagang global untuk kualitas terbaik yang memenuhi pelanggan dengan antusiasme. Buatan Jerman dan mitra penjualan di lebih dari 150 negara.

Nikmati manfaat dari rangkaian produk lengkap yang menawarkan segala yang dibutuhkan: dengan lebih dari 4.000 produk, kami menawarkan produk yang sempurna untuk kendaraan apa pun di dunia. Baik untuk mobil, sepeda, kendaraan komersial, peralatan konstruksi, perahu atau peralatan taman. Untuk penggunaan pribadi di rumah, dalam aplikasi bengkel profesional atau untuk penggunaan industri yang efisien: pemecah masalah kami memperpanjang masa kerja motor dan agregat dan memastikan kinerja yang sangat baik dan fungsi yang tepat selama bertahun-tahun yang akan datang. Ini adalah faktor kunci untuk meningkatkan kenikmatan

berkendara Anda dan mengurangi biaya Anda untuk jangka panjang.

Bahan baku terbaik, inspeksi kualitas berkelanjutan dan kepatuhan terhadap spesifikasi tertinggi menjamin kualitas tak tertandingi dan keuntungan unik bagi Anda. Di LIQUI MOLY, Anda membeli lebih dari sekadar produk. Anda mendapatkan manfaat maksimal, disertai dengan saran pribadi, layanan komprehensif, dan fokus tak tertandingi pada pelanggan. Ini adalah misi kami. Dengan banyak dedikasi dan penglihatan kami menetapkan satu tujuan yang jelas: untuk memenuhi Anda dengan antusiasme.

b. Struktur Organisasi



Gambar 1.1 Struktur organisasi

c. Aspek Manajemen

1. Aspek Produksi.

Sebagai pemain global yang teliti, kami hanya meneliti, mengembangkan, dan memproduksi di Jerman, bahkan hingga hari ini. Dan kami telah meningkatkan standar dalam hal kualitas dan layanan selama 60 tahun. Solusi kami sebagian besar didasarkan pada resep kami sendiri, yang kami uji secara permanen dan beradaptasi

dengan keadaan teknis terbaru. Inspeksi kualitas yang berkelanjutan - dari pengiriman bahan baku, produksi, hingga pengiriman.

2. Aspek Keuangan

LIQUI MOLY merupakan merk motor paling populer di Jerman. Selama bertahun-tahun, penghargaan seperti "Top Brand" atau "Best Brand" telah mencerminkan reputasi kami yang sangat baik di antara para ahli dan konsumen. Kemenangan seri ini bukanlah kebetulan atau terjadi begitu saja. Mereka adalah hasil dari komitmen kami setiap hari. Kebersamaan inilah yang membuat kami kuat dan istimewa, yang membuat kami sukses di seluruh dunia. "Kami" inilah yang membuat merek kami. Maka dari itu aspek keuangan dan pengeluaran untuk branding tetap harus seimbang dan juga berjalan dengan lancar.

3. Aspek SDM

LIQUI MOLY memiliki lebih dari 700 lebih pekerja yang sudah tersebar luas di seluruh Dunia dan memiliki lebih dari 4000 produk dan juga memiliki prinsip bisnis dekat dengan Pasar, cepat, dan inovasi jujur terpercaya.

1.2 Lingkup Unit Kerja

1. Lokasi Unit Magang Industri

Workshop Nogogeni ITS Team, Departemen Teknik Mesin Industri, Kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember Sukolilo, Kec. Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur, 60111

2. Lingkup Penugasan

Pada kegiatan magang industri kali ini. Nogogeni ITS Team sedang melakukan persiapan dan pengerjaan guna berpartisipasi dalam *event* FSAE Australasia. Dalam partisipasinya kali ini, Nogogeni ITS Team ikut ambil andil dalam perlombaan statis (*static event*) yang terdiri dari *Design Event*, *Cost Report*, dan *Business Presentation*. Dalam laporan

kegiatan magang industri ini, penulis ditugaskan untuk mengerjakan bagian *Business Presentation*, yang mana akan membahas cara memasarkan produk mobil *Formula student* milik Nogogeni ITS Team.

3. Rencana dan Penjadwalan Kerja

Dalam pengerjaan dan pengerjaan kompetisi *Business presentation* FSAE Australasia 2020. Dibagai menjadi 3 tahapan yakni, persiapan, pengumpulan data, dan penyusunan presentasi. Pengerjaan dilakukan mulai tanggal 10 Agustus 2020 sampai 10 Desember 2020, dengan jadwal hari kerja senin sampai dengan sabtu pukul 08:00 sampai 16:00.

4. Tujuan Pengerjaan

Adapaun kegiatan yang dikerjakan oleh mahasiswa dalam kegiatan magang industri ini bertujuan untuk:

- 1) Mengetahui proses perancangan *system aerodynamic*.
- 2) Mengetahui proses analisa aliran udara pada *system aerodynamic*.

1.3 Tujuan dan Manfaat Magang Industri

Ada beberapa manfaat yang dapat diperoleh dari pelaksanaan Magang Industri ini baik dari pihak mahasiswa, perusahaan maupun perguruan tinggi, yaitu:

1. Bagi Mahasiswa

Dapat meningkatkan wawasan mahasiswa terhadap kondisi nyata perusahaan, meningkatkan kemampuan soft skill, menambah pengalaman pada suatu lingkup pekerjaan yang sesungguhnya dan serta keyakinan akan teori yang diperoleh dari perkuliahan.

2. Bagi Perguruan Tinggi

Tercipta pola kemitraan yang baik dengan perusahaan tempat mahasiswa melaksanakan Magang Industri mengenai berbagai persoalan yang muncul untuk kemudian di cari solusi bersama yang lebih baik.

3. Bagi perusahaan

Adanya masukan bermanfaat yang dapat digunakan untuk meningkatkan produktivitas perusahaan sesuai dengan hasil pengamatan yang dilakukan mahasiswa selama melaksanakan Magang Industri

BAB II

KAJIAN TEORIS

2.1 Formula Society of Automotive Engineers (FSAE)

2.1.1 Sejarah Singkat *FSAE*

Formula SAE (Society of Automotive Engineers) merupakan kompetisi bagi mahasiswa diseluruh penjuru dunia untuk bersaing dalam pembuatan mobil *formula* mulai dari desain, manufaktur, hingga penjualan mobil tersebut yang diselenggarakan oleh *SAE International*. Sejarah diadakannya kompetisi ini diinisiasi oleh salah seorang dosen yang berasal dari *Houston University (Texas)* yaitu, Mark Marshek. Beliau menghubungi pihak *SAE Educational Relations Departement* pada tahun 1978, memberikan inoasi untuk perlombaan *Mini Baja* (sekarang disebut *Mini Indy*). Dari ide yang diberikan Mark Marshek tersebut akhirnya SAE tertarik dan menyetujui ide tersebut, dikarenakan berpotensi untuk menjalin relasi dengan perusahaan-perusahaan besar di bidang otomotif.

Dua tahun berselang tepatnya tahun 1980 seorang asisten professor bernama Ron Matthews dari *University of Texas, Austin, Amerika Serikat*. Memulai *UT Student* bagian dari *SAE* pada bulan Januari. Sebulan berselang, kompetisi *Mini Indy SAE* diselenggarakan dengan regulasi yang mengharuskan peserta menggunakan *Briggs & Stratton Engine* bertenaga 5 Hp. Namun, sayangnya kompetisi tersebut (*Mini Indy SAE*) tidak berjalan dengan mulus, dan Ron Matthews bersama mahasiswa dari universitas yang sama melakuakn diskusi untuk mempertimbangkan regulasi baru yang lebih terbuka dan mampu menarik lebih banyak partisipan nantinya. Dari hasil diskusi mereka akhirnya ditetapkanlah kompetisi yang disebut dengan *Formula SAE* yang memperbolehkan pesertanya menggunakan mesin 4 langkah hingga *Wankles and diesels*. Lewat rancangan ini Profesor Matthews menghubungi pihak *SAE*, dan memberikan antusias yang kemudian menyetujui gagasan Profesor Matthews dan ketiga mahasiswanya tersebut.

Kompetisi *Formula SAE* pertama akhirnya diselenggarakan pada tahun 1981. Kompetisi perdana ini menjadi sebuah kompetisi nasional di Amerika Serikat dan diikuti oleh 4 universitas yaitu, *Stevens Institute, University of Tusla, University of Cincinnati, dan University of Texas at Austin* yang tidak lain ditunjuk sebagai tuan rumah. Event perdana ini juga akhirnya membuat produsen otomotif seperti *General Motors, Ford, Southwest Research Institute*, dan berbagai macam perusahaan pelumas ikut andil bagian menjadi dewan juri.

2.1.2 Pembagaian Event FSAE

Formula SAE (Society Automotive of Engineers) Australasia adalah sebuah kompetisi untuk tingkat mahasiswa yang diselenggarakan oleh SAE. Kompetisi ini dimulai sejak tahun 2000 hingga saat ini. Kompetisi ini awalnya diselenggarakan di tahun 2000 di You Yangs (Ford Proving Grounds), 2001 diselenggarakan di Lang Lang (Holden Proving Grounds), 2002 diselenggarakan di Carrum Downs (Country Fire Authority Training Ground), 2003 diselenggarakan di Tailem Bend (Mitsubishi Proving Ground), 2004-2013 diselenggarakan di Victoria University dan 2014-2017 diselenggarakan di Calder park, Melbourne. Pada tahun 2018-2019 diselenggarakan di Winton Motor Raceway. Dan pada tahun 2020 event FSAE-A diselenggarakan secara virtual karena kondisi wabah COVID-19, event ini akan diselenggarakan pada tanggal 14-18 Desember 2020.

Terdapat dua macam event dalam *Formula SAE Australasia*, yaitu *Static Event* dan *Dynamic Event*. *Static Event* meliputi *Technical Inspection, Cost Event, Business Plan Presentation, dan Design Event*. Dan pada *Dynamic Event* meliputi *acceleration, skid pad, autocross, dan Endurance*. Karena juara dari event tersebut ditentukan dari hasil akumulasi poin yang didapat dari berbagai sub event. Selain penghargaan yang didapat dari main event, masih terdapat banyak penghargaan lagi seperti, *best rookie* untuk pendatang baru terbaik, dan masih banyak penghargaan lagi. Adapun model kendaraan yang dikompetisikan dalam kejuaraan tersebut harus sesuai dengan peraturan yang telah ditetapkan oleh SAE.

Pada tahap *technical inspection* bertujuan untuk menyesuaikan antara kondisi mobil peserta dengan peraturan yang telah ditetapkan. Terdapat beberapa tahap didalam *Technical Inspection* ini antara lain, *Initial Inspection*, *Mechanical Inspection*, *Driver Restraints*, *General Inspection*, *Electrical Inspection (EV)*, *Tilt Test*, *Noise Test*, *Driver Cockpit Checks*, *Rain Test (EV)*. Jika kendaraan telah sesuai dan melalui semua *Technical Inspection* maka selanjutnya akan dilanjutkan dalam tahap *Static Event* dan *Dynamic Event*.

Pada tahap *static event* peserta hanya melakukan presentasi dihadapan dewan juri dengan kondisi mobil diam atau tidak berjalan. Terdapat beberapa *sub event* pada *static event* ini, antara lain:

1. *Design Event*.

Pada tahap *Design Event* ini peserta melakukan presentasi dihadapan dewan juri dalam konteks bentuk mobil dan tujuan perancangan mobil, jadi segala pertimbangan dan data yang dihasilkan dalam perancangan mobil harus dipaparkan dihadapan dewan juri.

2. *Cost Event*

Dalam tahap *Cost Event* ini peserta dituntut untuk melakukan presentasi terhadap pertanggungjawaban dalam biaya pembentukan mobil sesuai dengan standar biaya yang dilakukan oleh pihak SAE.

3. *Business Plan Presentation*

Didalam kejuaraan FSAE tidak hanya membahas tentang perancangan dan manufaktur mobil saja, tetapi didalam tahap ini peserta dituntut untuk melakukan presentasi dalam konteks pemasaran mobil yang telah dibuat secara logis.

Pada tahap *dynamic event* peserta melakukan *event* dengan membutuhkan mobil dalam keadaan berjalan atau *running test*, didalam tahap *Dynamic Event* ini terdapat beberapa *sub event*, antara lain:

1. Pada tahap *acceleration event* ini bertujuan untuk mengevaluasi dan mengetahui performa mobil dari segi kecepatan kendaraan di

lintasan lurus pada jalur datar sepanjang 75 meter. Pada *event* ini, mobil dituntut untuk berakselerasi dari kondisi diam untuk mencapai jarak tersebut dengan waktu secepat mungkin.

2. Pada tahap *skid-pad event* ini bertujuan untuk mengukur kemampuan belok dan akselerasi kendaraan pada lintasan datar dengan radius belok konstan. Dilakukan dua kali pengujian secara berurutan. Kendaraan masuk lurus kedalam lintasan ini dengan mengambil putaran pada lingkaran kanan sebanyak dua kali. Setelah itu langsung dilanjutkan dengan memutar lingkaran kiri sebanyak dua kali.
 3. Pada tahap *autocross event* pengemudi akan mengendarai kendaraan sebanyak 1 putaran penuh sekitar 934 meter yang meliputi lintasan lurus, tikungan, dan slalom.
 4. Pada tahap *Endurance Event* ini pengemudi menendarai kendaraan sebanyak 20 kali putaran penuh dengan layout lintasan yang sama dengan *autocross event*. Tujuannya untuk menguji kemampuan manuver dan ketahanan dari mobil yang sudah dibuat.
- Spesifikasi lintasan pada *endurance event* :

- Lintasan Lurus : Tidak lebih dari 77 meter dengan putar balik kendaraan yang terletak diujung dengan lebar lintasan 61 meter.
- Belokan Konstan : Diameter 30 meter sampai 54 meter.
- Belokan Putar Balik : Diameter liar minimal 9 meter.
- Slalom : Jarak antar cone 9 meter sampai 15 meter.
- Miscellaneous : Dengan standar minimum lebar track 4,5 meter.

2.2 Dasar Teori Aerodynamic system

2.2.1 Fluida

Mekanika Fluida adalah cabang ilmu yang mempelajari mengenai zat fluida bergerak atau diam serta gaya akibat yang ditimbulkan oleh fluida

tersebut pada batasnya. Sedangkan fluida sendiri merupakan zat yang akan mengalami deformasi secara terus menerus jika diberikan tegangan geser (tangensial) tidak peduli seberapa kecil tegangan geser tersebut. Batas tersebut dapat berupa permukaan padat atau fluida lainnya.

Pembahasan tentang fluida yang bergerak yaitu dengan mengembangkan persamaan-persamaan dasar untuk pengetrapan teori analisis berdasarkan volume atur. Analisis didasarkan pada volume atur, karena: Pertama, fluida sebagai media dapat mengalami distorsi dan deformasi secara terus menerus dan oleh karenanya sangat sulit sekali untuk mengidentifikasi suatu massa yang sama di setiap saat. Kedua, lebih sering berurusan dengan pengaruh dari gerakan fluida secara menyeluruh terhadap suatu peralatan maupun terhadap bangunan konstruksi tertentu. Ketiga, lebih sering berurusan dengan pengaruh dari gerakan fluida secara menyeluruh terhadap suatu peralatan maupun terhadap bangunan konstruksi tertentu. Fluida memiliki sifat mengikuti perubahan bentuk wadah serta kemampuannya untuk mengalir menuju suatu tempat. Sifat ini dikarenakan salah satu dari sifat ketidakmampuan fluida melawan tegangan geser (*shear stress*) yang terjadi khususnya dalam kondisi *static equilibrium*.

Berdasarkan pergerakan partikelnya, aliran fluida dibedakan menjadi aliran laminar dan turbulen. Aliran laminar merupakan aliran fluida yang bergerak dengan kondisi lapisan-lapisan (*lamina-lamina*) yang membentuk garis-garis alir dan tidak berpotongan satu sama lain. Aliran turbulen adalah aliran fluida yang partikel-partikelnya bergerak secara acak dan tidak stabil dengan kecepatan berfluktuasi yang saling interaksi. Akibat dari hal itu maka garis alir antar partikel fluidanya akan saling berpotongan. Untuk menentukan aliran fluida tersebut aliran laminar ataupun aliran turbulen dapat dilihat dari nilai bilangan *reynold* -nya, pada *externalflow* (aliran tersebut melewati suatu *contourbody* yang berada pada aliran fluida tanpa batas), pada aliran laminar bilangan *reynold* -nya $\leq 5 \times 10^5$, dan pada aliran turbulen bilangan *reynold* -nya $> 5 \times 10^5$.

Kemudian aliran fluida diklasifikasikan berdasarkan perubahan terhadap waktu yaitu aliran tunak (*steady flow*) dan aliran tak tunak (*unsteady flow*). Aliran tunak (*steady flow*) terjadi jika kondisi fluida pada titik manapun tidak terjadi perubahan kecepatan terhadap waktu dengan jangka waktu yang tidak terbatas dan dapat dinotasikan dengan $\partial v = 0$, apabila pada $\frac{\partial v}{\partial t} = 0$ kondisi kecepatan aliran berubah terhadap waktu $\partial v \neq 0$, maka $\frac{\partial v}{\partial t} \neq 0$ aliran tersebut digolongkan menjadi aliran tak tunak (*unsteady flow*).

Udara adalah suatu zat yang memiliki densitas dan viskositas. Densitas tergantung pada tekanan (P) dan temperatur (T). Pada umumnya kendaraan di jalan melaju dengan kecepatan dibawah sepertiga kecepatan suara. Pada batas kecepatan tersebut variasi tekanan dan temperatur dalam aliran dengan harga freestream sangat kecil, oleh karena itu perubahan pada densitas dapat diabaikan. Dengan demikian aliran fluida berupa udara yang mengalir di sekeliling kendaraan dapat dikategorikan sebagai aliran fluida *incompressible*. Properti lain dari udara adalah viskositas. Properti ini dikarenakan oleh gesekan molekuler antar partikel-partikel fluida. Gesekan ini berhubungan dengan fluks momentum, karena adanya gradient kecepatan. Untuk fluida *incompressible*, properti ini bergantung pada temperatur. Viskositas yang dimiliki fluida ini dapat menyebabkan terjadinya *friction drag* sehingga timbul *gradien* kecepatan pada dinding.

2.2.2 Sifat Sifat Fluida (Udara)

Udara adalah fluida yang memiliki densitas dan viskositas. Densitas (ρ) didefinisikan sebagai massa persatuan volume. Properti ini tergantung pada tekanan (P) dan temperatur (T). Kendaraan di jalan pada umumnya berjalan dengan kecepatan dibawah sepertiga kecepatan suara. Pada batas kecepatan tersebut variasi tekanan dan temperatur dalam aliran dengan harga freestream sangat kecil, oleh karena itu perubahan pada densitas dapat diabaikan. Dengan demikian aliran udara

yang mengalir di sekeliling kendaraan dapat dikategorikan sebagai aliran fluida *incompressible*. Untuk kondisi standar, $P = 1 \text{ atm}$ dan $T = 288 \text{ K}$, harga *densitas* atau $\rho = 1,2250 \text{ kg/m}^3$.

