



universitas
MALIKUSSALEH

TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

**ANALISIS AERODINAMIKA *BODY* MOBIL LISTRIK
DENGAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC*
(CFD) PADA VARIASI *FRONTAL AREA* DAN KECEPATAN
ALIRAN UDARA MENGGUNAKAN *SOFTWARE ANSYS*
*FLUENT***

**Diajukan sebagai syarat yang diperlukan
untuk memperoleh gelar sarjana Teknik**

Disusun Oleh:

**RANGGA ADI PANGESTU
190120091**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MALIKUSSALEH
LHOKSEUMAWE
2024**

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Rangga Adi Pangestu

NIM : 190120091

Jurusan/Prodi/Bidang : Teknik Mesin Bidang Konversi Energi

Dengan ini menyatakan (Tugas Akhir) yang berjudul “Analisis Aerodinamika *Body* Mobil Listrik Dengan Metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD) Pada Variasi *Frontal Area* Dan Kecepatan Aliran Udara Menggunakan *Software Ansys Fluent*” adalah hasil kerja tulisan saya sendiri didampingi dosen pembimbing bukan hasil plagiat dari karya tulis ilmiah orang lain. Tidak terdapat bagian atau satu kesatuan yang utuh dari sumber lain yang saya kutip tanpa saya sebutan sumbernya yang dapat dipandang sebagai tindakan plagiarisme.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, jika dikemudian hari ternyata terbukti bahwa (Tugas Akhir) yang saya tulis adalah plagiat, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai aturan yang berlaku, dan saya bertanggung jawab secara mandiri tidak ada sangkut pautnya dengan Dosen Pembimbing dan kelembagaan Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.

Lhokseumawe, 30 Januari 2024

Penulis

Rangga Adi Pangestu

NIM. 190120091

LEMBAR PENGESAHAN PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

Judul Tugas Akhir (Skripsi) : Analisis Aerodinamika *Body* Mobil Listrik Dengan Metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD) Pada Variasi *Frontal Area* Dan Kecepatan Aliran Udara Menggunakan *Software Ansys Fluent*

Nama Mahasiswa : Rangga Adi Pangestu
NIM : 190120091
Jurusan/Prodi/Bidang : Teknik Mesin/Teknik Mesin/Konversi Energi
Tanggal Sidang : 25 Januari 2024

Lhokseumawe, 31 Januari 2024

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

Asnawi, S.T., M.Sc
NIP. 198002272006041010

Ahmad Nayan, S.T., M.T
NIP. 197504262002121001

Pembahas Utama

Pembahas Pendamping

Dr. Adi Setiawan, S.T., M.T
NIP. 197509122002121003

Muhammad, S.T., M.Eng
NIP. 197307012005011002

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Mesin

Abdul Rahman, S.T., M.Eng
NIP. 196811202003121001

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Berdasarkan hasil ujian Sidang Tugas Akhir Program Studi Strata Satu (S1) Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh pada tanggal 25 Januari 2024, dengan ini dinyatakan telah memenuhi persyaratan akademik:

Judul Tugas Akhir (Skripsi) : Analisis Aerodinamika *Body* Mobil Listrik Dengan Metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD) Pada Variasi *Frontal Area* Dan Kecepatan Aliran Udara Menggunakan *Software Ansys Fluent*

Nama Mahasiswa : Rangga Adi Pangestu
NIM : 190120091
Tempat/Tanggal Lahir : Tulang Bawang, 12 Desember 2001
Program Studi/Bidang : Teknik Mesin/Teknik Konversi Energi
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Perguruan Tinggi : Universitas Malikussaleh
Pembimbing Utama : Asnawi, S.T., M.Sc.
Pembimbing Pendamping : Ahmad Nayan, S.T., M.T.
Ketua Penguji : Dr. Adi Setiawan, S.T., M.T
Anggota Penguji : Muhammad S.T., M.Eng

Lhokseumawe, 31 Januari 2024
Penulis,

Rangga Adi Pangestu
NIM 190120091

Menyetujui:

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

Asnawi, S.T., M.Sc.
NIP 198002272006041010

Ahmad Nayan, S.T., M.T.
NIP 197504262002121001

Mengetahui:

Ketua Jurusan,

Ketua Program Studi,

Asnawi, S.T., M.Sc.
NIP 198002272006041010

Abdul Rahman, S.T., M.Eng.
NIP 196811202003121001

HALAMAN PERSEMBAHAN

Untuk Bapak, Ibu, dan Adik

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah Subhanahu Wata'ala, atas segala limpahan Rahmat dan karunia-Nya kepada penulis pada penyelesaian Penelitian Tugas Akhir ini sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir yang berjudul **“Analisis Aerodinamika *Body Mobil Listrik Dengan Metode Computational Fluid Dynamic (CFD) Pada Variasi Frontal Area Dan Kecepatan Aliran Udara Menggunakan Software Ansys Fluent*”**. Shalawat dan salam kepada Nabi Besar Muhammad SAW, yang telah membawa kita dari zaman kebodohana menuju zaman penuh peradaban dan ilmu pengetahuan.

Pada kesempatan ini penulis juga menyampaikan ucapan terimakasih saya, kepada Ayahanda Sunyono dan Ibunda Wiwin yang telah memberikan dukungan penuh kepada saya baik itu berupa finansial, materi ataupun mental serta semangat yang tak pernah padam dan do'a yang selalu melangit untuk dipermudah segala urusan anaknya dalam menempuh jenjang pendidikan.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan membimbing penulis selama proses penyusunan Tugas Akhir ini kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Herman Fithra, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng. Selaku Rektor Universitas Malikussaleh.
2. Bapak Dr. Muhammad Daud, M.T. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.
3. Bapak Asnawi, S.T., M.Sc Selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh dan sebagai Dosen Pembimbing Utama Proposal Tugas Akhir.
4. Bapak Nurul Islami, S.T., M.Sc Selaku Sekertaris Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.
5. Bapak Abdul Rahman, S.T., M.Eng Selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.

6. Bapak Alchalil, S.T., M.T, Selaku Kepala Laboratorium Konversi Energi dan Kontruksi di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.
7. Bapak Muhammad, S.T., M.Eng Selaku Dosen Penguji Pendamping Tugas Akhir dan Pembimbing Akademik Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.
8. Bapak Dr. Adi Setiawan, S.T., M.T Selaku Dosen Penguji Utama Tugas Akhir.
9. Bapak Ahmad Nayan, S.T., M.T Selaku Dosen Pembimbing Pendamping Tugas Akhir.
10. Mas Raihan Lutfianto dan Mas Rizky Vendor PT. Cadfem Tecnology Indonesia sebagai pembimbing juga dalam simulasi CFD *Ansys Fluent*.
11. Staf pengajar dan administrasi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.
12. Teman-teman angkatan 2019 Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan dukungan dan motivasi.
13. Kawan-kawan PASE TEAM Universitas Malikussaleh yang telah memberikan dukungan dan motivasi.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa laporan ini masih jauh dari kata sempurna. Untuk itu kritik dan saran yang sifatnya membangun demi kesempurnaan laporan ini sangat penulis harapkan. Akhir kata penulis mengucapkan terimakasih atas segala budi baik semua pihak dan semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan menjadi bahan masukan dalam dunia pendidikan.