Properti lainnya dari udara adalah *viskositas*. Properti ini disebabkan oleh gesekan molekuler antara partikel-partikel fluida. Gesekan ini berhubungan dengan fluks momentum karena gradient kecepatan. Untuk fluida *incompressible*, properti ini bergantung pada temperatur. Pada kondisi standar *viskositas* $= 1,7894 \times 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$ dan $= 1,4607 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Viskositas yang dimiliki fluida ini menyebabkan terjadinya *friction drag* sehingga timbul *gradien* kecepatan pada dinding.

a) *Densitas*

Densitas (ρ) atau kerapatan suatu zat adalah ukuran untuk konsentrasi zat tersebut yang dinyatakan dalam *massa* persatuan volume pada atmosfer bumi. Properti ini bergantung pada tekanan (P) dan temperatur (T). *Densitas* dinyatakan dalam tiga bentuk, yaitu:

1) *Densitas Massa*

Densitas massa merupakan perbandingan jumlah massa dengan jumlah volume. *Densitas* massa dapat dirumuskan dalam bentuk persamaan:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Dimana : $m = \text{massa (kg)}$

$V = \text{volume (m}^3\text{)}$

$P = \text{massa jenis (kg/ m}^3\text{)}$

Harga standarnya pada tekanan $P = 1,01325 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ dengan temperatur $288,15 \text{ K}$ sehingga *densitas* udara $1,225 \text{ kg/m}^3$ dan untuk air adalah 1000 kg/m^3 .

2) *Berat Spesifik*

Didefinisikan sebagai gaya gravitasi terhadap massa yang terkandung dalam sebuah satuan volume zat.

$$\gamma = \rho \times g$$

Dimana : γ = berat spesifik (N/m³)

Untuk ($\gamma_{\text{udara}} = 12,07 \text{ N/m}^3$) dan ($\gamma_{\text{air}} = 9.81 \times 10^3 \text{ N/m}^3$)

3) *Densitas Relatif (Spesific Grafity)*

Densitas relatif disebut juga *specific grafity* (SG) yaitu perbandingan antara berat spesifik suatu zat dengan berat spesifik air. Karena kerapatan semua zat cair bergantung pada temperatur serta tekanan, maka temperatur zat cair yang dipertanyakan, serta temperatur air dijadikan acuan, harus dinyatakan untuk mendapatkan harga-harga gravitasi yang tepat.

$$SG = \frac{\gamma_{\text{zat}}}{\gamma_{\text{air}}}$$

b) *Viskositas*

Viskositas merupakan pengukuran ketahanan fluida terhadap deformasi, sedangkan *viskositas* sendiri disebabkan oleh gesekan molekuler antara partikel-partikel fluida. Gesekan ini berhubungan dengan fluks momentum karena gradient kecepatan. Untuk fluida *incompressible*, properti ini bergantung pada temperatur. *Viskositas* dinyatakan dalam dua bentuk yaitu:

1) *Viskositas Dinamis* (μ)

Viskositas dinamis merupakan perbandingan tegangan geser dengan laju perubahannya, besarnya *viskositas* air bervariasi dan dipengaruhi temperatur. Pada kondisi standar (temperatur kamar 26,5⁰C) besar *viskositas* dinamik adalah :

$$\mu_{\text{air}} = 8,6 \times 10^{-4} \text{ Ns/m}^2 \text{ dan } \mu_{\text{udara}} = 1,7894 \times 10^{-4} \text{ Ns/m}^2$$

2) *Viskositas kinematic* (ν)

Merupakan perbandingan *viskositas* dinamik (μ) terhadap kerapatan (ρ) :

$$V = \frac{\mu}{\rho}$$

Viskositas kinematic muncul dalam banyak terapan, misalnya dalam bilangan *reynold* yang tanpa dimensi. Untuk γ_{air} pada temperatur $26,5^{\circ}\text{C}$ ialah $8,6 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ dan $\gamma_{\text{udara}} 1,4607 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$.

c) Bilangan *Reynolds*

Kondisi aliran laminar atau turbulen dapat dinyatakan dengan bilangan *Reynolds* untuk aliran *incompressible*. Jenis lapis batas pada aliran udara yang mengalir suatu obyek juga sangat ditentukan oleh bilangan *Reynolds* (Re). Hal ini dapat dijelaskan bahwa dalam lapis batas, gaya geser dan gaya inersia sangat penting. Sedangkan bilangan *Reynolds* sendiri menggambarkan perbandingan antara gaya inersia terhadap gaya geser yang mengkuantifikasikan hubungan kedua gaya tersebut dengan suatu kondisi aliran tertentu.

$$Re = \frac{\text{Gaya inersia}}{\text{Gaya geser}}$$

Dimana : Gaya inersia = $\rho \times A = \rho \cdot U_{\infty}^2 \cdot L^2$

Gaya Geser = $\tau \times A = \left(\frac{\mu \cdot U_{\infty}}{L}\right) \cdot L^2$

Sehingga,

- Untuk aliran *eksternal*

$$Re = \frac{\rho \cdot U_{\infty}^2 \cdot L^2}{\left(\frac{\mu \cdot U_{\infty}}{L}\right) \cdot L^2} = \frac{\rho \cdot U_{\infty} \cdot L}{\mu}$$

Dimana: ρ : Densitas fluida

U_{∞} : Kecepatan aliran *free stream* fluida

L : Panjang karakteristik yang diukur pada medan aliran, dalam kasus ini digunakan diameter *hidrolis*, yaitu D_h

μ : *viskositas dinamis* fluida

- Untuk aliran *internal*

Diameter hidrolis (D_h) digunakan untuk perhitungan saluran yang tidak berbentuk bundar. Diameter *hidrolis* dapat didefinisikan sebagai

$$D_h = \frac{4 \cdot A}{P}$$

Dimana : A = luas penampang

P = keliling penampang

Sehingga,

$$Re_h = \frac{\rho U_\infty D_h}{\mu}$$

2.2.3 Teori Aliran Eksternal

Suatu aliran disebut sebagai aliran eksternal (*external flow*) bila aliran tersebut melewati suatu *contour body* yang berada pada aliran fluida tanpa adanya batas yang mengurung. *Eksternal flow* sendiri adalah aliran fluida yang tidak dibatasi oleh permukaan benda, namun seakan – akan permukaan bendalah yang dibatasi oleh aliran fluida tersebut.

2.2.3.1 Terbentuknya *Boundary Layer*

Suatu aliran disebut sebagai aliran eksternal (*external flow*) bila aliran tersebut melewati suatu *contour body* yang berada pada aliran fluida tanpa adanya batas yang mengurung. Sebagai contoh aliran eksternal adalah aliran fluida yang melewati sisi luar dari permukaan lengkung dan pelat datar (*semi-infinite flat plate*). *Boundary layer* (lapis batas) merupakan lapisan tipis pada solid surface yang terbatas daerah sangat sempit dekat permukaan kontur dengan kecepatan fluida tidak uniform dikarenakan tegangan geser yang muncul akibat viskositas.

Dari penjelasan di atas, aliran melintasi suatu kontur diklasifikasikan menjadi dua daerah yaitu :

1. Daerah di dalam lapis batas (dekat permukaan kontur) dengan efek viskositas yang sangat berpengaruh (*viscous flow*).
2. Daerah di luar lapis batas dengan efek viskositas diabaikan (*nonviscous flow*).

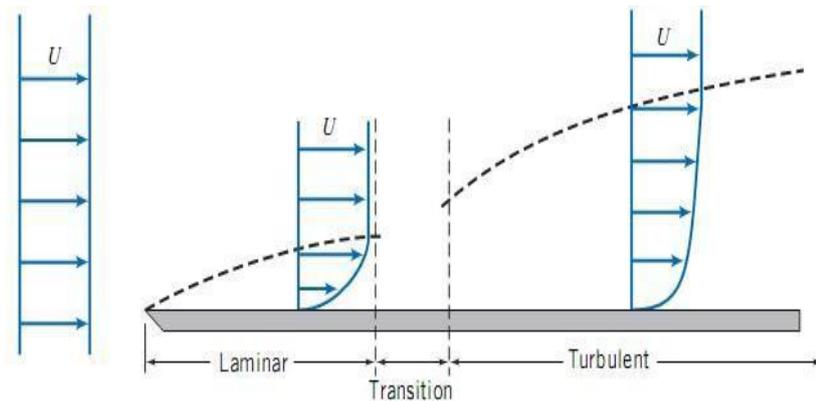
Saat aliran fluida nyata dari *free stream* menuju suatu *contour body*, fluida akan mengalami perubahan kecepatan dari keadaan uniform (U) ke kondisi aliran yang mempunyai distribusi kecepatan (*velocity distribution*). Hal ini terjadi karena pengaruh dari viskositas fluida dan *contourbody* yang dilewatinya. Distribusi kecepatan diawali dari suatu titik di permukaan padat, dimana harga kecepataannya nol (*zero velocity*). Kemudian menjadi semakin besar ketika menjauhi permukaan kontur bodi. Pengaruh tegangan geser akan hilang pada posisi tertentu sehingga kecepatan fluida mencapai harga kecepatan fluida *non viscous* ($u = 0,99 U_{\infty}$). Posisi tersebut merupakan batas daerah *viscous* dengan bagian *non viscous*. Jarak yang terukur dari permukaan padat arah normal hingga pada posisi tersebut disebut dengan tebal lapis batas (*boundary layer thickness*, δ). Dimana tebal lapis batas akan meningkat seiring dengan bertambah jarak lintasan yang dilalui oleh fluida.

Secara umum terjadinya *Boundary Layer* disebabkan oleh karena fluida menabrak suatu kontur permukaan padat, karena melewati kontur itulah terjadi perbedaan C_p di setiap titik yang menimbulkan CD dan CL .

Struktur *boundary layer flow* dapat digambarkan dengan mengamati gerakan partikel fluida. Saat mengalir diluar *boundary layer*, partikel mempertahankan bentuk asalnya sambil bergerak translasi namun tidak berotasi dan efek *viscosity* dapat diabaikan. Kondisi dengan *zero vorticity* ini dinamakan *irrotational*.

Gangguan mulai terjadi saat partikel memasuki *boundary layer* karena adanya *velocity gradient* dan efek *viscosity*.

Akibatnya, selama bergerak translasi, partikel fluida juga bergerak rotasi. Dengan demikian *vorticity*-nya tidak sama dengan nol (*non zero vorticity*). Kondisi ini dinamakan *rotational*.



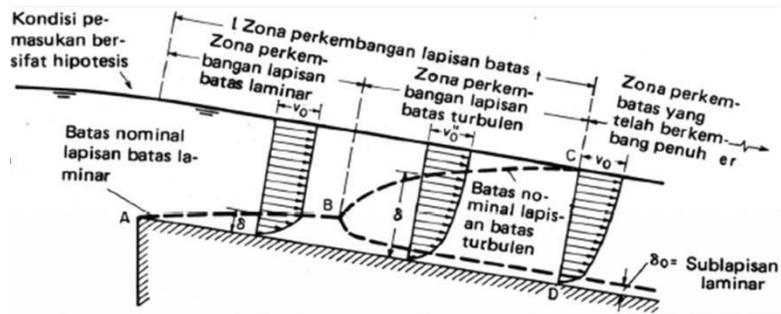
Gambar 2.1 Boundary layer pada pelat datar

(Fox dan Mc. Donald, 8th edition, 2011, halaman 425)

Gambar di atas menunjukkan suatu pengembangan *boundary layer* sepanjang permukaan pelat. Pada daerah ini terjadi dua bentuk aliran. Awalnya aliran adalah *laminar* sepanjang jarak tertentu dari *leading edge*, kemudian terjadi suatu transisi aliran yang akhirnya akan berubah menjadi *turbulen*. Untuk aliran *incompressible* melewati *smooth flate plate* (*zero pressure gradient*), perubahan dari *laminar* ke *turbulen* dapat dipengaruhi oleh *Reynolds number*,

$$RE = \frac{\rho U_{\infty} \cdot x}{\mu}$$

Studi kasus terbentuknya *boundary layer* akan dijelaskan pada gambar berikut :



Gambar 2.2 Teori terbentuknya boundary layer

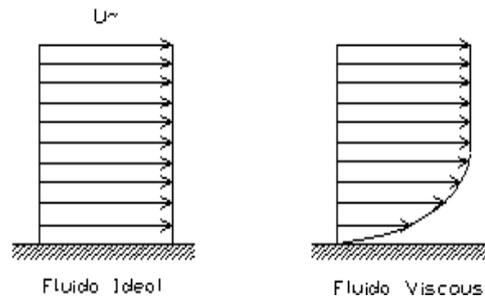
(<https://septiankmasdi.wordpress.com/2012/05/27/boundarylayer/>)

Aliran diawali dengan aliran *laminar* yang menghasilkan lapisan batas *laminar* berupa kurva AB dengan distribusi bersifat parabolis. Aliran yang dilanjutkan bersifat turbulen dengan titik perubahan pada titik B. Garis BC merupakan lapisan batas turbulen dengan distribusi bersifat logaritmis. *Sub lapisan laminar* akan terbentuk apabila permukaan saluran relatif halus dengan kecepatan rendah. Di dalam sub lapisan ini aliran bersifat *laminar* dan di atasnya merupakan zona peralihan dari sifat *laminar* ke *turbulen*. Lapisan batas *turbulen* CD dengan pola tertentu akan terbentuk apabila aliran seragam sepanjang saluran.

2.2.3.2 Aliran Non Viscous dan Viscous

Pada dasarnya aliran terbagi atas dua jenis yaitu aliran *viscous* dan aliran *non viscous*. Aliran *non viscous* bukan berarti bahwa aliran tidak mempunyai viskositas atau $\mu = 0$, tetapi dikarenakan setiap fluida pasti mempunyai viskositas tertentu. Aliran *non viscous* adalah aliran yang mempunyai gradien kecepatan mendekati nol atau tegangan gesernya mendekati nol. Sedangkan untuk aliran *viscous*, efek dari viskositasnya akan mengikutkan tegangan geser antara partikel fluida dengan permukaan padat yang dilaluinya. Pada aliran fluida ideal, semua partikel akan bergerak pada kecepatan yang sama, tetapi pada aliran *viscous* yang mengikutkan tegangan geser akan menjadikan

profil kecepatan fluidanya akan menjadi tidak seragam seperti gambar 2.3 dibawah ini.



Gambar 2.3 Perbedaan antara fluida ideal dan viscous

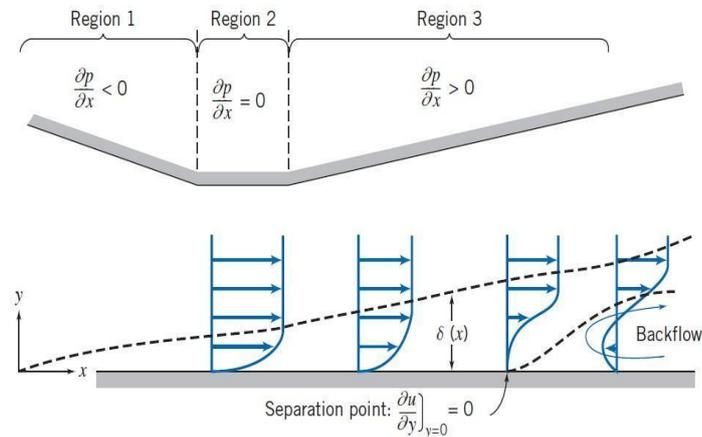
(Utomo, Renaldi Ardiansyah. “ Aliran Eksternal”, Pemodelan Numerik Aliran 3 Dimensi Pada Bodi Modifikasi Mobil Listrik Nogogeni 6. Surabaya, Indonesia : Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.)

Untuk aliran *viscous*, kecepatan fluida tepat berada diatas permukaan padat sama dengan nol. Semakin jauh dari permukaan padat, maka secara bertahap tegangan geser yang terjadi semakin berkurang. Sehingga berangsur-angsur juga kecepatan aliran akan menjadi semakin besar. Dan pada titik tertentu pengaruh tegangan geser terhadap aliran akan hilang, sehingga kecepatan aliran akan mencapai harga yang sama dengan aliran bebasnya.

2.2.3.3 Separasi Aliran Pada *Boundary Layer*

Dalam *boundary layer* akan ditemukan suatu fenomena yang disebut dengan separasi. Separasi ini mengakibatkan aliran yang terbalik arahnya dari aliran utama. Separasi merupakan peristiwa dimana aliran fluida terpisah dari permukaan benda. Proses separasi diawali dengan adanya aliran fluida yang terus menerus mengalami peerubahan karena adanya gaya gesek. Akibat adanya gaya gesek tersebut, momentum aliran akan berkurang sampai suatu saat momentum alirannya sudah tidak bisa mengatasi hambatan sehingga aliran fluida akan terpisah dari permukaan benda, Padatitik dimana separasi terjadi, *gradient*

tekanan pada permukaan bodi adalah nol dan aliran fluida di belakang titik separasi arahnya berlawanan dengan aliran utama[7].



Gambar 2.4 *Boundary layer flow* dengan *pressure gradient*

(Utomo, Renaldi Ardiansyah. “ Aliran Eksternal”, Pemodelan Numerik Aliran 3 Dimensi Pada Bodi Modifikasi Mobil Listrik Nogogeni 6. Surabaya, Indonesia : Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.)

Separasi sangat dipengaruhi oleh *gradient* tekanan sepanjang aliran, khususnya oleh *adverse pressure gradient*, yaitu tekanan yang semakin meningkat sejajar dengan arah aliran sepanjang permukaan benda kerja $\frac{dP}{dx} > 0$. Pada daerah *adverse pressure gradient*, aliran fluida akan mengalami hambatan selain karena adanya gaya gesek juga karena adanya kenaikan tekanan pada arah aliran fluida. Pada saat momentum fluida sudah tidak dapat melawan hambatan ini, aliran fluida tidak akan bias bergerak lebih jauh sepanjang permukaan benda hingga aliran akan mengalami separasi.

a. Separasi Aliran Dua Dimensi (2D)

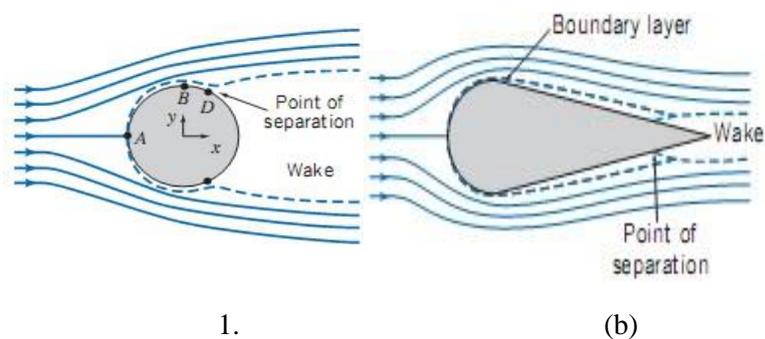
Separasi aliran fluida dua dimensi membawa kerugian pada aliran *laminar* atau aliran yang dalam kondisi paralel. Aliran

laminar dua dimensi tersebut akan dirusak oleh efek friksi dan adanya *adverse pressure gradient* pada permukaan dari solid. Separasi ini dimulai pada titik dimana perubahan kecepatan ke arah y sama dengan nol. Hal ini dapat dilihat dalam gambar 2.4.