Lhokseumawe, 25 Januari 2024
Penulis,

Rangga Adi Pangestu
NIM.190120091

ABSTRAK

Saat ini pemerintah sedang mengupayakan untuk bisa mencapai Indonesia Emas 2045 dan Indonesia *Net Zero Emissions* (NZE) 2060. Dalam upaya mengurangi emisi karbon maka salah satu upaya pemerintah adalah penggunaan kendaraan listrik di sektor transportasi dan membuat kompetisi Mobil Hemat Energi (KMHE) yang diselenggarakan oleh Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset Dan Teknologi (Kemendikbudristek). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai aerodinamika serta pengaruhnya pada variasi *frontal area* dan *leading edge* terhadap *body* mobil Listrik Pase Team Universitas Malikussaleh. Analisis simulasi ini dilakukan menggunakan metode *computational fluid dynamic* (CFD) dengan menggunakan *software Ansys Fluent* sebagai sarana simulasi. Pada variasi kecepatan aliran udara 2.7 m/s, 5.5 m/s, 8.3 m/s dan 11.1 m/s maka didapatkan nilai dan pengaruh aerodinamika pada setiap variasi *body*. Untuk *drag coefficient* pada *body* dengan *frontal area* $A=0.48\text{m}^2$ didapatkan dari ketiga sudut *leading edge* 36° , 15° dan 0° nilai rata-ratanya sebesar 0,151. Kemudian untuk *lift coefficient* didapatkan nilai rata-rata sebesar -0,255 yang berarti *body* menghasilkan C_D yang relative turun tetapi menghasilkan *downforce* yang besar. Untuk *drag coefficient* pada *body* dengan *frontal area* $A=0.39\text{m}^2$ didapatkan dari ketiga sudut *leading edge* 36° , 15° dan 0° nilai rata-ratanya sebesar $C_D=0,134$. Kemudian untuk *lift coefficient* didapatkan nilai rata-rata sebesar $C_L=-0,138$. Maka dapat disimpulkan dengan memperkecil *frontal area* pada *body* dan sudut *leading edge* dapat menurunkan nilai C_d sebesar 11,34% dan C_L sebesar 46%.

Kata kunci : aerodinamika, KMHE, ansys fluent, drag coefficient, lift coefficient, kontur pressure, kontur velocity, turbulence

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL TUGAS AKHIR	i
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN	iii
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR NOTASI	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian	5
2.2 Mekanika Fluida	6
2.3 Sifat-sifat Fluida (udara)	8
2.3.1 Densitas	9
2.3.2 Viskositas	10
2.4 Teori Aliran Eksternal	11
2.4.1 Lapisan Batas (<i>Boundary Layer</i>)	12
2.4.2 Aliran Laminer, Transisi dan Turbulen	13
2.4.3 Bilangan <i>Reynolds</i>	13
2.4.4 Aliran <i>Viscous</i> dan <i>Inviscous</i>	14

2.4.5	Aliran <i>Incompressible</i> dan Aliran <i>Compressible</i>	15
2.4.6	<i>Steady Flow</i> dan <i>Unsteady Flow</i>	16
2.5	Kecepatan Suara (<i>Speed of Sound</i>)	17
2.6	<i>Mach Number</i>	18
2.7	Dasar Aerodinamika	19
2.7.1	Prinsip Dasar Aerodinamika	19
2.7.2	Aerodinamis Pada Kendaraan Mobil	20
2.8	Gaya Aerodinamika	21
2.8.1	Gaya Hambat (<i>Drag Force</i>)	22
2.8.2	Gaya Angkat (<i>Lift Force</i>)	24
2.8.3	Gaya Dorong Bawah (<i>Down Force</i>)	25
2.8.4	Gaya Samping (<i>Side Force</i>)	26
2.9	Bagian-Bagian Aerodinamika	27
2.10	Pengaruh Bentuk <i>Body</i>	28
2.10.1	Koefisien Hambat Berbagai Bentuk Kendaraan	29
2.11	<i>Computational Fluid Dynamics</i> (CFD)	29
2.12	<i>Ansys workbench 2023 Student Version</i>	31
2.12.1	<i>Fluent</i>	32
2.12.2	<i>Mesh Quality Requirements</i>	33
2.13	Kompetisi Mobil Listrik Hemat Energi	35
2.13.1	<i>Design Requirement Objectives</i>	35
BAB III		37
METODE PENELITIAN		37
3.1	Tempat dan Waktu	37
3.1.1	Tempat	37
3.1.2	Waktu	37
3.2	Peralatan dan Bahan	38
3.2.1	Spesifikasi Laptop	38
3.2.2	Spesifikasi <i>Software</i>	38
3.2.3	Desain <i>body</i> mobil listrik	40
3.3	Variabel yang Diamati	40