Vorticity yang terjadi pada titik ini sangat besar sehingga momentum yang ada mulai dirusak *vorticity* tersebut dan terjadilah *vortex*. *Vortex* merupakan daerah di belakang daerah separasi. Ada dua daerah yang ada pada daerah separasi ini yaitu daerah *laminar* yang terseparasi dan daerah resirkulasi. Daerah separasi tersebut semakin ke belakang semakin besar sampai pada suatu titik dimana alirannya sudah kembali ke kondisi paralel (alirannya sudah paralel), dan hal ini dikenal dengan *reattachment*. Pada titik ini momentum yang terdapat di dalam aliran fluida ini sudah dapat mengatasi *adverse pressure gradient* yang terjadi sebelumnya atau dengan kata lain momentumnya sudah mendapatkan tambahan kembali dari kondisi *freestream*-nya. Namun aliran ini sudah berubah menjadi aliran yang *turbulen* karena penambahan momentum yang ada tersebut melebihi dari kondisi *laminar*-nya. Pada titik ini momentum yang terdapat di dalam aliran fluida ini sudah dapat mengatasi *adverse pressure gradient* yang terjadi sebelumnya atau dengan kata lain momentumnya sudah mendapatkan tambahan kembali dari kondisi *freestream*-nya. Namun aliran ini sudah berubah menjadi aliran yang *turbulen* karena penambahan momentum yang ada tersebut melebihi dari kondisi *laminar*-nya. Aliran yang *turbulen* ini baik sekali untuk mengatasi *adverse pressure gradient*.

Kecepatan yang mengelilingi silinder meningkat sampai suatu titik maksimum D dan kemudian berkurang saat bergerak lebih jauh ke belakang dari titik D . Titik D disebut titik separasi (*separation point*), dimana partikel fluida mendorong objek dan menyebabkan terjadinya *wake*.

Pada suatu aliran *inviscid* peningkatan distribusi kecepatan dihubungkan oleh pengurangan distribusi tekanan pada aliran yang melintasi profil silinder tersebut. Sehingga pada suatu aliran *incompressible inviscid flow* yang melintasi silinder, distribusi tekanan disepanjang permukaan dari silinder berkurang saat berjalan dari A-D dan akan meningkat lagi saat bergerak dari D- E [7]. Pada aliran *viscous steady incompressible* bentuk aliran akan tampak seperti gambar berikut ini :



1. (b)
Gambar 2.5 (a) Aliran *incompressible* melewati bola (*sphere*) (b) Separasi aliran melewati benda *streamline*

(Utomo, Renaldi Ardiansyah. “ Aliran Eksternal”, Pemodelan Numerik Aliran 3 Dimensi Pada Bodi Modifikasi Mobil Listrik Nogogeni 6. Surabaya, Indonesia : Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.)

Pada gambar 2.5 b bagaimana bentuk streamline bekerja. Gaya drag pada kebanyakan aerodinamik karena tekanan rendah pada *wake*: jika *wake* dapat dikurangi atau dihapus, drag akan dapat banyak dikurangi. Jika kita membuat bola menyerupai bentuk air mata pada gambar 2.5 b streamline terbuka, dan tekanan akan meningkat dengan pelan, seperti memperpanjang aliran sehingga partikel aliran tidak didorong untuk memisahkan dari objek sampai mencapai akhir dari objek. *Wake* yang terjadi lebih kecil, sehingga mengurangi tekanan drag. Hanya satu aspek negatif dari *streamline*

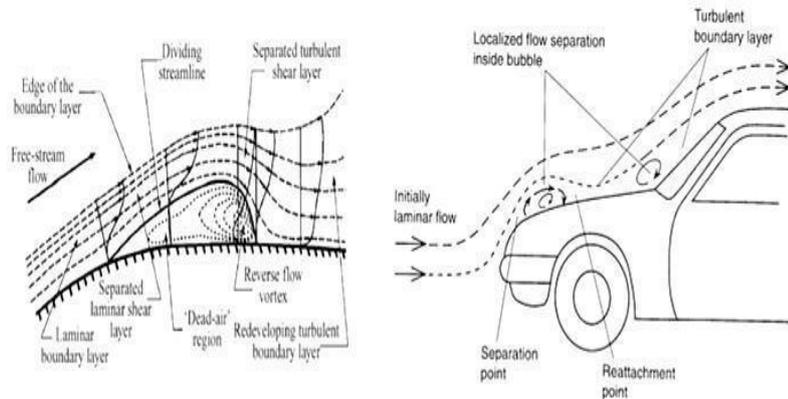
ini adalah luas permukaan total dengan gesekan terjadi lebih besar, sehingga drag karena gesekan akan sedikit berkurang.

Namun pada aliran setelah titik B tekanan akan meningkat dalam arah aliran sehingga pada beberapa titik momentum aliran dari fluida didalam *boundary layer* tidak cukup untuk membawa elemen jauh kedalam daerah peningkatan tekanan sehingga aliran fluida yang berdekatan pada permukaan akan mengalami pemecahan ke arah balik dan aliran akan terseparasi dari permukaan. Hasil dari separasi *boundary layer* pada daerah *relative* tekanan rendah dibelakang body yang mana momentum alirannya tidak mencukupi disebut *wake*.

b. Separasi *Bubble*

Separasi *bubble* adalah separasi yang dilanjutkan dengan penyentuhan kembali fluida yang telah terseparasi ke *solid body*. Seperti terlihat pada gambar 2.7.

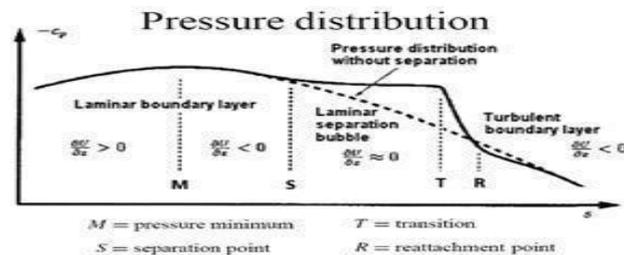
Separasi *bubble* dimulai dengan terpisahnya *boundary layer laminar* dari dinding. Tepi *boundary layer* terangkat dan *shear layer laminar* yang terseparasi akan berinteraksi dengan *free stream*. Aliran mendapat injeksi energi dari *free stream* yang kemudian memaksa shear layer untuk *attach* kembali ke *solid body*. Setelah mencapai titik *reattachment*, aliran diperlambat lagi karena adanya gesekan dan *adverse pressure gradient* yang lebih kuat, sehingga terjadi separasi *massive*.



Gambar 2.6 Deskripsi skematik separasi *bubble* dan transisi lapisan batas

(<http://www.f1insight.co.uk/2015/04/aerodynamics-in-racing-vehicledesign.html>)

Daerah di bawah *shear layer laminar*, yang merupakan *downstream* dari titik separasi (dimulai dari titik dimana *dividing streamline* meninggalkan dinding), adalah daerah tertutup berisi *recirculating flow* dengan kecepatan lambat. Sedangkan fluida yang di dekat dinding seolah-olah diam sehingga disebut *dead-air region*. Selain itu nilai *wall pressure* dalam daerah aliran yang terseparasi adalah konstan kecuali daerah belakang *bubble* dimana terjadi osilasi tekanan yang kuat. Hal ini dikarenakan pusat *recirculating flow* berada dekat bagian belakang *bubble*.



Gambar 2.7 Distribusi tekanan pada separasi *bubble*

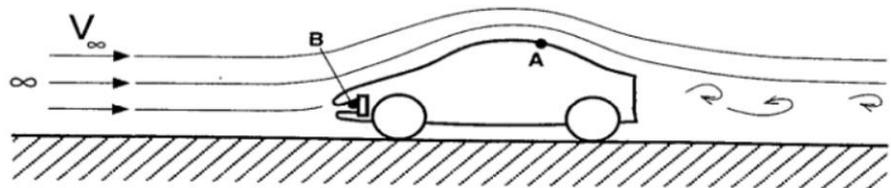
(Bao, F. and Dallmann, 2003)

Dari distribusi tekanan pada gambar 2.8, tampak bahwa tekanan statis cenderung bernilai konstan selama *downstream*

dari titik separasi. Hal ini dikarenakan kecepatan partikel fluida di daerah *separated flow* sangat lambat. Tekanan kembali meningkat setelah separasi *bubble*.

2.2.3.4 Persamaan Tekanan

Udara yang bergerak dari daerah yang bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah atau *favourable pressure gradient* akan dipercepat alirannya oleh karena perbedaan tekanan tersebut, dan sebaliknya akan diperlambat jika dari tekanan rendah ke tekanan tinggi atau *adverse pressure gradient*[9].



Gambar 2.8 Terminologi untuk mendeskripsikan aplikasi perumusan

(Katz, Joseph. 1995. Race Car Aerodynamics : Designing For Speed. Massachusetts.)

Sejumlah aliran pada bodi kendaraan yang diilustrasikan pada gambar diatur oleh hubungan antara kecepatan dan tekanan yang diekspresikan melalui persamaan Bernoulli sebagai berikut.

$$\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} = \text{Konstan}$$

$$P_{\text{statik}} + P_{\text{dinamik}} = \text{Konstan} = P_{\text{total}}$$

$$P_B - P_{\infty} = \frac{\rho}{2} V_{\infty}^2$$

Persamaan ini mempunyai arti bahwa aliran udara yang mengalami kenaikan tekanan, akan diimbangi dengan penurunan kecepatan aliran udara tersebut atau sebaliknya. Dengan begitu, kita dapat mengetahui besarnya tekanan pada sepanjang kontur

bodi, dalam hal ini diwakilkan oleh titik B. Tetapi perlu diketahui bahwa asumsi yang digunakan untuk persamaan ini adalah perbedaan ketinggian diabaikan, tidak ada perbedaan densitas (aliran incompressibel), aliran *steady*, aliran sepanjang *streamline*, dan aliran tanpa gesekan.

Tekanan statis (P_{statik}) adalah tekanan yang diukur melalui suatu instrumen atau alat yang dimana kecepatan alat ukur tersebut sama dengan kecepatan aliran fluida. Tekanan statis bisa dikatakan pula tekanan udara pada setiap titik, sedangkan tekanan dinamik (P_{dinamik}) menunjukkan energi kinetik tiap satuan volume. Tekanan dinamik inilah yang berpengaruh langsung terhadap gaya-gaya aerodinamik yang terjadi pada kendaraan tersebut, seperti *drag* dan *lift*.

Tekanan stagnasi (tekanan total) adalah tekanan yang diukur pada suatu titik dimana aliran fluida diperlambat mendekati nol dengan proses tanpa gesekan dan arah tumbukan fluida adalah tegak lurus dengan bidang tumbukan.

Perbedaan antara tekanan lokal statik pada setiap titik dalam aliran dengan tekanan statik pada *free stream* bergantung langsung dengan tekanan dinamik pada *free stream*, dan perbandingan ini yang disebut dengan koefisien tekanan atau *pressure coefficient* (C_p). Atau:

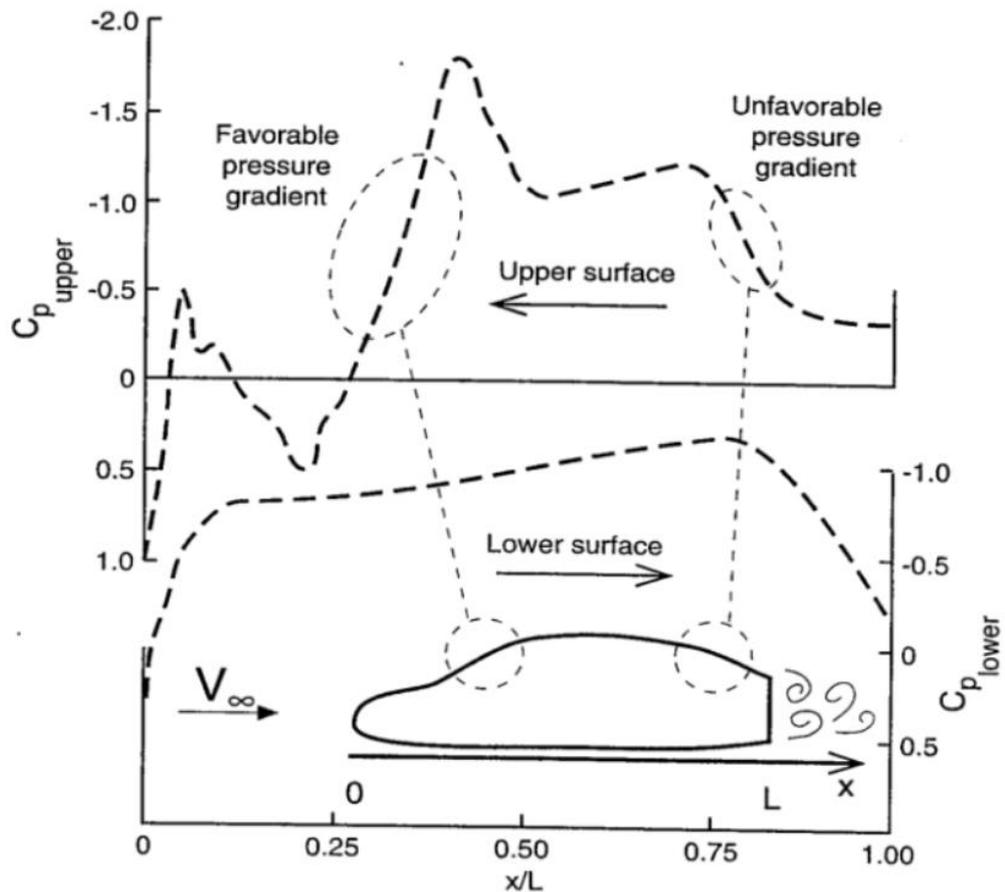
$$C_p = \frac{P - P_{\infty}}{\frac{1}{2} \rho V_{\infty}^2} = 1 - \frac{V^2}{V_{\infty}^2}$$

Dimana P : Tekanan statik lokal atau tekanan pada kontur

P_{∞} : Tekanan static *free stream*

V : Kecepatan lokal aliran

V_∞ : Kecepatan *free stream*



Gambar 2.9 Distribusi C_p sepanjang 2D kontur *automobile Katz*

(Katz, Joseph. 1995. *Race Car Aerodynamics : Designing For Speed*. Massachusetts.)

Timbul atau tidaknya gaya angkat dapat dilihat secara langsung dari distribusi tekanan atau C_p pada permukaan atas dan bawah dari kontur. Jika selisih distribusi tekanan pada permukaan atas dan bawah bernilai positif maka *lift* yang timbul akan menyebabkan profil terangkat, sedangkan bila yang terjadi adalah sebaliknya maka gaya angkat negatif akan menyebabkan profil tertekan kebawah. Selisih distribusi tekanan, besar kecilnya gaya angkat maupun gaya hambat juga ditentukan oleh gaya-gesek dalam bentuk *skin friction coefficient* (C_f).

2.3 Gaya aerodinamika

Aerodinamika adalah bidang ilmu yang mempelajari hubungan aliran fluida dengan suatu benda. Penelitian aerodinamika yang selama ini telah dilakukan awalnya terpusat pada pengurangan *drag*. Akan tetapi, saat ini gaya-gaya lain seperti gaya angkat dan gaya samping juga menyumbang peranan yang cukup signifikan terhadap stabilitas kendaraan. Efek samping yang merugikan dari bentuk kendaraan yang rendah drag ditemukan selama awal 1980-an yang dapat mengurangi stabilitas terutama ketika mengemudi dalam kondisi angin silang (cross wind). Efek angin silang saat ini rutin dipertimbangkan oleh perancang, tetapi pengertian kita tentang tingginya kompleksitas dari seringnya aliran unsteady yang bersatu dengan aliran udara disekitar kendaraan kini menjadi sederhana. Teknik eksperimental dan metode prediksi pada CFD tetap membutuhkan pengembangan yang kuat jika sebuah pengetahuan yang cukup dari aliran fisik akan dicapai[6].

Gaya dan momen aerodinamika yang terdapat pada kendaraan diilustrasikan melalui gambar 2.9. Koefisien gaya (F) dan momen (M) didefinisikan melalui persamaan dibawah ini.

$$C_F = \frac{F}{\frac{1}{2}\rho v^2 A}$$

$$C_M = \frac{M}{\frac{1}{2}\rho v^2 A l}$$

Dimana: F : gaya *lift, drag, side*

M : momen

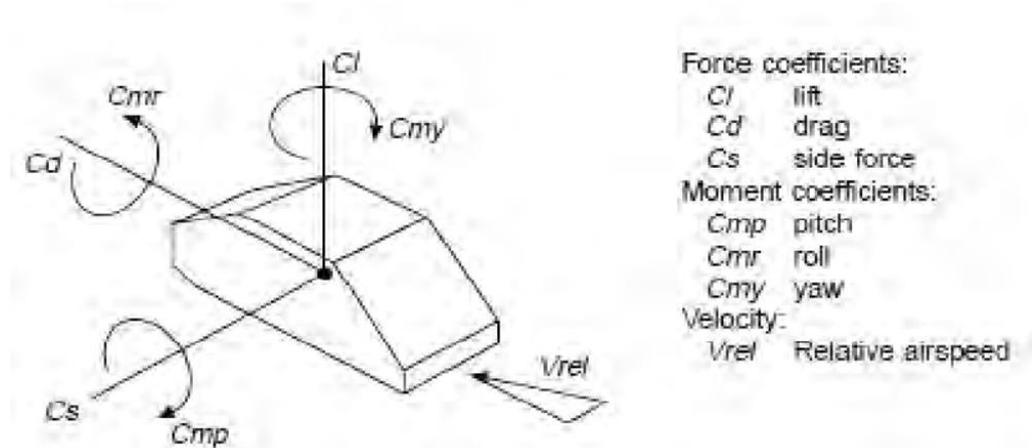
ρ : densitas udara

v : kecepatan

A : luasan referensi

l : panjang referensi

Saat gaya aerodinamika bekerja pada kendaraan ketika diberikan kecepatan tertentu yang proporsional baik dari koefisien yang tepat dan dari luasan depan, produk dari C_{fA} biasanya digunakan untuk mengukur performansi aerodinamika khususnya *drag*.

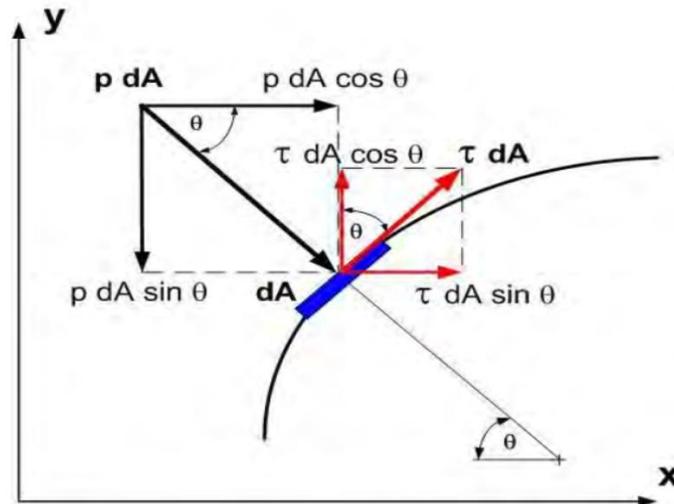


Gambar 2.10 Gaya lift, drag, side dan momen

(Katz, Joseph. 1995. Race Car Aerodynamics : Designing For Speed. Massachusetts.)