3.3.1	Variabel Tetap	40
3.3.2	Variabel Bebas	41
3.3.3	Variabel Terikat	41
3.4	Pamodelan <i>Frontal Area</i> dan <i>Leading Edge</i> Pada <i>Body</i> Mobil Listrik...41	
3.5	Prosedur Penelitian	42
3.5.1	Diagram Alir (<i>flow chart</i>)	42
3.6	Tindakan Khusus	51
3.7	Teknik pengumpulan Data dan Analisis Data	52
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		54
4.1.	Distribusi Aliran	54
4.2.	Hasil Simulasi	55
4.2.1.	Hasil <i>Meshing Body</i> Mobil Listrik	55
4.2.2.	Gaya Aerodinamis	57
4.2.3.	Perhitungan Gaya Aerodinamis	58
4.2.4.	Gaya Hambat (<i>Drag Force</i>)	61
4.2.5.	Gaya Angkagt (<i>Force Lift</i>)	63
4.3.	Kontur Aerodinamika <i>Body</i> Terhadap Variasi <i>Frontal Area</i> dan <i>Leading Edge</i> 65	
4.3.1.	Kontur Distribusi Tekanan	65
4.3.2.	Kontur Distribusi Kecepatan	67
4.3.3.	Kontur Fenomena Turbulensi	68
4.4.	Diskusi Hasil Simulasi	70
4.4.1.	Validasi keakurasian hasil simulasi	70
4.4.2.	Variasi <i>leading edge</i> pada <i>body</i> kendaraan	71
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		73
5.1.	Kesimpulan	73
5.2.	Saran	73
DAFTAR PUSTAKA		75
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Bentuk <i>countour velocity</i> terhadap <i>design</i> mobil <i>dobrev</i>	5
Gambar 2. 2 Desain variasi <i>body</i> I, II dan III	6
Gambar 2. 3 Desain <i>body</i> proto diesel I dan II	6
Gambar 2. 4 Klasifikasi aliran fluida	8
Gambar 2. 5 <i>Streamlines</i> aliran udara pada bentuk kereta peluru dan bola	11
Gambar 2. 6 Lapisan batas pada plat datar	12
Gambar 2. 7 (a) aliran laminier; (b) aliran transisi; (c) aliran turbulen	13
Gambar 2. 8 Perbedaan antara fluida <i>ideal</i> dan <i>viscous</i>	14
Gambar 2. 9 Perbedaan <i>mach</i> number pada temperatur yang berbeda dengan <i>velocity</i> yang sama	18
Gambar 2. 10 Bentuk <i>Frontal Area</i> terhadap C_D	21
Gambar 2. 11 Bentuk kendaraan mobil terhadap nilai C_D .	22
Gambar 2. 12 Hubungan kecepatan kendaraan dengan koefisien drag	23
Gambar 2. 14 Bentuk <i>body</i> terhadap dan nilai koefisien hambat	28
Gambar 2. 14 Perkembangan bentuk <i>body</i> kendaraan dari tahun ke tahun dan pengaruhnya terhadap nilai gaya hambat	29
Gambar 2. 15 Koefisien drag untuk silinder dan bentuk dasar lainnya	29
Gambar 2. 16 <i>Mesh Quality Reqcomendation for Ansys Fluent</i>	34
Gambar 3. 1 <i>Software Autodesk Fusion 360</i>	39
Gambar 3. 2 <i>Ansys workbench 2022R2 Student version</i>	40
Gambar 3. 3 Desain <i>body frontal area</i> $A(0.48m^2)$ sudut <i>leading edge</i> (a) 36° , (b) 15° dan (c) 0°	41
Gambar 3. 4 Desain <i>body frontal area</i> $A(0.39m^2)$ sudut <i>leading edge</i> (a) 36° , (b) 15° dan (c) 0°	42
Gambar 3. 5 Diagram alir (<i>flow chart</i>) penelitian	43
Gambar 3. 6 Import geometri pada <i>Ansys Workbench</i>	44
Gambar 3. 7 Pembuatan domain pemodelan <i>body</i> (3D Flow)	44
Gambar 3. 8 Pemberian nama kondisi batas pada domain	45
Gambar 3. 9 Langkah pembuatan <i>mesh</i>	45

Gambar 3. 10 Proses pembuatan meshing	46
Gambar 3. 11 Proses <i>setup</i> atau <i>processing</i>	48
Gambar 3. 12 <i>Import</i> tipe material dan <i>properties</i>	49
Gambar 3. 13 Input nilai batas error	51
Gambar 4. 1 Grafik bilangan <i>reynolds</i> terhadap kecepatan aliran	55
Gambar 4. 2 Grafik <i>drag force</i> terhadap <i>velocity</i> pada variasi <i>frontal area</i> dan <i>leading edge</i>	61
Gambar 4. 3 Grafik <i>drag force coefficient</i> terhadap <i>velocity</i> pada variasi <i>frontal area</i> dan <i>leading edge</i>	62
Gambar 4. 4 Grafik gaya angkat <i>body</i> sudut <i>leading edge</i> 36°, 15° dan 0° A=(0.48m ²) dan sudut <i>leading edge</i> 0° A(0.39m ²)	63
Gambar 4. 5 Grafik <i>lift force coefficient</i> terhadap <i>velocity</i> pada variasi <i>frontal area</i> dan <i>leading edge</i>	64

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi tipe mobil berdasarkan koefisien <i>drag</i>	24
Tabel 2. 2 <i>Available systems in Ansys workbench toolbox</i>	31
Tabel 2. 3 <i>Some of the capabilities for Ansys Fluent</i>	32
Tabel 2. 4 Opsi tampilan garis besar <i>Ansys Fluent</i>	33
Tabel 3. 1 Waktu pelaksanaan penelitian	37
Tabel 3. 2 Spesifikasi Leptop	38
Tabel 3. 3 Data input mesh pada <i>workflow</i>	46
Tabel 3. 4 <i>Mesh properties</i>	47
Tabel 3. 5 Parameter <i>boundary condition</i> pada proses <i>preprocessing</i>	49
Tabel 3. 6 Data input pada <i>reference values</i>	50
Tabel 3. 7 Distribusi aliran udara berdasarkan <i>velocity</i> dan <i>temperature</i>	52
Tabel 3. 8 Nilai aerodinamis <i>body</i> pada variasi <i>leading edge</i> dan <i>frontal area</i>	53
Tabel 3. 9 Perbandingan <i>presentese</i> pada setiap <i>body</i>	53
Tabel 4. 1 Data distribusi aliran berdasarkan kecepatan dan temperatur	54
Tabel 4. 2 Bentuk hasil meshing pada <i>body</i>	55
Tabel 4. 3 <i>Diagnotics summary meshing pada variasi leading edge dan frontal aerea</i>	56
Tabel 4. 4 Nilai <i>drag force</i> dan <i>drag coefficient</i> pada variasi <i>frontal area</i> terhadap sudut <i>leading edge</i> 36°	57
Tabel 4. 5 Nilai <i>drag force</i> dan <i>drag coefficient</i> pada variasi <i>frontal area</i> terhadap sudut <i>leading edge</i> 15°	57
Tabel 4. 6 Nilai <i>drag force</i> dan <i>drag coefficient</i> pada variasi <i>frontal area</i> terhadap sudut <i>leading edge</i> 0°	57
Tabel 4. 7 Nilai <i>lift force</i> dan <i>lift coefficient</i> pada variasi <i>frontal area</i> terhadap sudut <i>leading edge</i> 36°	58
Tabel 4. 8 Nilai <i>lift force</i> dan <i>lift coefficient</i> pada variasi <i>frontal area</i> terhadap sudut <i>leading edge</i> 15°	58
Tabel 4. 9 Nilai <i>lift force</i> dan <i>lift coefficient</i> pada variasi <i>frontal area</i> terhadap sudut <i>leading edge</i> 0°	58

Tabel 4. 10 Perbandingan nilai FD dan CD pada setiap <i>body</i>	60
Tabel 4. 11 Perbandingan nilai FL dan CL pada setiap <i>body</i>	60
Tabel 4. 12 Kontur distribusi tekanan sudut <i>leading edge</i>	66
Tabel 4. 13 Kontur distribusi kecepatan sudut <i>leading edge</i>	67
Tabel 4. 14 Kontur distribusi turbulensi sudut <i>leading edge</i>	69
Tabel 4. 15 Perbandingan nilai C_D peneliti terdahulu sebagai parameter keakurasian	70
Tabel 4. 16 Persentase perbandingan variasi sudut <i>leading edge</i> peneliti terdahulu dengan hasil penelitian	70

DAFTAR NOTASI

ρ	= massa jenis (kg/m ³)
m	= massa (kg)
V	= volume (m ³)
γ	= berat spesifik (N/m ³)
g	= percepatan gravitasi (m/s ²)
μ	= kekentalan dinamis (kg/ms)
τ	= tegangan geser (N/m ²)
dv	= gradien kecepatan
ν	= kekentalan kinematis (m ² /s)
Re	= bilangan <i>reynolds</i>
L	= panjang karakteristik kendaraan (m)
p	= tekanan fluida
h	= ketinggian relative terhadap suatu referensi
V	= kecepatan fluida (m/s)
ϕ	= energi potensial gravitasi per satuan massa
∂f	= perubahan komponen aliran
∂t	= perubahan terhadap waktu
f	= komponen aliran (viskositas, tekanan, rapat massa, ke)
F_D	= gaya hambat
A_f	= Luas permukaan (<i>surface area</i>) (m ²)
V_a	= kecepatan relative angin kendaraan (m/dt)
C_D	= Koefisien <i>Drag</i>
F_L	= gaya angkat (N)
C_L	= koefisien lift
c	= kecepatan suara (m/s)
K	= rasio panas
R	= konstanta gas udara (KJ/Kg.K)
T	= temperatur
Ma	= bilangan <i>mach</i>

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Penunjukan Pembimbing Proposal Penelitian

*Lampiran 2 Surat Keterangan TIM Mobil Listrik Pase Team Universitas
Malikussaleh*

Lampiran 3 Bukti Konsultasi Dosen Pembimbing

Lampiran 4 Tabel Properties of air at 1 atm pressure

Lampiran 5 Dimensionless Groups in Fluid Mechanics

Lampiran 6 Skematik simulasi body pada Ansys Workbench

Lampiran 7 Bukti Mengikuti Seminar Hasil Tugas Akhir

Lampiran 8 Kontur Static Pressure Leading Edge 36°

Lampiran 9 Kontur Static Pressure Leading Edge 15°

Lampiran 10 Kontur Static Pressure Leading Edge 0°

Lampiran 11 Velocity Leading Edge 36°

Lampiran 12 Velocity Leading Edge 15°

Lampiran 13 Velocity Leading Edge 0°

Lampiran 14 Turbulen Kinetic Leading Edge 36°

Lampiran 15 XIV Turbulen Kinetic Leading Edge 15°

Lampiran 16 Turbulen Kinetic Leading Edge 0°

*Lampiran 17 Proyeksi Gambar 2D Desain Body Variasi Frontal Area dan
Leading Edge*

Lampiran 18 Curriculum Vitae

Lampiran 19 Perhitungan analisis distribusi aliran

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia saat ini tengah menyusun strategi untuk menuju Indonesia Emas Tahun 2045, dimana pemerintah mendobrak untuk menyiapkan generasi muda yang unggul dan berdaya saing. Kemudian Indonesia saat ini berupaya melakukan transformasi menuju *Net Zero Emissions* (NZE) pada Tahun 2026. NZE atau nol emisi karbon adalah kondisi dimana jumlah emisi karbon yang dilepas ke atmosfer tidak melebihi jumlah emisi karbon yang diserap oleh bumi (Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral, 2022). Maka dalam salah satu target *Sustainable Development Goals* (SDGS) nomor 7, yaitu melakukan perbaikan efisiensi energi di tingkat global sebanyak dua kali lipat pada tahun 2030. Untuk mengurangi emisi karbon dan mencapai kondisi *Net Zero Emissions* maka salah satu upaya pemerintah adalah penggunaan kendaraan listrik di sektor transportasi.

Kompetisi Mobil Hemat Energi (KMHE) yang diselenggarakan oleh Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset Dan Teknologi (Kemendikbudristek), merupakan upaya pemerintah untuk memberikan peluang bagi mahasiswa mealui kreativitas dan inovasi dalam merancang dan membuat serta mengembangkan kendaraan yang lebih aman, hemat dan ramah lingkungan. Pada KMHE sendiri memperlombakan dua tipe kategori yaitu tipe *prototype* dan tipe *urban*. Dalam kompetisi ini mahasiswa harus merancang dan mendesain kendaraan dengan menggunakan sumber enrgi seminimal mungkin. Model atau *body* kendaraan adalah aspek (*engine*, transisi, kemudi, suspensi, rem dan estetika) yang mempengaruhi peforma kendaraan (Badrawada, dkk., 2019). Dalam kasus ini aerodinamika menjadi salah satu aspek yang mempengaruhi hematnya bahan bakar pada sebuah kendaraan.

Penelitian yang dilakukan oleh Serie dkk, (2017) menyampaikan bahwa Eco-Marathon Shell diselenggarakan di Amerika Serikat dan Asia pada setiap tahunnya, dengan jarak tempuh 3.400 km/j hal ini setara dengan 1 liter bahan bakar.

Peneliti melakukan perubahan bentuk *body* bagian depan, bawah dan belakang untuk dapat mengunai nilai koefisien hambat (C_D). Hasil penelitian analisis menggunakan *Software Ansys Fluent* didapat 0.127 dari total 0.430 dan perbedaan jumlah *meshing* juga dapat mengurangi nilai C_D sebesar 2.2 % tetapi tidak signifikan. Kemudian penelitian yang dilakukan oleh Dobrev dkk, (2017) yaitu “Uji eksperimental dan numerik tentang medan aliran di sekitar mobil” tujuan penelitian ini adalah untuk memahami medan aliran di sekitar *body* dengan *wind thunnel* menggunakan *Partikel Image Velocimetry* (PIV) dan dengan menggunakan simulasi numerik memakai *CFD Fluent* untuk mendapatkan nilai gaya hambat pada kendaraan tersebut. Peneliti menyimpulkan perbandingan bidang aliran yang diperoleh secara numerik dan eksperimental menunjukkan korespondasi yang baik.

Pase Team sendiri merupakan team mobil listrik dari Universitas Malikussaleh yang masih dalam proses perancangan kendaraan untuk dapat mengikuti perlombakan dalam ajang KMHE nantinya. Salah satu perancangan kendaraan yang dilakukan adalah pembuatan *body*. Dalam memperkecil gaya hambat dan konsumsi daya, maka aspek yang perlu diperhatikan ialah ke-aerodinamikaan *body*. Untuk dapat diketahui pengaruh aerodinamika terhadap *body* dilakukan simulai menggunakan metode *CFD* dengan bantuan *Software Ansys Fluent*.