2.3.1 Teori terjadinya gaya drag dan gaya lift

Sebuah benda yang dialiri sebuah aliran *viscous* atau *incompressible* akan menghasilkan gaya-gaya aerodinamika. Gaya-gaya tersebut dihasilkan karena adanya tekanan dan gaya geser pada permukaan benda. Gaya yang sejajar horisontal dengan aliran disebut dengan gaya *drag*. Sedangkan gaya yang tegak lurus dengan aliran disebut gaya *lift*.



Gambar 2.11 Penguraian komponen gaya drag dan lift

(Prakoso, Anindito Bagus. 2011. Studi Numerik Karakteristik Aliran 3 Dimensi Disekitar Model Sapuwingin Dengan Rasio Ground Clearance Terhadap Panjang Model ($C/L = 0.027$). ITS Surabaya, Indonesia.)

Penguraian gaya drag dapat dilihat pada gambar 2.11. Gaya *drag* yang terjadi dapat berupa *skin friction drag* (F_{Df}) yaitu gaya hambat yang menyinggung permukaan secara tangensial yang timbul sebagai akibat adanya *viskositas* (tegangan geser antara fluida dan permukaan benda) dan *pressure drag* (F_{Dp}) yaitu gaya hambat yang tegak lurus terhadap permukaan benda yang timbul karena adanya tekanan fluida. Resultan antara *friction drag* dan *pressure drag* ini disebut sebagai total *drag* [6]. Gaya hambat yang terbentuk dapat didefinisikan sebagai berikut:

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

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

Untuk merancang suatu kendaraan salah satu faktor aerodinamis yang paling penting adalah *drag force*. Gaya total yang menahan laju Bergeraknya suatu kendaran adalah berasal

dari tahanan roda dengan jalan atau mechanical grip dan aerodynamic drag. Besarnya drag ini untuk setiap bentuk kendaraan berbeda satu dengan yang lainnya, dan ini tergantung pada faktor koefisien drag atau C. Biasanya gaya hambat sering diekspresikan dalam bilangan tak berdimensi yaitu koefisien drag (C_D) yang didefinisikan sebagai berikut:

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho V^2 A}$$

Dimana: A = luas frontal

ρ = densitas udara

V = kecepatan kendaraan relative terhadap udara

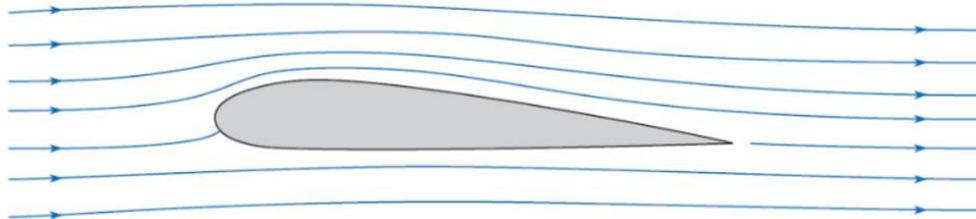
Aerodinamik drag selain bergantung pada koefisien drag dan hubungannya seperti rumusan diatas, juga dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti sifat turbulensi aliran dan bilangan Reynolds. Ketergantungan pada bilangan Reynolds ini mempunyai arti bahwa koefisien drag bervariasi sesuai kecepatan.

Sama halnya dengan gaya drag, gaya angkat juga terjadi akibat resultan gaya tekan dan gaya geser ke arah sumbu y pada gambar 2.10. Sehingga gaya angkat dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$F_L = F_{Lp} + F_{lf}$$

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

Gaya *lift* total yang bekerja pada *body* yang dialiri fluida merupakan resultan dari gaya *lift* yang bekerja pada *upper body* dan *lower body*.



Gambar 2.12 Aliran fluida melalui airfoil

(Douglas, John W, Gasiorek, Janusz M, Swaffield, John A, and Jack, Lynne B. 2005. Fluid Mechanisc fifth edition. United Kingdom.)

Gambar 2.11 menunjukkan aliran fluida yang melewati sebuah *airfoil*. Dapat dilihat kecepatan fluida di atas *upper body* lebih cepat dari pada *lower body* yang ditunjukkan oleh rapatnya jarak antar *streamline* di atas *upper body*. Aliran yang lebih cepat di atas *upper body* menimbulkan area bertekanan rendah di atas *upper body* dibandingkan di bawah *lower body*. Resultan gaya tekan yang bekerja pada *body* atas dan bawah adalah total *lift*. Tiap *body* memiliki karakteristik gaya *lift* yang berbeda. Karakteristik gaya lift ditunjukkan dengan *coefficient of lift* (CL). Besarnya koefisien lift dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} \rho V^2 A}$$

Dimana : A = luas plan area

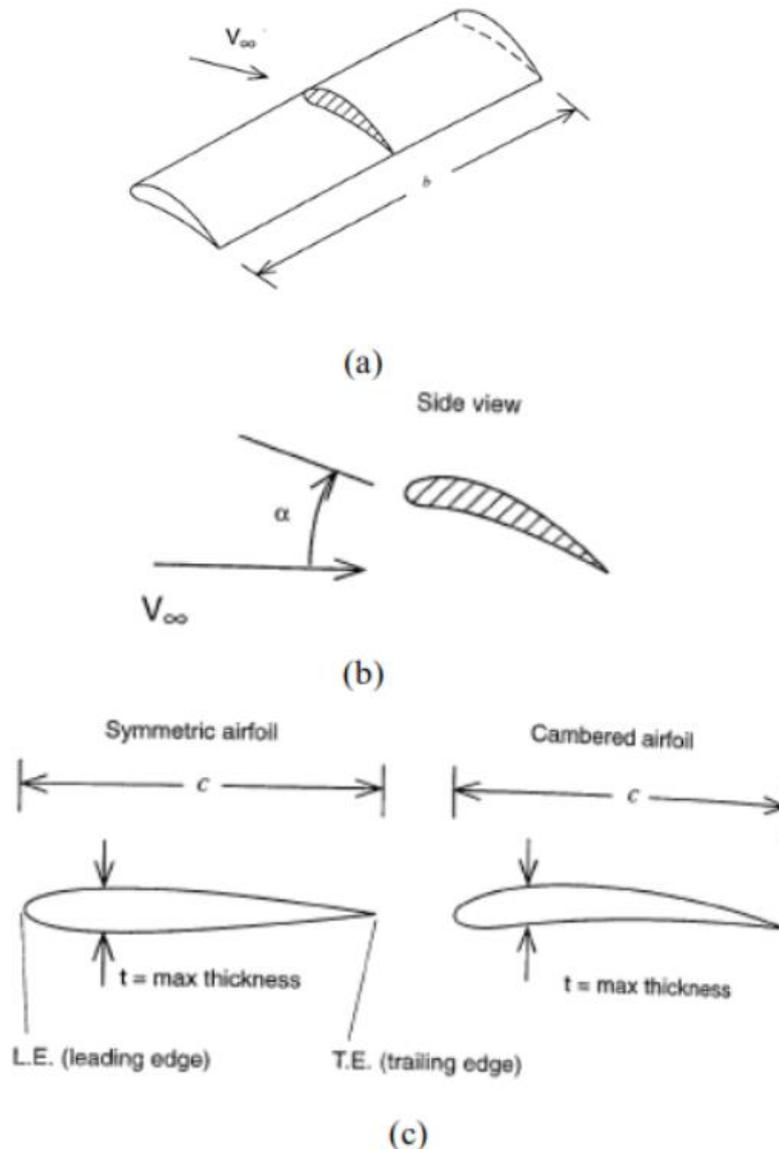
ρ = densitas udara

V = kecepatan kendaraan relative terhadap udara

2.3.2 Airfoil

Airfoil merupakan peralatan yang memanfaatkan prinsip kerja aerodynamic untuk menghasilkan gaya *lift* atau *downforce*, sesuai kebutuhan penggunaannya. Bentuk *airfoil* menyerupai tetesan

air berbentuk simetri, ada juga yang dimodifikasi dengan pemberian *chamber* seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.13



Gambar 2.13 Geometri *airfoil* (a) panjang *span*, (b) *angle of attack*, (c) *leading edge*, *trailing edge*, *maximum thicknes* dan *chord*

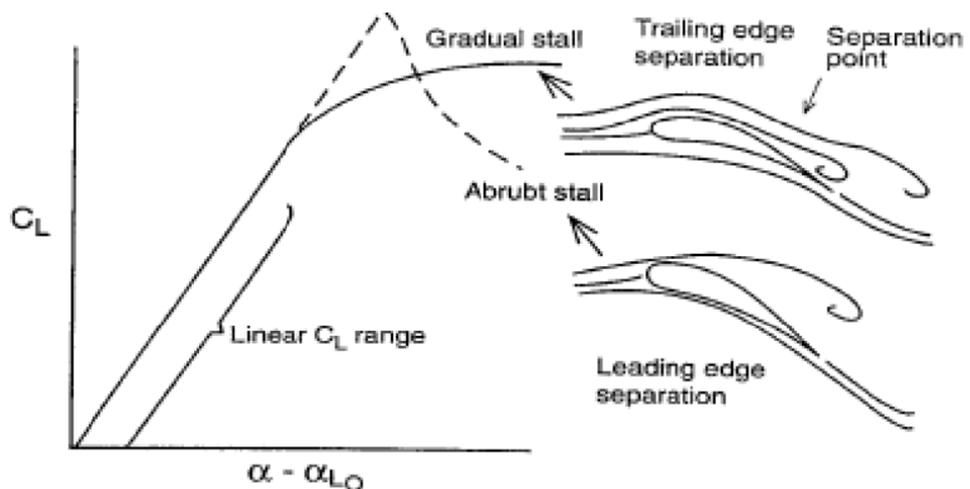
(Douglas, John W, Gasiorek, Janusz M, Swaffield, John A, and Jack, Lynne B. 2005. Fluid Mechanisc fifth edition. United Kingdom.)

Beberapa istilah yang sering digunakan berkaitan dengan *airfoil* adalah *leading edge* yaitu ujung depan dari *airfoil*, *trailing edge* yaitu ujung belakang *airfoil*, *chord* yaitu panjang *airfoil* dari *leading edge* sampai *trailing edge*, *span* yaitu panjang *airfoil* dengan

arah *perpendicular* dengan *chord*, dan *angle of attack* yaitu sudut yang dibentuk *airfoil* relative terhadap arah aliran. Selain itu hal yang sering diperhatikan dari bentuk *airfoil* adalah ketebalan maksimum dari *airfoil*.

Prinsip kerja airfoil menggunakan prinsip Bernoulli, yaitu memanfaatkan perbedaan kecepatan aliran pada sisi atas dan bawah *airfoil* untuk menghasilkan *lift* atau *downforce*. Sisi *airfoil* yang bertekanan lebih tinggi disebut *pressure side*, sedangkan yang lebih rendah disebut *suction side*.

Factor yang paling berpengaruh dari lift atau downforce yang dihasilkan airfoil adalah *angle of attack*. Semakin besar *angle of attack*, maka *lift* atau *downforce* yang dihasilkan semakin besar. Namun pada sudut tertentu akan terjadi *stall*, yaitu fenomena kehilangan *lift* atau *downforce* diiringi dengan meningkatnya *drag* secara signifikan. Ada dua fenomena yang menyebabkan stall, yaitu *leading edge separation* dan *trailing edge separation* seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.13.



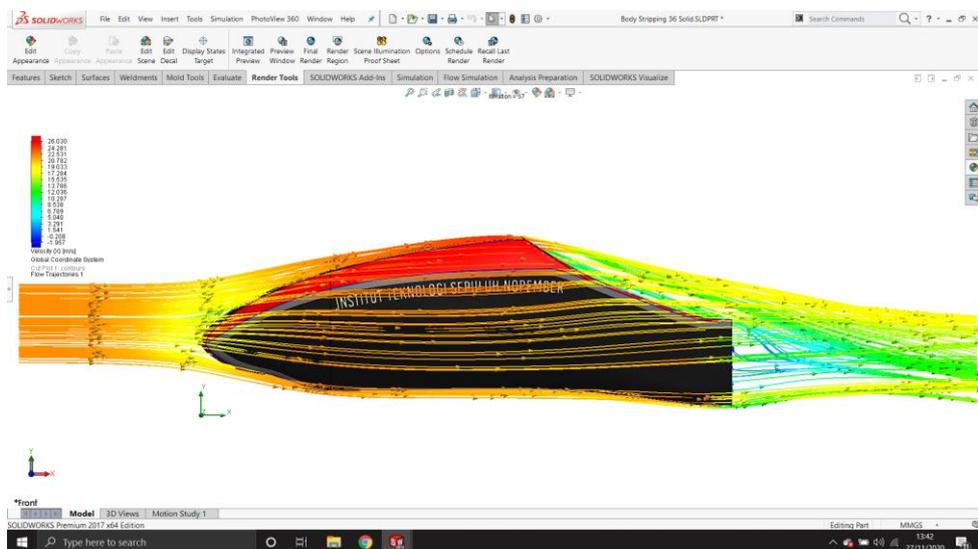
Gambar 2.14 Pengaruh koefisien lift terhadap angle of attack

(Douglas, John W, Gasiorek, Janusz M, Swaffield, John A, and Jack, Lynne B. 2005. Fluid Mechanisc fifth edition. United Kingdom.)

2.4 Computational Fluid Dynamics Software

2.4.1 Solidworks

Solidworks adalah software CAD yang digunakan untuk merancang part atau susunan part berupa assembling dengan tampilan 3D dan dapat diubah ke tampilan 2D. Pada solidworks terdapat toolbar simulation berguna untuk mengetahui sifat mekanik benda kerja seperti kekuatan benda kerja, tegangan benda kerja, ketangguhan benda kerja, ketangguhan luluh benda kerja, kekerasan benda kerja dan faktor keamanan (safety factor) benda kerja. Selain itu solidworks simulation dapat mengetahui sifat mekanik benda kerja, solidworks simulation juga dapat mengetahui aliran fluida (flow effect) dan perpindahan panas (thermal effect) benda kerja. Pada hasil simulasi keluar warna dan angka untuk menunjukkan suatu nilai.



Gambar 2.15 Aplikasi solidworks *tool simulation*

BAB III

AKTIFITAS KEGIATAN MAGANG INDUSTRI

3.1 Kegiatan Magang Industri

Kegiatan magang industry yang dilakukan yaitu proses pembuatan mobil Formula Nogogeni generasi 1, yang dimana pada magang industry yang kami lakukan yaitu membuat bagian part dari kendaraan Formula Nogogeni generasi 1 dibagi sesuai divisi yang telah diberi tanggung jawab. Pada laporan ini, hanya dibahas lebih detail mengenai *aerodynamic system* pada mobil Formula Nogogenu ITS Team.

3.1.1 Tabel Timeline Pengerjaan Selama Magang

| Minggu ke | Tanggal | Aktifitas | Pencapaian Tugas |
|-----------|------------------------|---|------------------|
| 1. | 10-16 Agustus 2020 | Mempelajari regulasi dari <i>body</i> dan <i>aerodynamic system</i> | |
| 2. | 17-23 Agustus | Mempelajari <i>aerodynamic system</i> | |
| 3. | 24-30 Agustus | Mencari referensi dari team yang telah mengikuti FSAE | |
| 4. | 31-6 Agustus-September | Mencari referenrensi bentuk <i>body</i> dan mendesain | |
| 5. | 7-13 September | Mencari referensi tentang <i>front wing</i> dan mendesain | |
| 6. | 14-20 September | Mencari referensi tentang <i>side wing</i> dan mendesain | |
| 7. | 21-27 September | Mencari referensi tentang rear wing dan mendesain | |
| 8. | 28-4 September-Oktober | Belajar simulasi CFD | |

| | | | |
|-----|-------------------------|---|--|
| 9. | 5-11 Oktober | Meeting desain dengan desain dari <i>vehicle dynamic</i> | |
| 10. | 12-18 Oktober | Revisi desain <i>body</i> | |
| 11 | 19-25 Oktober | Meeting untuk fiksasi dimensi <i>chasis</i> untuk mendesain <i>body</i> | |
| 12. | 26-1 Oktober - Nopember | Fiksasi desain <i>body</i> sesuai dimensi <i>chasis</i> dan desain <i>vehicle dynamic</i> | |
| 13. | 2-8 Nopember | Fiksasi desain <i>front wing</i> | |
| 14. | 9-15 Nopember | Fiksasi desain <i>side wing</i> | |
| 15. | 16-22 Nopember | Fiksasi desain <i>rear wing</i> | |
| 16. | 23-29 Nopember | Simulasi CFD desain <i>body</i> dan komponen <i>aerodynamic</i> | |
| 17. | 30-7 Nopember-Desember | Menghitung C_D dan C_L | |

Tabel 1 Timeline pengerjaan system aerodynamic

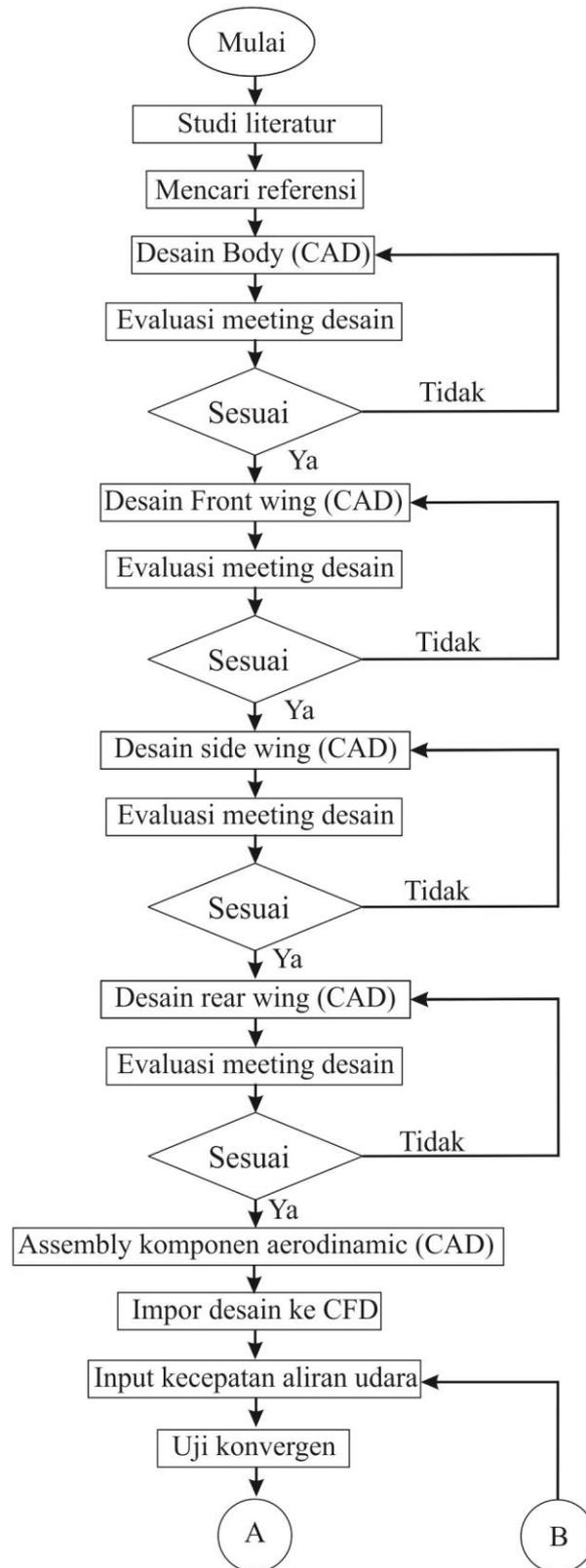
3.1.2 Penjelasan Singkat dari Timeline Pengerjaan

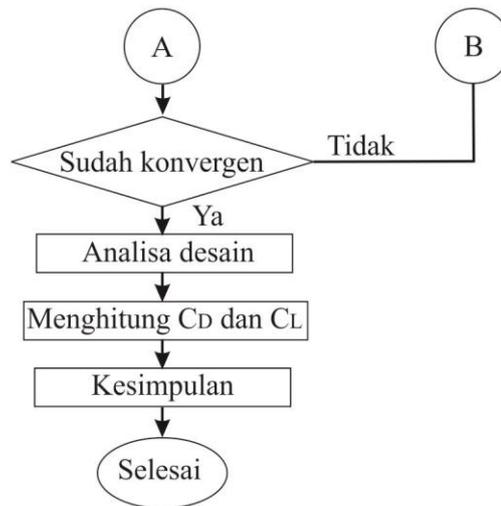
Pada table diatas pengerjaan magang yang dilakukan di departemen Teknik Mesin Industri yang bekerja sama dengan PT. LIQUIMOLY peserta magang mengerjakan tugasnya masing masing sesuai jobdesk. *Aerodynamic* tersebut merupakan sebuah ilmu yang mempelajari tentang aliran fluida dengan suatu benda, jadi *aerodynamic system* pada mobil formula Nogogeni yang menunjang kestabilan saat berkendara terdapat pada *body*, *front wing*, *side wing* dan *rear wing*. Untuk mengetahui apakah system aerodynamic yang telah dibuat menghasilkan kestabilan yang baik maka harus disimulasi dengan menggunakan software solidworks untuk mengetahui C_D dan C_L .