Software Ansys merupakan *software engineerinig* dari Ansys. Ansys, Inc. merupakan perusahaan multinasional Amerika yang berkantor pusat di Canonsburg yang didirikan pada tahun 1970 oleh John Swanson, Pennsylvania. Perusahaan ini mengembangkan dan memasarkan perangkat lunak berupa *engineering simulation software* untuk produk desain, pengujian dan pengoprasian produk serta menawarkan produk dan layanannya kepada pelanggan di seluruh dunia.

Dari permasalahan diatas maka dari itu peneliti ingin menjadikan ini sebagai kasus Tugas Akhir peneliti, yaitu dengan menganalisa pemodelan numerik menggunakan aliran 3D dengan menggunakan *Software Anys Fluent*. Hal yang akan menjadi fokus utama tertuju pada penelitian ini adalah berupa variasi *frontal area* dan variasi sudut *leading edge*, diharapkan untuk hasil simulasi ini bisa

menjadi data acuan berupa gaya hambat (*force drag*) gaya angkat (*force lift*) serta struktur *wake* dan kontur pada *body* dalam pengembangan penelitian selanjutnya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dari penelitian tugas akhir tersebut, maka dapat diambil perumusan masalah yaitu sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh variasi *frontal area* dan sudut *leading edge* diberbagai kecepatan aliran udara pada *body* mobil listrik terhadap *coefficient drag* dan *coefficient lift*?
2. Bagaimana kontur *velocity*, *pressure* dan *turbulence kinetic energy* terhadap variasi *frontal area* dan sudut *leading edge* diberbagai kecepatan aliran udara pada *body* mobil listrik?
3. Berapa besar pengaruh aerodinamika dari perbandingan variasi *frontal area* dan sudut *leading edge* 36°, 15°, 0° diberbagai kecepatan aliran udara pada *body* mobil listrik?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan penelitian proposal tugas akhir tersebut, maka tujuan dari penulis yaitu sebagai berikut :

1. Mengetahui nilai *coefficient drag* dan *coefficient lift* terhadap variasi *frontal area* dan sudut *leading edge* diberbagai kecepatan aliran udara pada *body* mobil listrik
2. Mengidentifikasi kontur *velocity*, *pressure* dan *turbulence kinetic energy* disetiap variasi *frontal area* dan sudut *leading edge* diberbagai kecepatan aliran udara pada *body* mobil listrik.
3. Untuk mengetahui dari aspek aerodinamikanya pengaruh variasi *frontal area* dan sudut *leading edge*, diberbagai kecepatan aliran udara pada *body* mobil listrik.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang bisa diambil dari penelitian proposal tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat mengetahui fenomena aliran secara fisis dari analisa aliran 3D di sekitar *body* mobil listrik melalui visualisasi aliran dengan menggunakan *Software Ansys Fluent*.
2. Mengetaahui karakteristik aerodinamika pada *body* yang lebih baik untuk menjadi pertimbangan dalam pembuatan mobil listrik sebagai ajang KMHE selanjutnya.
3. Mengetahui optimasi *body* yang lebih baik antara *body* pada variasi *frontal area* dan sudut *leading edge* untuk dapat dikembangkan lebih baik lagi.

1.5 Batasan Masalah

Agar pembahasan lebih terperinci maka peneliti memberikan batasan – batasan masalah. Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Nilai densitas udara pada temperatur $T = 303\text{K}$ dan tekanan absolute $P = 1 \text{ atm}$ yaitu $\rho = 1,164 \text{ kg/m}^3$.
2. Aliran yang digunakan dalam keadaan *steady state* serta aliran *incompressible*.
3. Nilai viskositas udara pada temperatur $T = 303\text{K}$ dan tekanan absolute $P = 1 \text{ atm}$ yaitu $\mu_{\text{udara}} = 1.872 \times 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$.
4. Komputasi menggunakan *Software Ansys Fluent Student Version*.

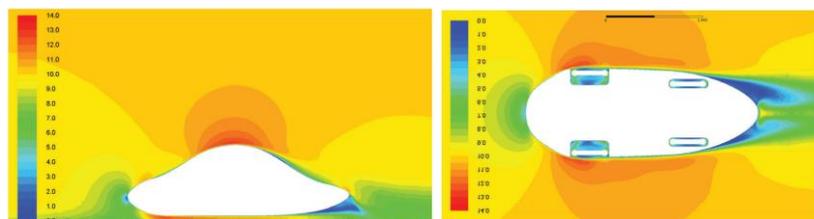
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian

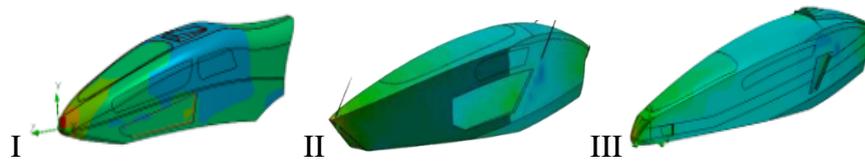
Dalam mendesain atau merancang mobil listrik terutama dalam ajang kontes mobil listrik (KMHE), yang sangat perlu diperhatikan adalah desain dan karakteristik aerodinamis *body* karena hal ini akan sangat mempengaruhi performa mesin dan kecepatan suatu kendaraan. Berikut ini merupakan penelitian sebelumnya tentang desain *body* yang aerodinamis dan metode yang digunakan.

Dobrev, dkk (2017) melakukan pengujian tentang “Uji Eksperimental Dan Numerik Tentang Medan Aliran Di Sekitar Mobil” tujuan penelitian adalah untuk memahami medan aliran di sekitar *body* dengan trowongan angin menggunakan *Partikel Image Velocimetry* (PIV) dan dengan simulasi numerik menggunakan *CFD Fluent* untuk mendapatkan nilai gaya hambat pada kendaraan tersebut. Peneliti menyimpulkan perbandingan bidang aliran yang diperoleh secara numerik dan eksperimental pada kendaraan mobil menunjukkan korespondansi yang baik. Hasil yang diperoleh sangat membantu untuk pengembangan mobil di masa depan.