3.2 *Rapid Prototype*

Pada *rapid prototype* ini menjelaskan alur proses pengerjaan secara menyeluruh dari *aerodynamic system* mobil formula Nogogeni ITS Team. Tujuan dari rapid prototype adalah agar pembaca tahu bagaimana proses pembuatan komponen system aerodynamic dan bisa menggunakan metode ini untuk mengembangkan atau meriset lebih lanjut.

3.2.1 Diagram Alir





Gambar 3.1 Diagram alir *aerodynamic system*

3.2.2 Desain Parameter

Dalam membuat suatu desain, sebelumnya harus menentukan parameter desain. Parameter desain adalah sebuah batasan-batasan desain agar yang kita desain tepat sasaran sesuai dengan regulasi yang mengacu pada FSAE-A. Sehingga mobil yang kita dapat lolos teknikal inspeksi dan dapat bermanuver sesuai dengan yang kami inginkan.

Parameter dalam pembuatan desain *aerodynamic system* adalah sebagai berikut :

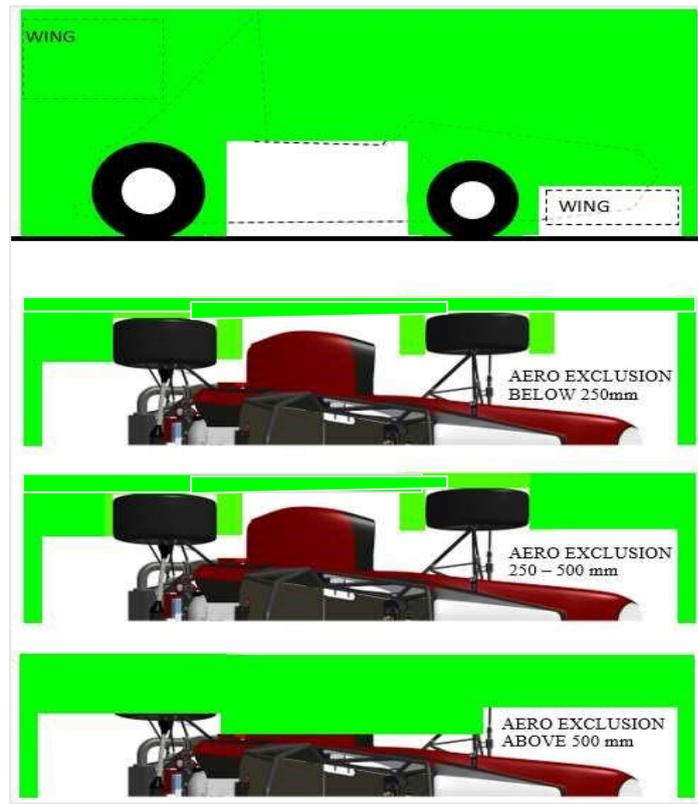
| Paraeter | Nilai | Satuan |
|-------------------------|--------|--------|
| Berat kendaraan | 280.92 | kg |
| Center of gravity (COG) | 420.72 | mm |
| Sprung weight | 199.52 | kg |
| Wheelbase | 1550 | mm |
| Track width depan | 1220 | mm |
| Track width belakang | 1120 | mm |

Tabel 2 Parameter pembuatan desain *aerodynamic system*

3.2.2.1Regulasi dan Batasan pada *general aerodinamics*

Pada pembuatan mobil Formula Student Nogogeni ITS Team hal pertama yang harus diperhatikan ialah menyesuaikan

mobil tersebut dengan regulasi atau peraturan yang dibuat oleh pihak SAE. Terdapat beberapa regulasi terakit dengan general aerodynamic.



Gambar 3.2 Rules aerodinamics FSAE

Gambar merupakan batasan dimensi part aerodynamic yang diperbolehkan pada event FSAE. Pada *rear wing* tidak lebih dari 250 mm dari ban belakang, tidak lebih jauh ke depan dari bidang vertikal melalui bagian paling belakang dari dukungan penahan kepala kemudi, dan bagian dalam dari dua bidang vertical yang sejajar dengan garis tengah *chassis* menyentuh bagian dalam dari ban belakang pada ketinggian garis hub *centreline*. Semua perangkat aerodinamis tidak lebih tinggi dari 1,2 meter diatas tanah saat diukur tanpa pengemudi didalam kendaraan.

Pada *front wing* kalau dilihat dari depan minimal ketinggian dari permukaan tanah 250mm, tidak lebih dari 700mm didepan ban

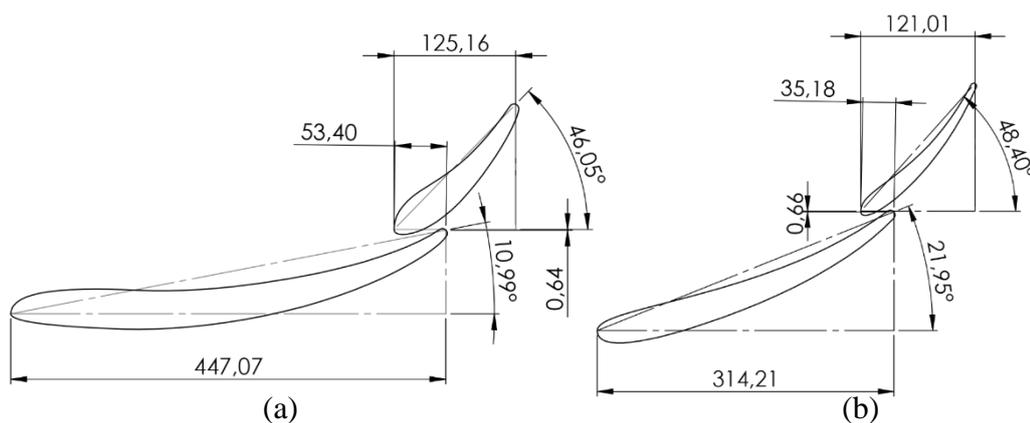
depan dan dalam bidang vertikal sejajar dengan garis tengah chassis menyentuh bagian luar ban depan.

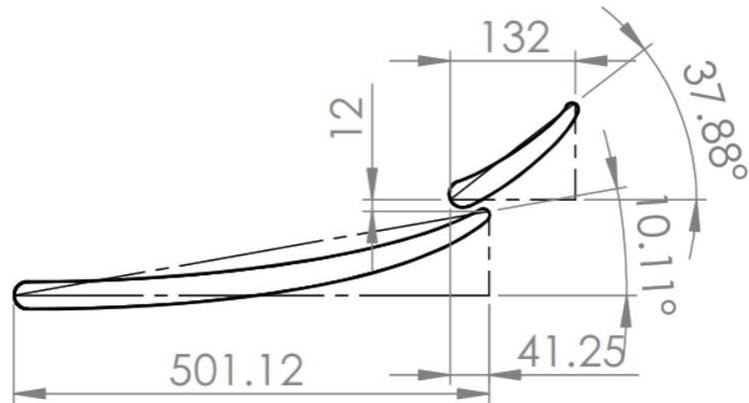
3.2.3 Proses Desain System Aerodynamic

Proses desain *system aerodynamic* yang harus dibuat memenuhi literature sebelumnya dengan batasan yang sudah dijelaskan di bab 3.2.2.1, pada proses ini menggunakan software Solidworks 2017 (CAD). Pada proses desain menjelaskan alur proses pengerjaan desain secara menyeluruh dari *aerodynamic system* mobil formula Nogogeni ITS Team. Tujuan dari proses desain adalah agar pembaca tahu bagaimana proses pembuatan desain *system aerodynamic* dan bisa menggunakan metode ini untuk mengembangkan atau meriset lebih lanjut.

a. Multi element air foil

Pada awalnya memulai proses desain *system aerodynamic* perlu ditentukan bentuk *air foil* karena mempengaruhi aliran udara, *pressure*, gaya *drag* dan gaya *lift*. Proses pertama yaitu sket 2d bentuk air foil kemudian di extrude sesuai panjang yang dibutuhkan. Pada proses ini menentukan sudut *flap* untuk mendapatkan *down force* yang tinggi dan mengurangi gaya *lift* dengan mencari variabel sudut *flap* bertujuan untuk mendapatkan *grip* ban.



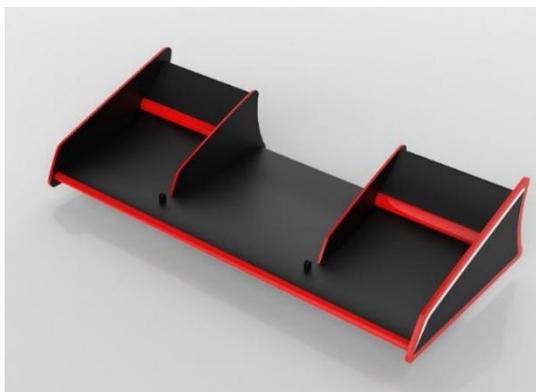


(c)

Gambar 3.3 Tampak depan desain *multi element air foil* (a) *front wing* (b) *rear wing* (c) *side wing*

b. *End plat wing*

Pada proses ini menentukan *end plat* pada *wing* untuk mengarahkan kemana aliran udara yang diterima oleh *flap*. Setelah mendesain *flap air foil* kemudian mendesain *end plat* di sisi depan flap dan diekstrude untuk menjadi suatu part *wing*. Pada *end plat front wing* diarahkan ke *body* untuk *end plat* dalam dan untuk *end plat* luar diarahkan ke sisi luar roda. Penentuan arah aliran tersebut untuk mengurangi *tip vortex* dan *wake* dengan cara menghindari rumbukan pada roda depan. Pada *end plat side wing* diarahkan ke *engine* untuk mendinginkan *engine*. Pada *end plat rear wing* untuk mencegah tumpahan udara disekitar ujung *wing* dan menunda pergerakan konsentrasi dari *trailing vortices*.



(a)



(b)



(c)

Gambar 3.4 Part aerodynamic (a) front wing (b) rear wing (c) side wing

c. *Assembly desain aerodynamic system*

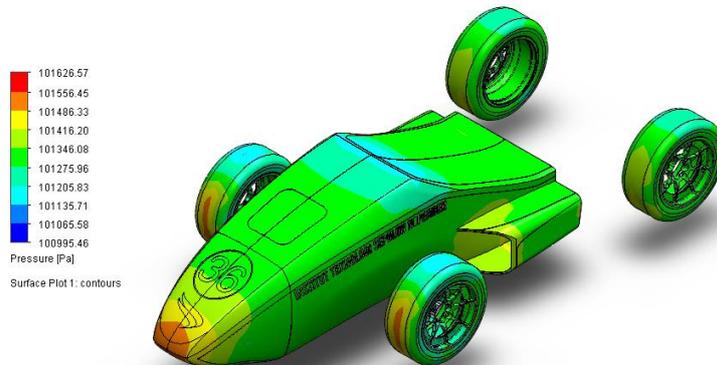
Pada proses ini menyatukan part *aerodynamic* ke mobil dengan menggunakan braket.



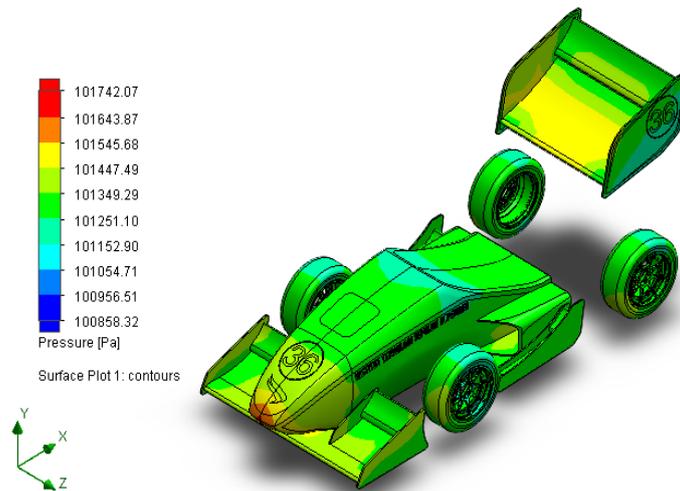
Gambar 3.5 *Assembly desain aerodynamic system*

3.2.4 Simulasi Analisis Aliran Udara (CFD)

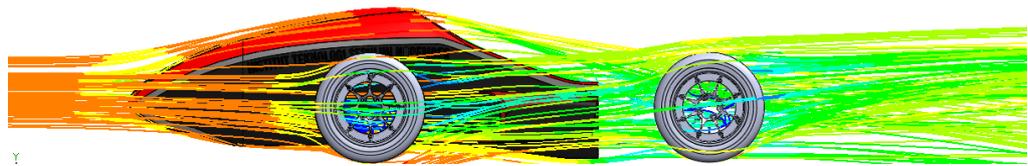
Paket perangkat lunak yang sangat sesuai seperti Solidworks digunakan untuk memverifikasi dan memeriksa hasil untuk simulasi CFD. Bantuan perangkat lunak ini dalam analisa simulasi aliran udara (CFD) lebih mudah dalam melakukan perancangan dengan melihat hasil simulasi kita dapat mengevaluasi hasil perancangan



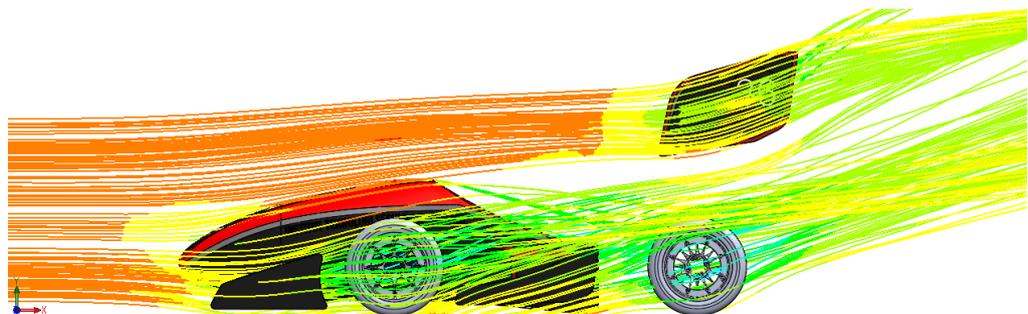
Gambar 3.6 Simulasi *pressure* tanpa *system aerodynamic*



Gambar 3.7 Simulasi *pressure* dengan *system aerodynamic*



Gambar 3.8 Simulasi *streamline* tanpa *system aerodynamic*



Gambar 3.9 Simulasi *streamline* dengan *system aerodynamic*

3.2.5 Perhitungan Aerodynamic system

Pada proses ini dijelaskan bagaimana langkah-langkah perhitungan yang dilakukan pada *aerodynamic system*, untuk menghitung C_D dan C_L dengan menggunakan perangkat aerodynamic dan tanpa perangkat aerodynamic.

Tanpa perangkat aerodynamic (hanya *body*)

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho V^2 A}$$

$$C_D = \frac{91,387}{\frac{1}{2} 1,12 22,2^2 1,0006}$$

$$C_D = 0,33$$

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2}\rho V^2 A}$$

$$C_L = \frac{35,010}{\frac{1}{2} 1,12 22,2^2 1,0006}$$

$$C_L = 0,13$$

Menggunakan perangkat aerodynamic (*front wing, side wing dan rear wing*)

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho V^2 A}$$

$$C_D = \frac{244,921}{\frac{1}{2} 1,12 22,2^2 1,93}$$

$$C_D = 0,46$$

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2}\rho V^2 A}$$

$$C_L = \frac{-271,38}{\frac{1}{2} 1,12 22,2^2 0,95}$$

$$C_L = -0,51$$

Dimana : $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$

BAB IV

HASIL Pengerjaan dan Pembahasan

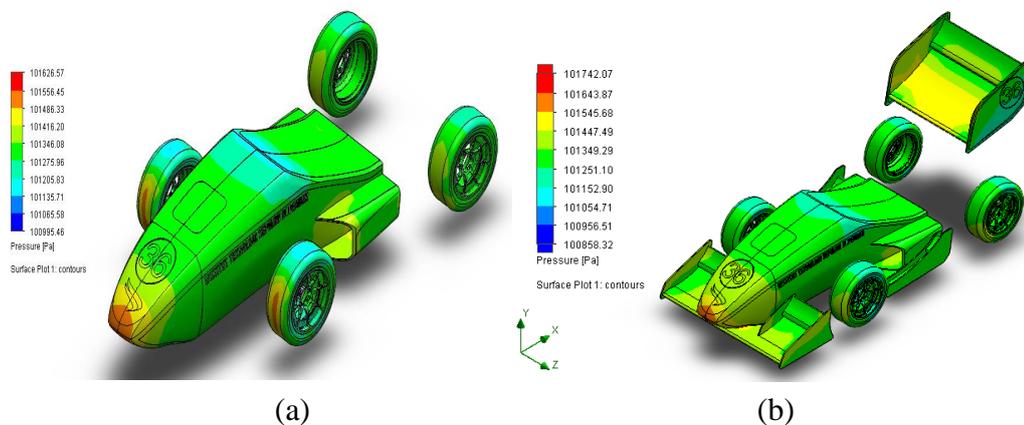
4.1 Hasil Analisa CFD

Dari desain system aerodynamic yang telah dirancang dari berbagai literatur dan mengalami berbagai revisi. Akhirnya kami menetapkan hasil analisa CFD untuk system aerodynamic mobil Formula Nogogeni ITS Team.