Gambar 2. 1 Bentuk *countour velocity* terhadap *design* mobil dobrev (Dobrev, dkk 2017)

Hakim, dkk (2016) dalam penelitiannya bertujuan untuk mengetahui gaya hambat dan mengetahui bagian desain *body* mana yang memiliki tingkat *pressure* yang lebih kecil terhadap variasi *body* I, II dan III. Selanjutnya dilakukan simulasi menggunakan metode *CFD* dengan kecepatan aliran udara maksimum 80 Km/j didapatkan nilai C_D pada *body* I = 0.08, *body* II C_D = 0.040 dan *body* III C_D = 0.037. Bentuk desain *body* dari Hakim, dkk dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Desain variasi *body* I, II dan III
(Hakim dkk, 2016)

Badrawada, dkk (2019) melakukan perubahan pada geometri *body* proto diesel I bagian depan yaitu pada ujung depan lebih kecil kemudian pada sudut serangnya yang membuat distribusi tekanan lebih kecil, dan *body* mobil listrik proto diesel I diperoleh koefisien *drag* sebesar $C_D = 0.17$, pada *body* mobil listrik proto diesel II $C_D = 0.06$. Kemudian koefisien *lift* pada mobil listrik proto diesel I $C_L = 0.17$ dan *body* mobil listrik proto diesel II $F_L = 0.13$ pada kecepatan masing-masing setiap *body* yaitu 13 m/s. Perbedaan desain *body* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Desain *body* proto diesel I dan II
(Badrawada dkk, 2019)

Dari penelitian diatas dapat disimpulkan bahwasannya penelitian yang dilakukan oleh Dobrev, dkk (2017) menyimpulkan perbandingan bidang aliran yang diperoleh secara numerik dan eksperimental pada kendaraan mobil menunjukkan korespondasi yang baik. Kemudian penelitian yang dilakukan oleh Badrawada (2019) dengan merubah desain *body* bagian *Frontal Area* dan bagian samping lebih kecil dan ramping sehingga didapatkan nilai koefisien *drag* nya sebesar $C_D = 0.06$ pada kecepatan 13m/s, dan penelitian yang dilakukan oleh Hakim, dkk (2016) pada variasi tiga tida *body* didapatkan nilai *coefficient drag* terkecil pada *body* ke tiga sebesar $C_D = 0.037$ pada kecepatan udara 13 m/s.

2.2 Mekanika Fluida

Mekanika merupakan ilmu fisika yang mempelajari mengenai zat fluida bergerak atau diam serta gaya akibat yang ditimbulkan oleh fluida tersebut pada

batasnya. Cabang ilmu mekanika yang mempelajari benda diam disebut statika, sedangkan cabang yang mempelajari benda bergerak disebut dinamika. Subkategori mekanika fluida didefinisikan sebagai ilmu yang mempelajari perilaku fluida dalam keadaan diam (fluida statis) atau dalam gerak (fluida dinamika) (Cengel dan Cimbala, 2014).

Aliran *laminar* merupakan suatu aliran fluida yang bergerak dengan kondisi lapisan-lapisan yang membentuk garis-garis aliran dan tidak berpotongan satu sama lain. Aliran *turbulen* merupakan aliran fluida yang partikelnya-partikelnya bergerak secara acak dan tidak stabil dengan kecepatan berfluktuasi yang saling interaksi sehingga garis alir antar partikel fluidanya akan saling berpotongan. Untuk menentukan aliran fluida tersebut *laminar* atau *turbulen* dapat dilihat dari nilai bilangan *Reynold*-nya, pada *externalflow* (aliran tersebut melewati suatu *contour body* yang berada pada aliran fluida tanpa batas), (Hasugian, 2018)

Kemudian aliran fluida diklasifikasikan berdasarkan perubahan terhadap waktu yaitu aliran (*steady flow*) dan aliran (*unsteady flow*). Aliran (*steady flow*) terjadi ketika suatu fluida yang melaju pada titik manapun tidak terjadi perubahan kecepatan terhadap waktu dengan jangka waktu yang tidak terbatas dan dapat dinotasikan dengan $\frac{\partial v}{\partial t} = 0$, sedangkan aliran (*unsteady flow*) terjadi ketika kondisi kecepatan aliran berubah terhadap waktu $\frac{\partial v}{\partial t} \neq 0$ (White, 2011)

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 harga variasi tekanan dan temperatur dalam aliran dengan jumlah *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*.

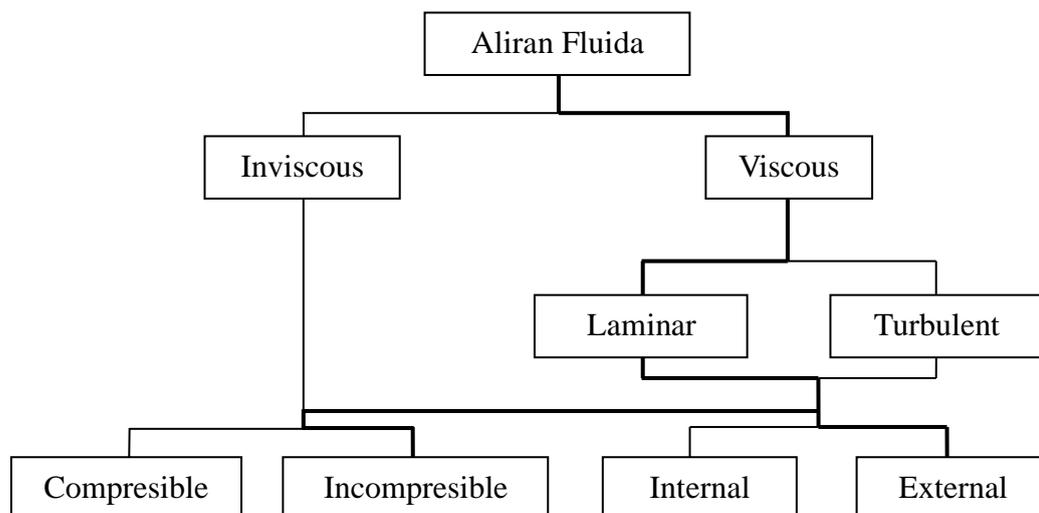
Properti lain dari udara adalah viskositas. Properti ini dikarenakan oleh adanya gesekan molekuler antar partikel-partikel fluida. Gesekan ini berhubungan dengan fluks momentum, karena adanya *gradient* kecepatan. Untuk fluida

incompressible, properti ini bergantung pada temperatur. Viskositas yang dimiliki fluida ini dapat menyebabkan terjadinya *friction drag* sehingga timbul *gradient* kecepatan pada dinding.

2.3 Sifat-sifat Fluida (udara)

Udara adalah fluida yang mempunyai kerapatan (*density*) dan kekentalan (*viscosity*). Densitas (ρ) didefinisikan sebagai massa persatuan volume. Kendaraan di jalanan biasanya berjalan atau bergerak pada kecepatan dibawah sepertiga kecepatan suara. Pada saat batas kecepatan tersebut harga variasi tekanan dan temperatur dalam aliran dengan harga *freestream* sangat kecil, maka dari itu perubahan pada densitas dapat diabaikan. Dengan demikian udara yang bergerak mengalir di sekeliling kendaraan dapat dikategorikan sebagai aliran fluida *incompressible*. Pada kondisi standar $P = 1 \text{ atm}$ dan $T = 288 \text{ K}$, nilai densitas atau $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ (Hasugian, 2018).