Setelah kami menemukan semua data yang kamu miliki untuk memecahkan masalah kami, sekarang kami dapat mengetahui hasil analisa mobil Formula Nogogeni ITS Team menggunakan system aerodynamic atau tidak. Pemodelan CAD dan analisa simulasi aliran udara (CFD) dilakukan menggunakan Solidworks 2017 untuk kondisi batas berikut :

| Parameter | Nilai | | Satuan |
|-------------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------|
| | Tanpa perangkat aerodynamic | Dengan perangkat aerodynamic | |
| Berat kendaraan | 280.92 | 290.72 | kg |
| Center of gravity (COG) | 420.72 | 416.33 | mm |
| Sprung weight | 199.52 | 209.329 | kg |
| Frontal area | 1.0006 | 1.93 | m ² |
| Max pressure | 101616.83 | 101742.07 | Pa |
| Min pressure | 100995.44 | 100858.32 | Pa |
| Drag | 91.387 | 244.921 | N |
| Lift | 38.706 | -272.753 | N |
| CD | 0,33 | 0,46 | |
| CL | 0,13 | -0,51 | |

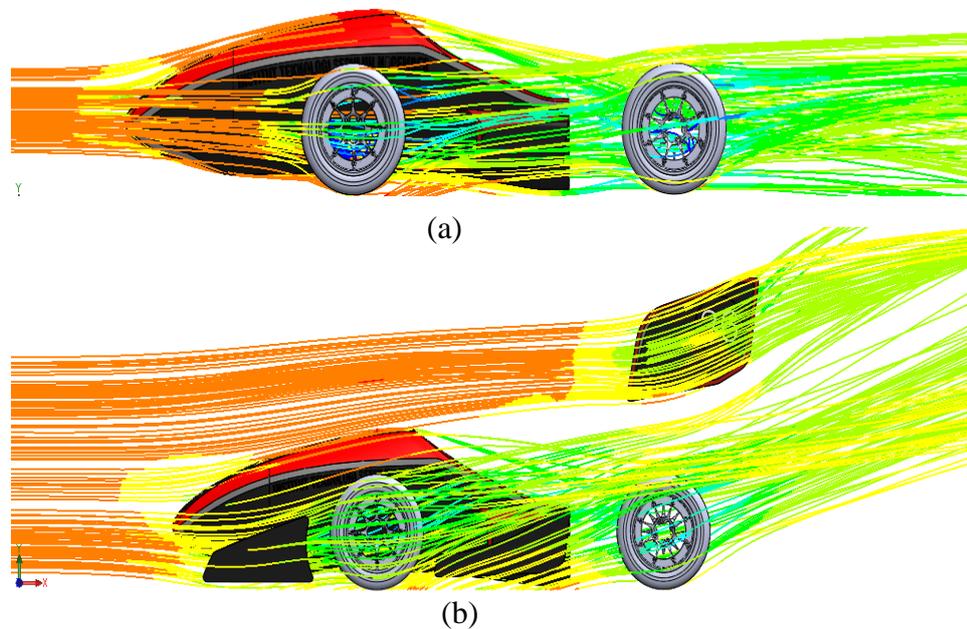
Tabel 3 Hasil analisa simulasi aliran udara (CFD)



Gambar 4.1 hasil simulasi pressure (a) tanpa menggunakan perangkat *aerodynamic* (b) dengan menggunakan perangkat *aerodynamic*

Dari gambar 4.1 ada beberapa parameter pembanding yaitu tekanan maksimum, tekanan minimum, gaya *drag*, gaya *lift*, koefisien *drag*, dan koefisien *lift*. Seperti yang terlihat pada table hasil simulasi dari mobil yang tidak menggunakan perangkat *aerodynamic* didapatkan data maksimum pressure 101,6Kpa sedangkan mobil yang menggunakan perangkat *aerodynamic* memiliki maksimum pressure 101,7Kpa tekanan maksimum ini terjadi pada daerah *stagnasi* dimana ada perubahan kecepatan secara mendadak yang mengakibatkan tekanan menjadi tinggi dibagian *nose cone* mobil adalah maksimum *pressue* yang terjadi sedangkan mobil yang tidak menggunakan front wing dibagian ban juga terjadi titik stagnasi. Minimum pressure pada mobil yang tidak menggunakan perangkat aerodynamic lebih besar daripada yang menggunakan perangkat ini yaitu 100,9Kpa dan yang menggunakan minimum *pressure*-nya semakin rendah yaitu 100,8 Kpa. Gaya *drag* yang terjadi pada mobil yang tidak menggunakan perangkat *aerodynamic* lebih kecil dibandingkan dengan yang menggunakan yaitu 91,387 N sedangkan yang menggunakan perangkat ini sebesar 244,921 N dengan rentang yang lumayan jauh dan perangkat ini mengakibatkan mobil memiliki gaya tekan kebawah sebesar 272,75 N sedangkan yang tidak menggunakan perangkat ini mobil akan mengalami gaya angkat sebesar 38,706 N. kemudian berhubungan dengan gaya *drag* dan gaya *lift* yaitu adalah koefisien *drag* dan koefisien *lift*. Koefisien *drag* dan koefisien *lift* pada mobil yang tidak menggunakan perangkat *aerodynamic*

sebesar 0,33 dan 0,13 sedangkan yang menggunakan perangkat *aerodynamic* CD dan CL nya sebsar 0,46 dan $-0,51$.



Gambar 4.2 Hasil simulasi streamline (a) tanpa perangkat aerodynamic (b) dengan pengerangkat aerodynamic

Pada gambar 4.2 merupakan hasil analisis pengaruh dari efek penambahan perangkat ini adalah perubahan kecepatan maksimum yang bisa dicapai kendaraan karena berhubungan dengan besarnya gaya *drag* yang akan diterima dari perangkat ini, mobil yang menggunakan perangkat *aerodynamic* memiliki kecepatan maksimum akan lebih rendah dibandingkan dengan mobil yang tidak menggunakan perangkat *aerodynamic*. Kecepatan ini berhubungan juga dengan *wake area*, *wake area* pada kendaraan yang menggunakan perangkat *aerodynamic* lebih besar dibandingkan dengan yang tidak yang mengakibatkan hambatan pada saat kendaraan ini mencapai kecepatan maksimumnya. Kemudian ada juga pengaruh dari penambahan perangkat ini yaitu perubahan gaya angkat yang besar dari yang sebelumnya 38,706 N menjadi $-272,5$ N dengan arah kebawah atau *down force*. Ini membuat mobil memiliki *grip* yang maksimal dibandingkan dengan mobil yang memiliki gaya angkat. Karena pengaruh ini mobil juga akan memiliki kemampuan percepatan yang lebih besar karena pada saat dari mobil kondisi diam kemudian

melakukan akselerasi dengan perubahan rpm yang besar, mobil yang tidak memiliki *grip* ban yang baik akan mengalami spinning yang merugikan pada saat *time attack*.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa simulasi aliran udara (CFD) dapat disimpulkan

1. Hasil frontal area 1.93 m² merupakan cukup besar dengan penambahan *part aerodynamic*.
2. Hasil maximal pressure 101,7 KPa merupakan cukup besar dengan mengurangi titik *stagnasi* di roda.
3. Hasil minimal pressure 100,8 KPa merupakan pengurangan dari hasil sebelumnya yang cukup banyak.
4. Hasil gaya draf 244,9 N merupakan penambahan yang cukup besar untuk menambah *down force*.
5. Hasil gaya lift -272,7 N merupakan pengurangan yang cukup besar untuk menambah *grib* ban untuk akslerasi
6. Hasil CD 0,46 merupakan penambahan yang cukup besar untuk menambah *down force*
7. Hasil CL -0,51 merupakan pengurangan yang cukup besar untuk menambah *grib* ban untuk akselesari agar terhindar *spinning*

5.2 Saran

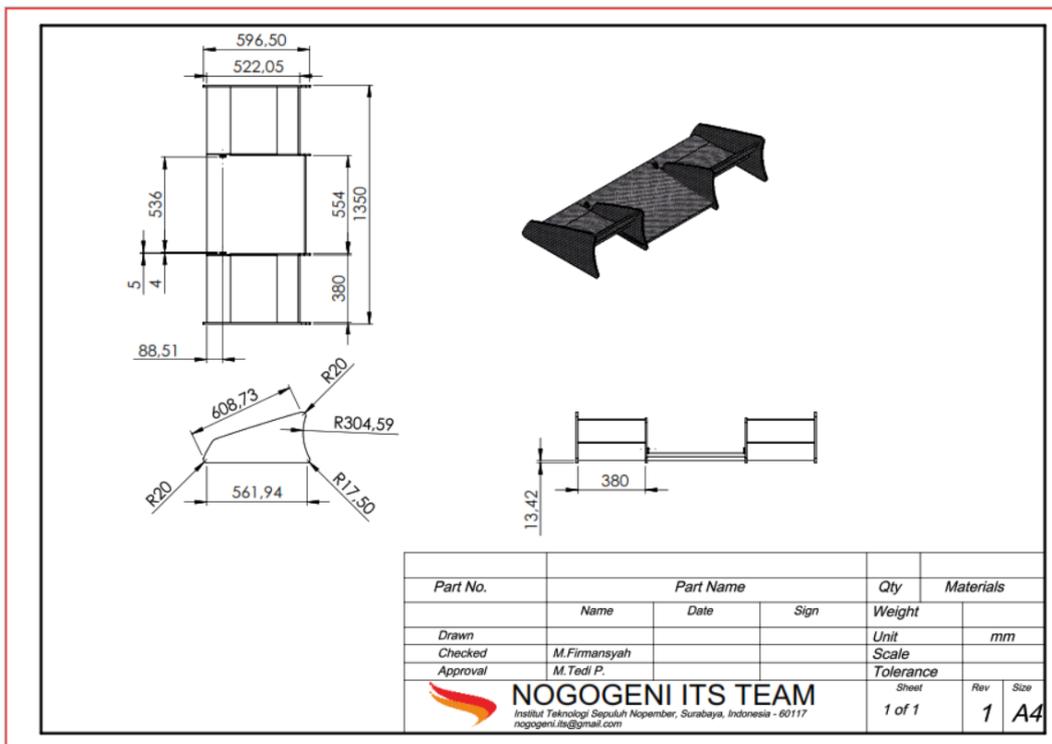
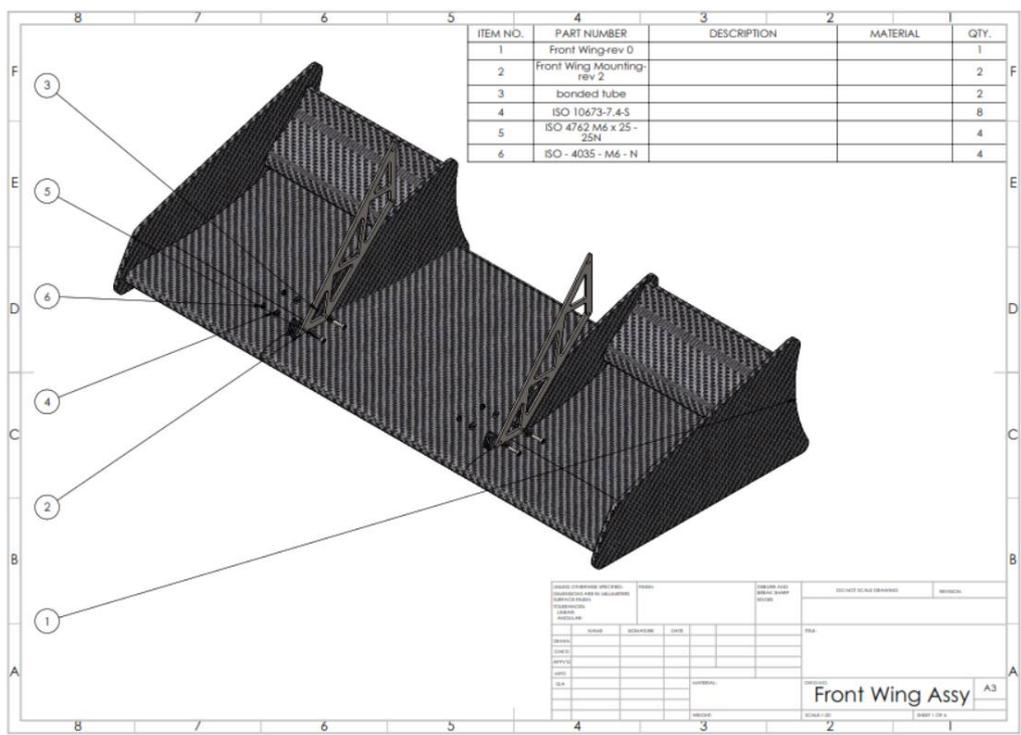
Berdasarkan pengerjaan dalam kegiatan magang industri yang telah dilakukan, maka dapat diajukan saran sebagai berikut:

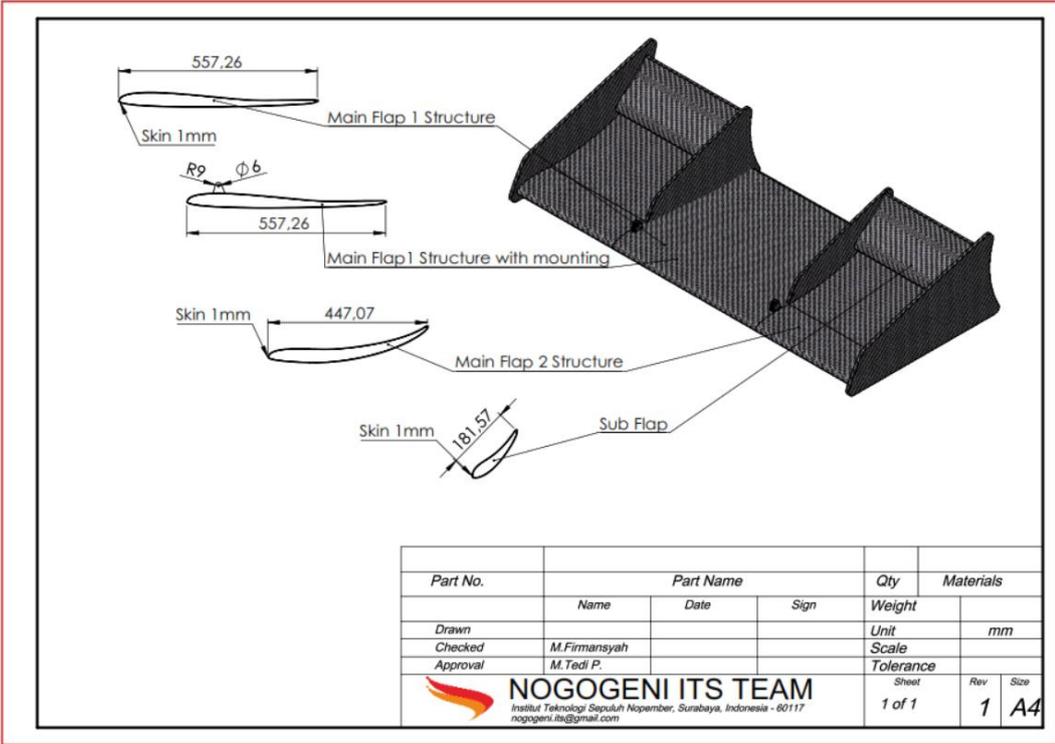
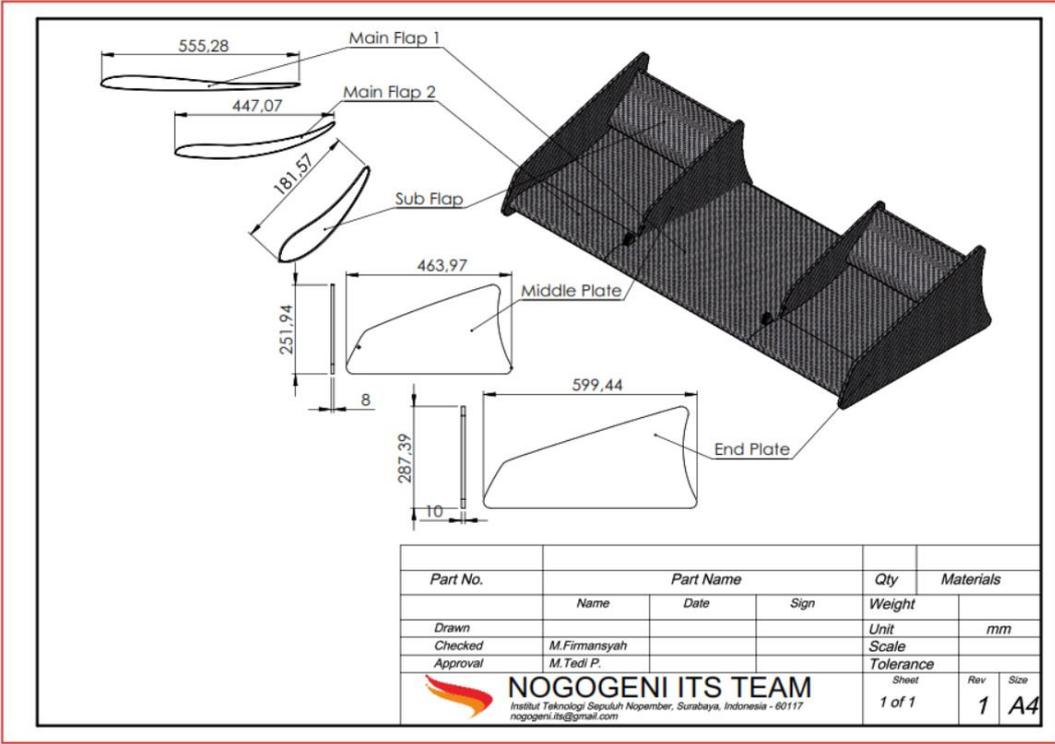
1. Dalam pengerjaan *aerodynamic system* ni jangan sampai ada kesalahpahaman dalam memahami *rules/regulation*. Pembahasan peraturan untuk setiap kategori *event* harus dilakukan sebelum memulai perencanaan pengerjaan *event Formula SAE Australasia* kedepannya.
2. Pembagian *jobdesc* untuk SDM harus lebih jelas. Pembagian yang jelas juga harus diikuti dengan kedisiplinan dari setiap anggota untuk menjalankan *jobdesc* yang dimiliki dengan baik.