Viskositas disebabkan oleh gesekan molekul antara pertikel-partikel fluida. Gesekan ini berhubungan dengan fluks momentum karena *gradient* kecepatan. Untuk aliran fluida *incompressible*, properti ini bergantung pada temperatur. Pada kondisi standar viskositas $\mu = 1.7894 \times 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$ dan $\nu = 1,4607 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Viskositas yang dimiliki pada fluida ini akan menyebabkan terjadinya *friction drag* sehingga timbul gradien kecepatan pada dinding (Hasugian, 2018). Untuk klasifikasi aliran fluida dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Klasifikasi aliran fluida

2.3.1 Densitas

Densitas (ρ) atau kerapatan suatu zat merupakan jumlah/kuantitas suatu zat pada suatu unit volume yang dinyatakan dalam massa persatuan volume pada atmosfer bumi. Properti ini tergantung pada tekanan (P) dan temperatur (T). Densitas sendiri dinyatakan dalam tiga bentuk yaitu :

1. Densitas Massa

Densitas massa merupakan perbandingan antara jumlah massa dengan jumlah volume. Densitas massa sendiri dapat dirumuskan dalam bentuk persamaan (2.1).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

Dimana :

ρ = massa jenis (kg/m^3)

m = massa (kg)

V = volume (m^3)

Pada tekanan standar nilai $P = 1,01325 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ dengan nilai temperatur $T = 303,15 \text{ K}$ sehingga nilai densitas udara pada keadaan standar bernilai $\rho = 1,164 \text{ kg/m}^3$ dan untuk air adalah 1000 kg/m^3 .

2. Berat Spesifik (Berat jenis)

Berat jenis dilambangkan γ (*gamma*) didefinisikan sebagai gaya gravitasi yang bekerja terhadap massa yang terkandung dalam sebuah satuan volume zat.

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (2.2)$$

Dimana :

γ = berat spesifik (N/m^3)

ρ = massa jenis (kg/m^3)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

untuk $\gamma_{\text{udara}} = 12,07 \text{ (N/m}^3\text{)}$ kemudian $\gamma_{\text{air}} = 9,81 \times 10^3 \text{ (N/m}^3\text{)}$ dan untuk nilai $g = 9,8 \text{ (m/s}^2\text{)}$.

3. Densitas Relatif (*Spesific Grafity*)

Densitas relative disebut juga dengan *specific gravity* (SG) yaitu merupakan perbandingan antara massa jenis dan berat jenis suatu cairan terhadap massa jenis air pada temperatur dan tekanan dibawah standar (20°C, 1 atm).

$$SG = \frac{\rho_{\text{zatcair}}}{\rho_{\text{air}}} = \frac{\gamma_{\text{zatcair}}}{\gamma_{\text{air}}} \quad (2.3)$$

2.3.2 Viskositas

Viskositas atau kekentalan adalah sifat dari zat cair untuk melawan tegangan geser. Viskositas sendiri disebabkan oleh gesekan molekul antara partikel-partikel fluida. Gesekan ini berhubungan dengan fluks momentum karena *gradient* kecepatan. Untuk aliran fluida *incompressible*, properti ini bergantung pada temperatur (Hasugian, 2018).

Viskositas dinyatakan dalam dua bentuk yaitu :

1. Viskositas dinamis (μ)

Viskositas dinamis dilambangkan dengan $\mu = (\text{mu})$ merupakan perbandingan tegangan geser dengan laju perubahannya, besarnya viskositas bervariasi dan dipengaruhi oleh temperatur. Pada kondisi standar temperatur sebesar $T = 303,15 \text{ K}$ maka besar viskositas dinamikunya adalah untuk $\mu_{\text{udara}} = 1.872 \times 10^{-5} \text{ Kg/ms}$. Maka persamaan viskositas dapat ditulis pada persamaan 2.4.

$$\mu = \frac{\tau}{dv} \quad (2.4)$$

Dimana :

μ = kekentalan dinamis (Pa.s atau Ns/m^2 atau kg/ms)

τ = tegangan geser (N/m^2)

dv = gradien kecepatan

2. Viskositas kinematis (ν)

Viskositas merupakan perbandingan viskositas dinamik (μ) terhadap kerapatan massa jenis (ρ). Adapun persamaan viskositas kinematik dapat dilihat pada persamaan 2.5.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.5)$$

Dimana :

ν = kekentalan kinematis (m^2/s)

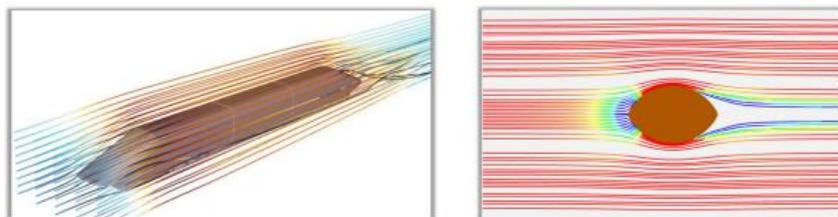
μ = kekentalan dinamis (kg/ms)

ρ = massa jenis (kg/m^3)

Dalam penerapannya kinematis ini banyak muncul, misalnya pada bilangan *Reynold* yang tanpa dimensi. Untuk ν_{udara} pada temperatur $T = 303,15 \text{ K}$ $\nu_{\text{udara}} = 1.872 \times 10^{-5} \text{ Kg}/\text{ms}$ (White, 2011).

2.4 Teori Aliran Eksternal

Aliran eksternal secara umum dapat diklasifikasikan sebagai aliran yang bergerak melalui sebuah benda yang terbenam atau benda yang bergerak dalam fluida yang diam atau bahkan sebaliknya, dimana karakteristik aliran (seperti lapisan batas) di sekitar benda dapat berkembang dan bergerak secara bebas tanpa adanya hambatan dari permukaan yang berdekatan. Salah satu bagian yang paling penting dalam mempelajari aliran eksternal adalah berupa gaya fluida yang bekerja pada benda tersebut, karena gaya tersebut mendefinisikan dinamika suatu benda yang bergerak melalui fluida (Ansys. Inc, 2020). Pada aliran eksternal dapat berupa aliran laminar atau turbulen, kompresibel atau inkompresibel. Dalam aliran eksternal akan menyebabkan timbulnya lapisan batas (*boundary layer*) pada dekat plat datar. Bentuk aliran eksternal pada suatu benda dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 *Streamlines* aliran udara pada bentuk kereta peluru dan bola (Ansys. Inc, 2020)

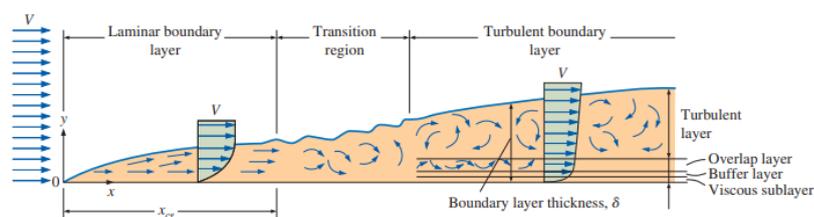
Karean adanya efek viskositas dari udara maka akan meyebabkan timbulnya *boundry layer* atau lapisan batas di sepanjang permukaan kendaraan. Sehingga timbul *gradient* kecepatan pada permukaan kendaraan. Adanya *gradient*

kecepatan menyebabkan kecepatan aliran udara pada permukaan kendaraan sangat bervariasi tergantung dari bentuk kendaraan.