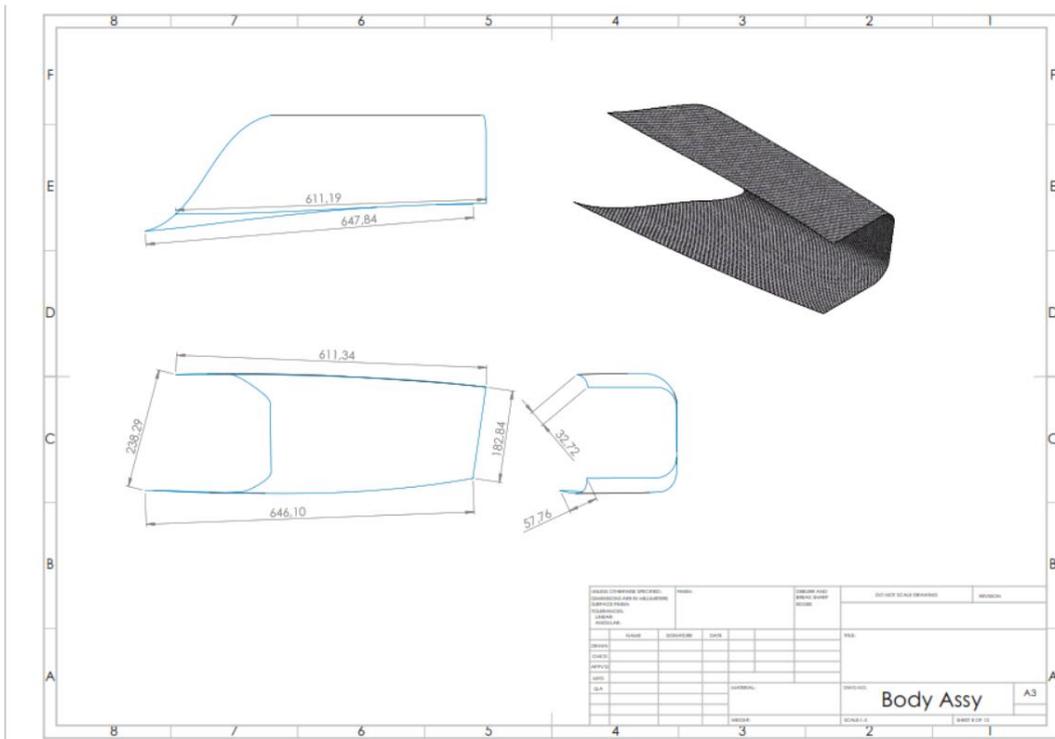
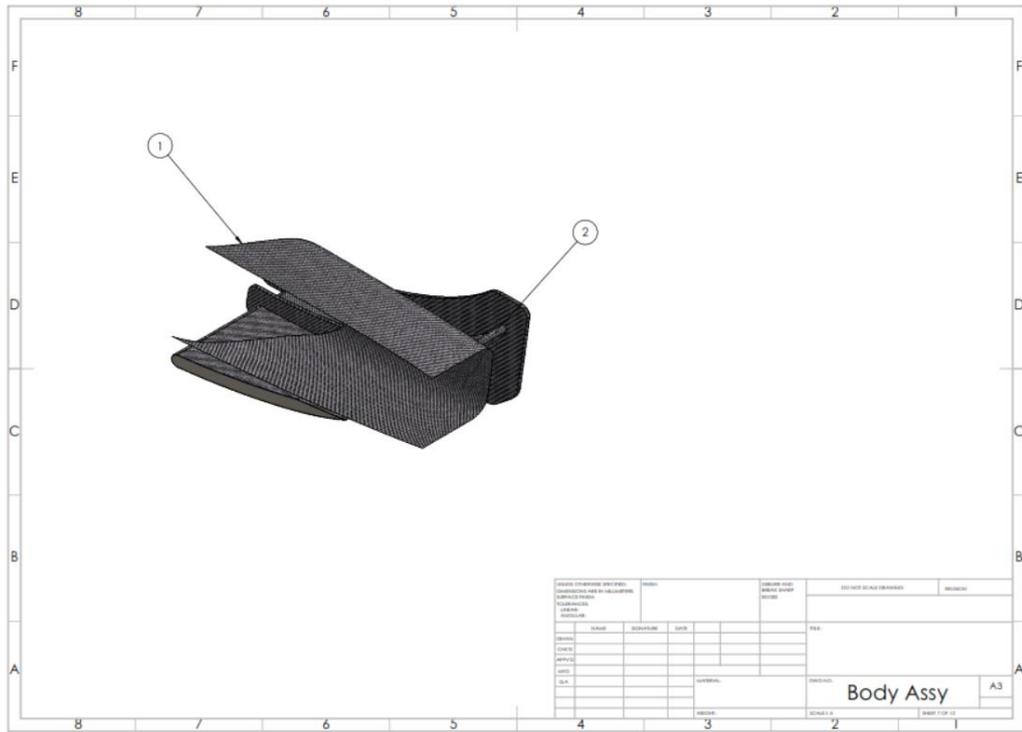
Daftar Pustaka

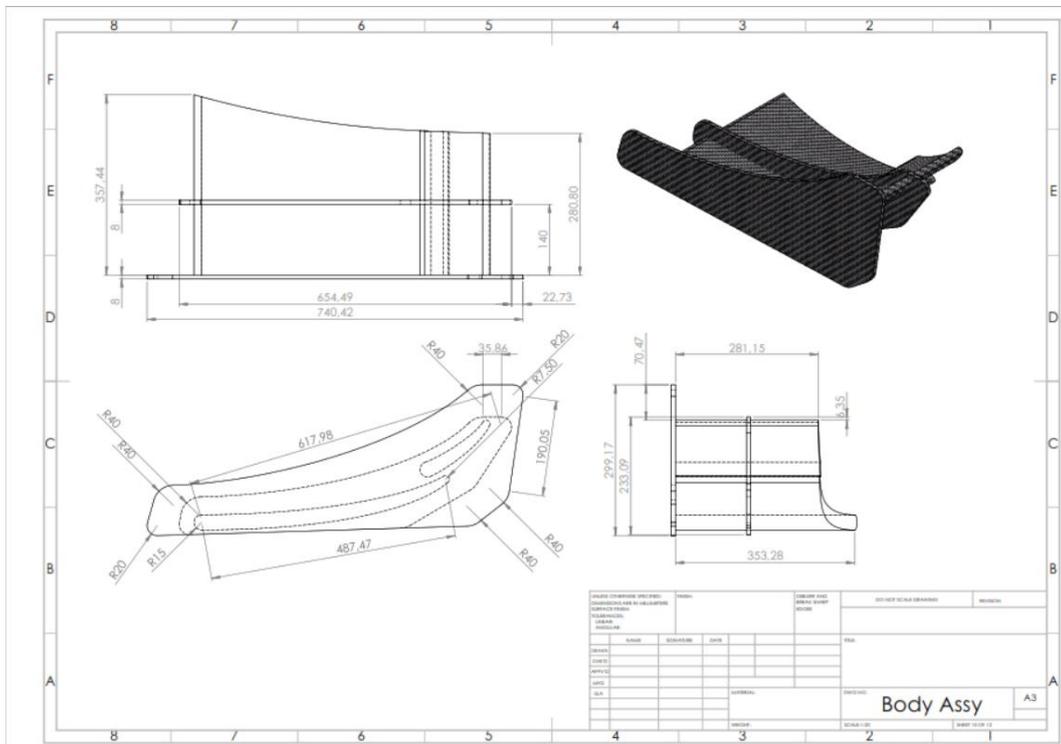
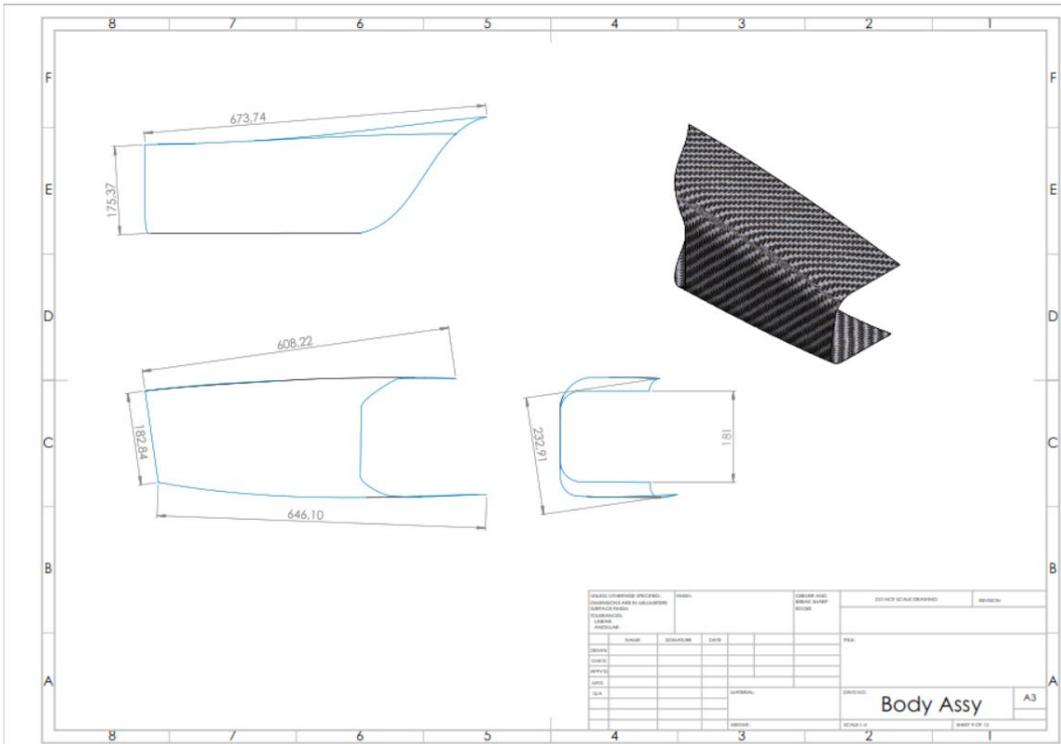
- [1] Wordley, Scott and Saunders, Jeff. “A Numerical, Wind Tunnel and On-Track Study”, in *Aerodynamics for Formula SAE*: Monash, Australia ; SAE paper 2006-010808, 2006.
- [2] Mortel F. *Cranfield Team F1 The Front Wing*. MSc Thesis. USA : Cranfield, 2003.
- [3] Barnard R.H. “An Introduction”, in *Road vehicle Aerodynamic design*. England : Longman, 1996.
- [4] Prakoso, Anindito Bagus. Studi Numerik Karakteristik Aliran 3 Dimensi Disekitar Model Sapuangin Dengan Rasio Ground Clearance Terhadap Panjang Model ($C/L = 0.027$). Surabaya, Indonesia : Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2011
- [5] Yuliyu, Diaul Vikri. Simulasi Numerik Karakteristik Aliran 3 Dimensi Di Sekitar Bodi Sapuangin Speed dengan Rasio Ground Clearance Terhadap Panjang Model (C/L) 0.014. Surabaya, Indonesia : Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2014.
- [6] Nugroho, Wahyu. “Aerodinamika”, In Simulasi Numerik Karakteristik Aliran 3 Dimensi Di Sekitar *Single Element Airfoil* Untuk Spoiler Depan Mobil Formula SAE Dengan Variasi *Reynolds Number*. Surabaya, Indonesia : Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2015.
- [7] Utomo, Renaldi Ardiansyah. “ Aliran Eksternal”, Pemodelan Numerik Aliran 3 Dimensi Pada Bodi Modifikasi Mobil Listrik Nogogeni 6. Surabaya, Indonesia : Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [8] Maydiyanto, Ismail. Permodelan Medan Aliran 3 Dimensi Pada Bodi Mobil Listrik Nogogeni 5. Surabaya, Indonesia : Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2015.
- [9] Katz, Joseph.. *Race Car Aerodynamics, Designing For Speed*. Massachusetts : 1995.

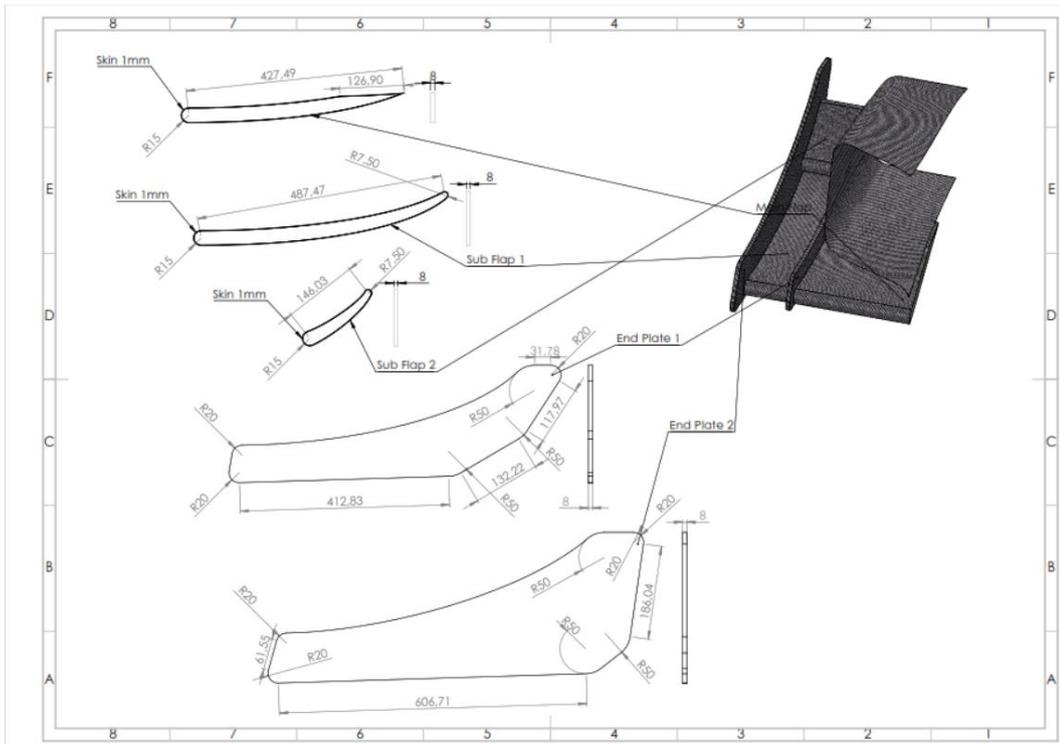
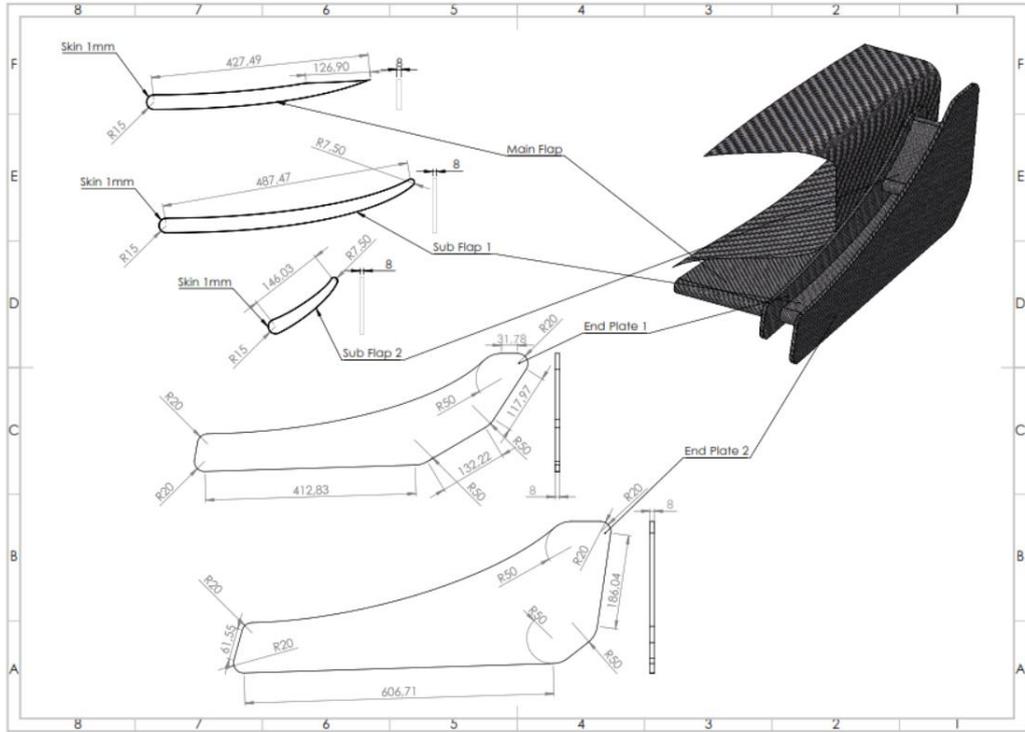
Lampiran

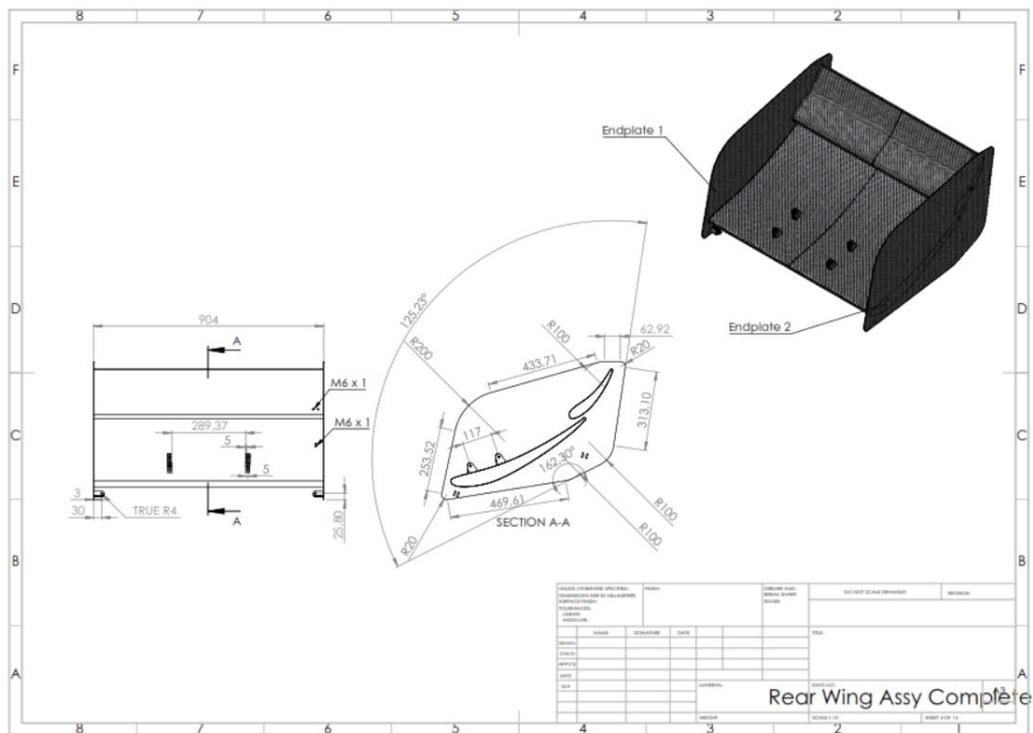
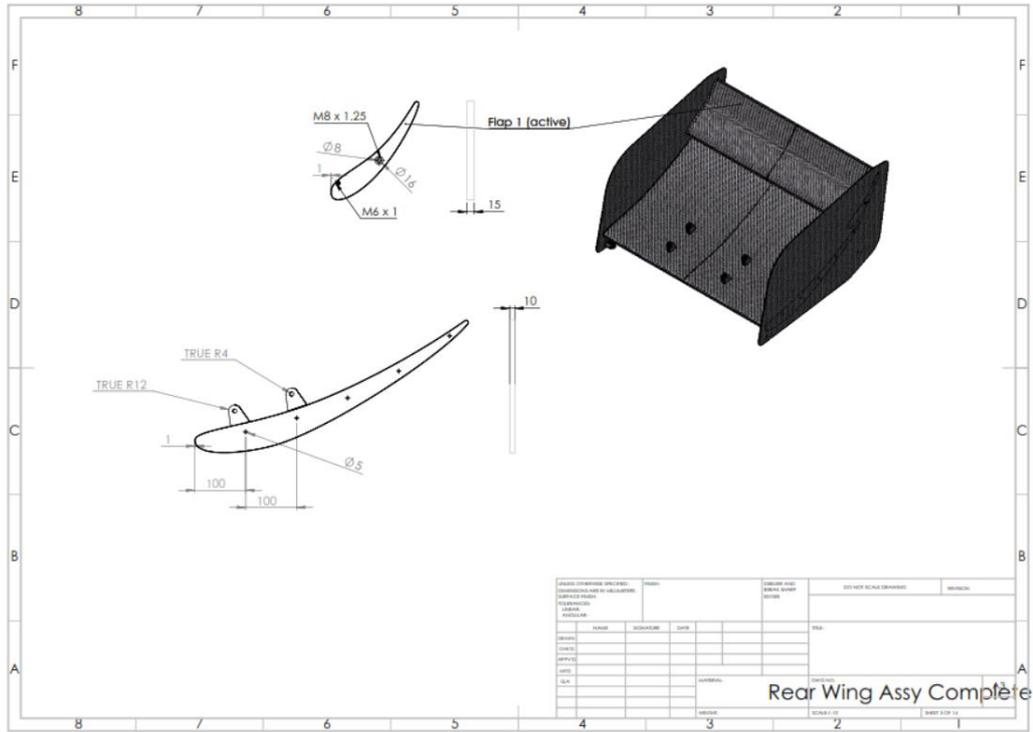


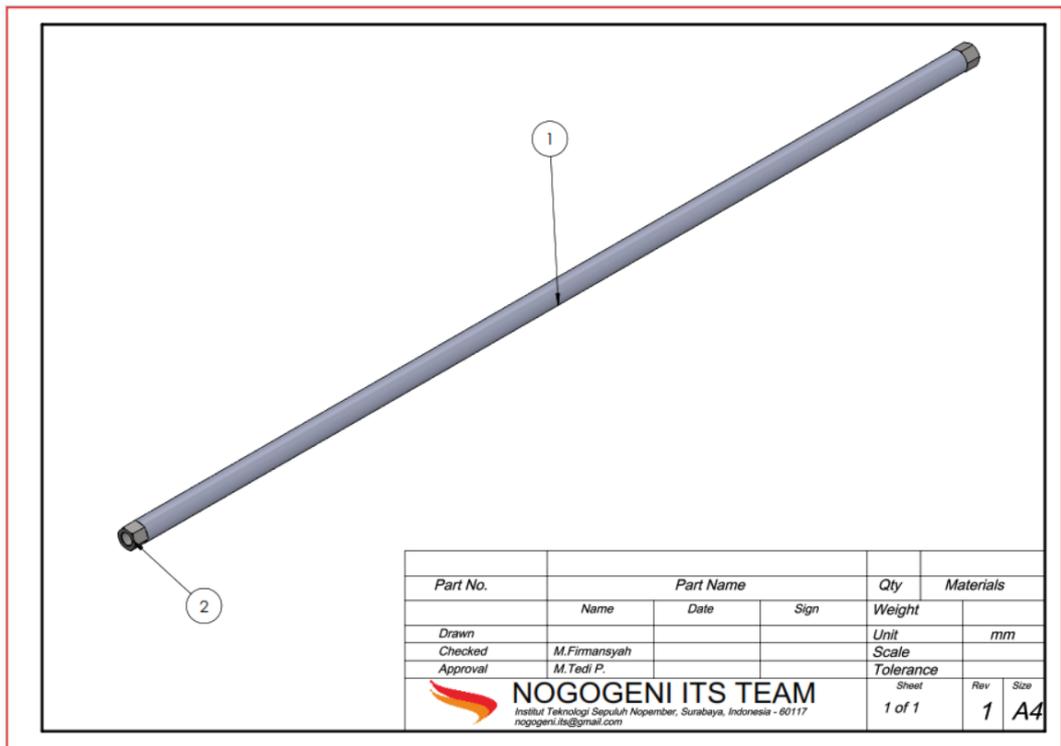
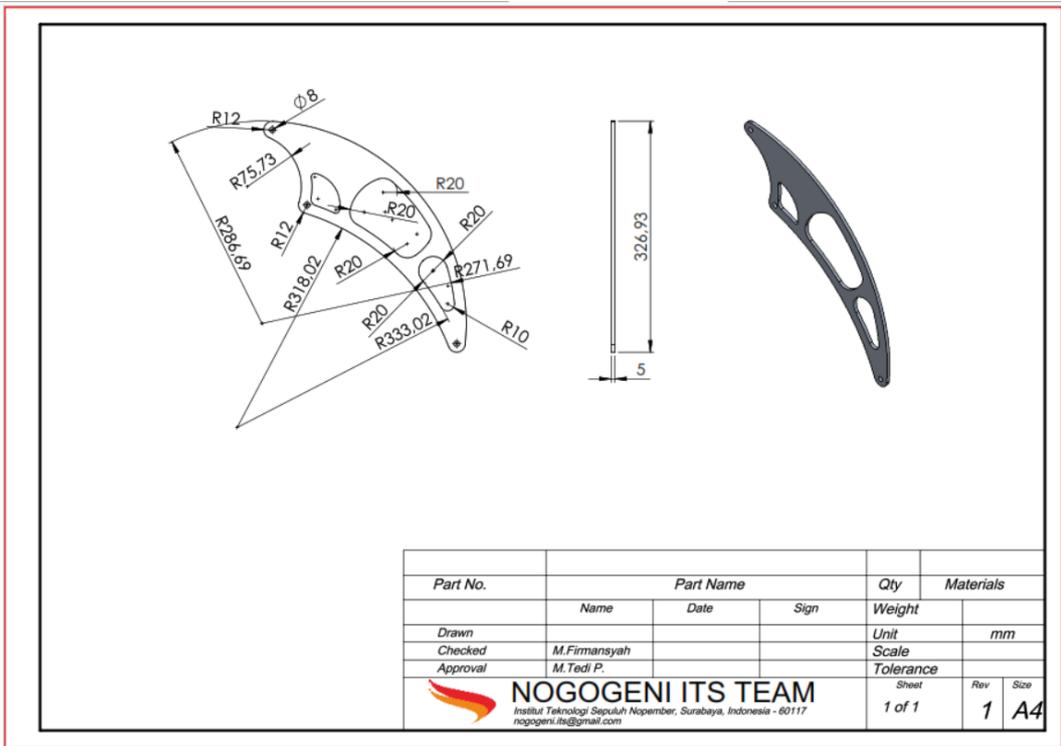


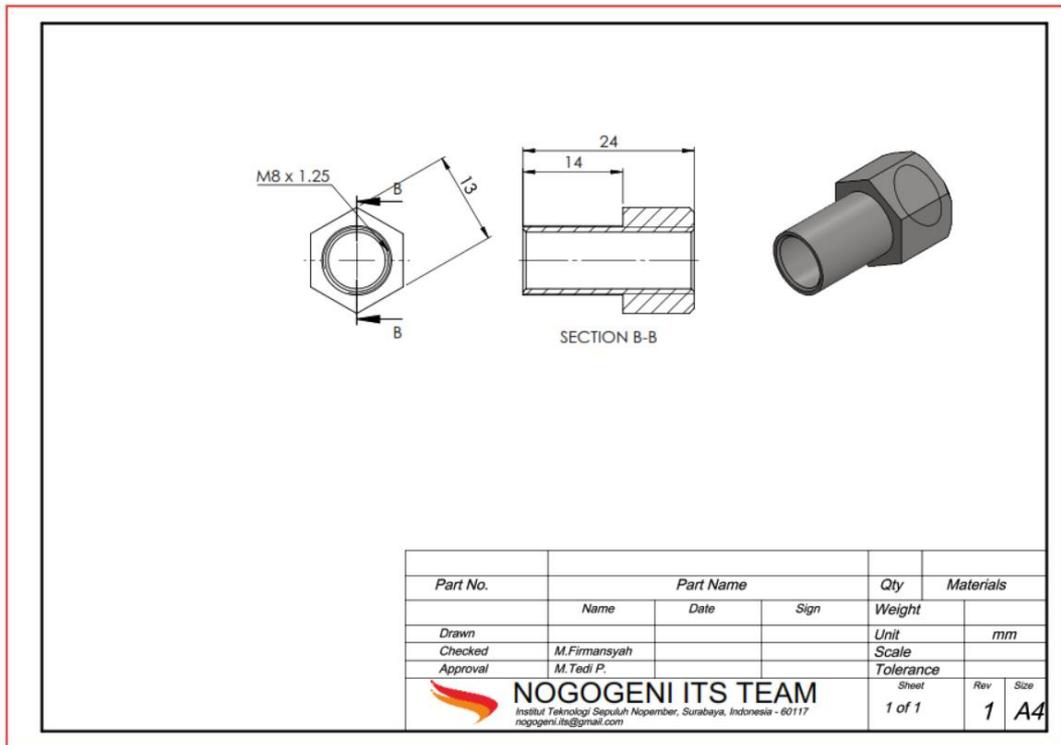
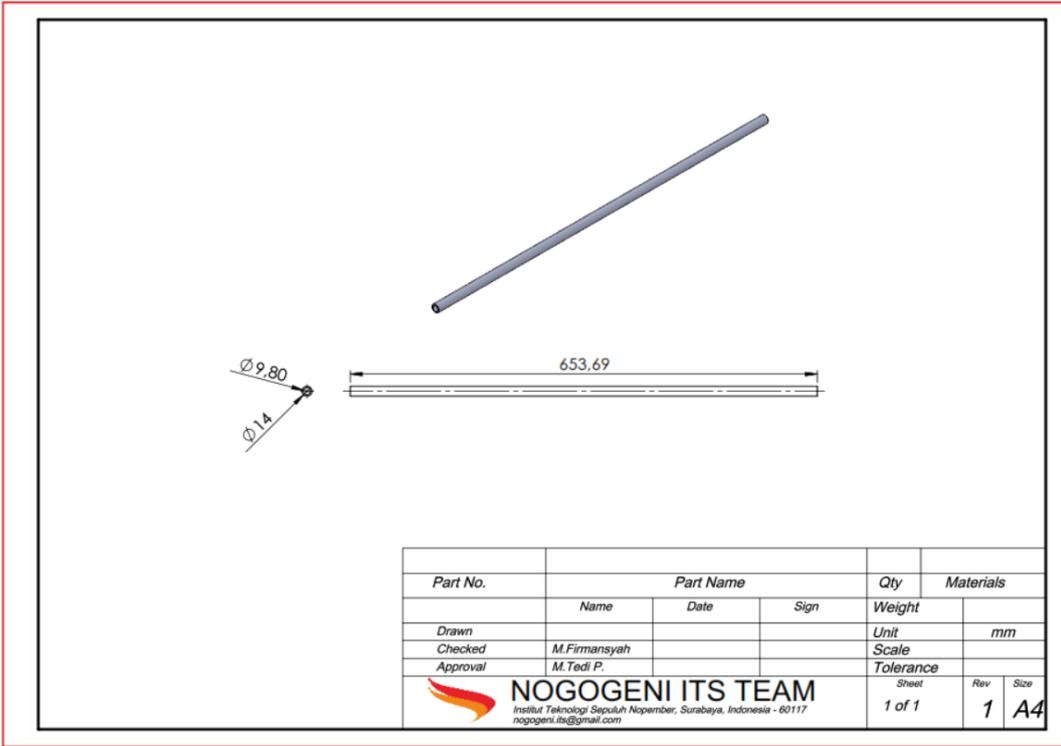


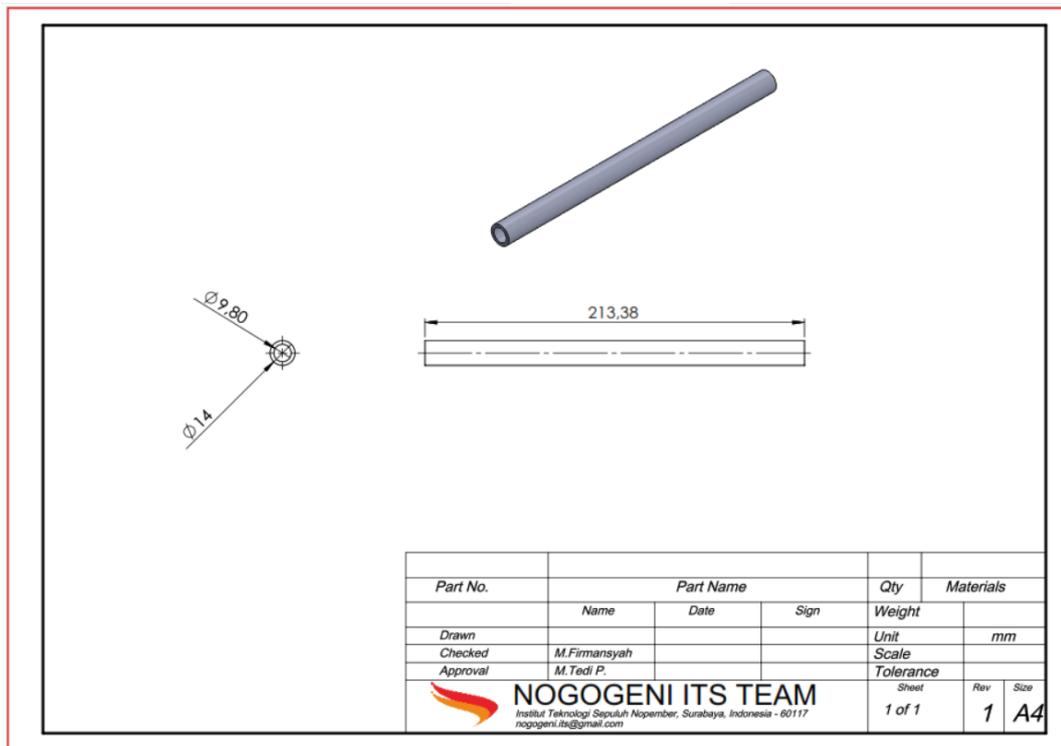
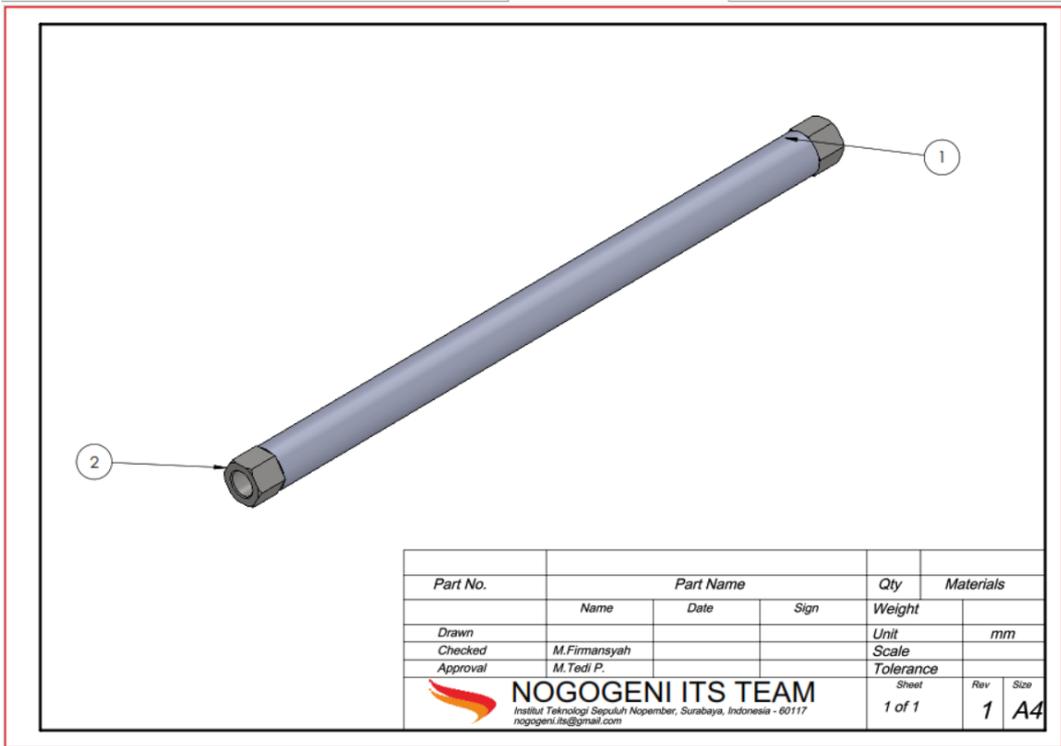












| Part No. | Part Name | | | Qty | Materials | |
|---|--------------|------|------|--------|-----------|------|
| | Name | Date | Sign | | | |
| Drawn | | | | Weight | | |
| Checked | M.Firmansyah | | | Unit | mm | |
| Approval | M.Tedi P. | | | Scale | | |
|  NOGOGENI ITS TEAM <small>Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia - 60117 nogojeni.its@gmail.com</small> | | | | Sheet | Rev | Size |
| | | | | 1 of 1 | 1 | A4 |

| Part No. | Part Name | | | Qty | Materials | |
|---|--------------|------|------|--------|-----------|------|
| | Name | Date | Sign | | | |
| Drawn | | | | Weight | | |
| Checked | M.Firmansyah | | | Unit | mm | |
| Approval | M.Tedi P. | | | Scale | | |
|  NOGOGENI ITS TEAM <small>Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia - 60117 nogojeni.its@gmail.com</small> | | | | Sheet | Rev | Size |
| | | | | 1 of 1 | 1 | A4 |

| Part No. | Part Name | | | Qty | Materials | |
|--|--------------|------|------|-----------|-----------|------|
| | Name | Date | Sign | | | |
| Drawn | | | | Weight | | |
| Checked | M.Firmansyah | | | Unit | mm | |
| Approval | M.Tedi P. | | | Scale | | |
| | | | | Tolerance | | |
| NOGOGENI ITS TEAM <small>Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia - 60117 nogo geni.its@gmail.com</small> | | | | Sheet | Rev | Size |
| | | | | 1 of 1 | 1 | A4 |

| Part No. | Part Name | | | Qty | Materials | |
|--|--------------|------|------|-----------|-----------|------|
| | Name | Date | Sign | | | |
| Drawn | | | | Weight | | |
| Checked | M.Firmansyah | | | Unit | mm | |
| Approval | M.Tedi P. | | | Scale | | |
| | | | | Tolerance | | |
| NOGOGENI ITS TEAM <small>Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia - 60117 nogo geni.its@gmail.com</small> | | | | Sheet | Rev | Size |
| | | | | 1 of 1 | 1 | A4 |