2.4.1 Lapisan Batas (*Boundary Layer*)

Konsep lapisan batas merupakan konsep yang dikembangkan oleh Prandtl (1874-1953), seorang ilmuwan dari universitas Gottingen. Lapisan batas muncul pada permukaan benda karena sifat viskositas dari fluida yang cenderung menempel pada permukaan yang bersifat stationer menyebabkan aliran fluida di atasnya melambat karena interaksi berupa tumbukan antarmolekul. Kecepatan pada daerah lapisan batas meningkat secara perlahan hingga mencapai kecepatan aliran bebas (*freestream*). Diluar daerah lapisan batas, fluida dengan kecepatan aliran bebas dapat dimodelkan sebagai *inviscid* (Yusuf, 2017).

Kecepatan aliran fluida yang melewati suatu permukaan benda akan melambat jika mengenai bagian ujung depan (*leading edge*). Hal ini terjadi dikarenakan oleh efek dari tegangan geser yang besar sehingga menyebabkan partikel pada bagian permukaan benda ikut melambat karena efek viskositas. Secara umum terjadinya *boundary layer* disebabkan oleh karena *fluida* menabrak suatu kontur permukaan padat, karena melewati kontur itulah terjadi perbedaan C_p disetiap titik yang menimbulkan C_D dan C_L . Bentuk lapisan batas dapat dilihat pada Gambar 2.6.



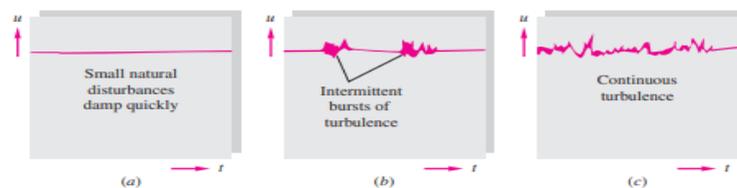
Gambar 2. 6 Lapisan batas pada plat datar
(White, 2011)

Pada Gambar 2.6 di atas menunjukkan bahwa daerah lapis batas yang dipengaruhi oleh aliran fluida yang berjalan pada plat datar. Masalah ini karena adanya perubahan kecepatan aliran udara. Saat aliran udara berdekatan dengan permukaan akan terhambat karena adanya pengaruh gesekan, sehingga kecepatannya mendekati nol. Ketika lapisan batas laminar tidak dapat bertahan

dalam keadaan *steady*, maka akan semakin tebal dan kemudian membentuk lapisan yang turbulen. Kondisi lapis batas dipengaruhi oleh tingkat kekerasan permukaan dan tingkat turbulensi aliran *freestream* (Yusuf, 2017).

2.4.2 Aliran Laminer, Transisi dan Turbulen

Dalam aliran *viscous* dapat dibedakan menjadi tiga tipe yaitu aliran laminar, aliran transisi dan aliran turbulen. Aliran laminar sendiri merupakan aliran yang partikel-partikelnya berupa zat cair atau gas bergerak secara teratur mengikuti lintasan yang saling sejajar. Aliran ini terjadi apabila kecepatan rendah atau kekentalan besar. Contoh aliran laminar dan turbulen dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 (a) aliran laminar; (b) aliran transisi; (c) aliran turbulen
(White, 2011)

Pada aliran viskos pengaruh kekentalan sangat besar sehingga dapat mengurangi gangguan yang dapat menyebabkan aliran menjadi turbulen. Dengan berkurangnya kekentalan dan bertambahnya kecepatan aliran maka daya redam terhadap gangguan akan berkurang, yang sampai pada suatu batas tertentu akan menyebabkan terjadinya perubahan aliran dari laminar ke aliran turbulen. Pada aliran turbulen gerak suatu partikel-partikelnya berupa zat atau gas tidak teratur. Aliran ini terjadi apabila kecepatan tinggi dan kekentalan zat cair atau gas kecil.

2.4.3 Bilangan *Reynolds*

Kondisi aliran *laminar* atau *turbulent* dapat dinyatakan dengan bilangan *reynolds* untuk aliran *incompressible*. *Reynolds* kritis (*critical reynold number*) merupakan aliran udara bersifat laminar yang akan berubah menjadi *turbulent*. Ukuran Panjang kendaraan, viskositas kinematik dan densitas udara pada kendaraan berpengaruh terhadap bilangan *Reynolds* (Syahputra, 2021). *Drag coefficient* untuk sebagian besar aliran eksternal terutama bergantung pada

bilangan *Reynolds* (White, 2011). Bilangan *Reynolds* dapat dirumuskan dalam persamaan 2.6.

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu} \quad (2.6)$$

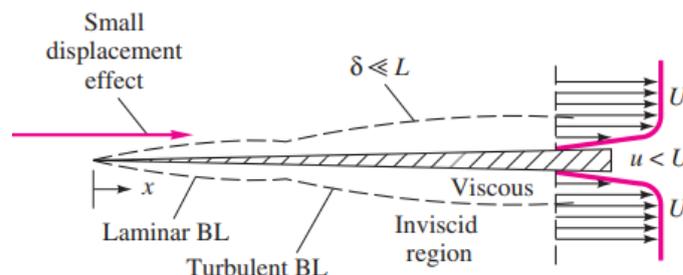
Dimana :

- Re = bilangan *reynolds*
- ρ = massa jenis (kg/m^3)
- v = kekentalan kinematis (m/s)
- μ = kekentalan dinamis (kg/ms)
- L = panjang karakteristik kendaraan (m)

Untuk menentukan suatu aliran fluida tersebut *laminar* atau *turbulen* dapat dilihat dari nilai bilangan *Reynold*-nya, pada *externalflow* (aliran tersebut melewati suatu *contour body* yang berada pada aliran fluida tanpa batas), pada aliran fluida *laminar* bilangan *reynold*-nya $\leq 5 \times 10^5$, dan pada aliran fluida *turbulen* bilangan *reynold*-nya $> 5 \times 10^5$.

2.4.4 Aliran *Viscous* dan *Inviscous*

Pada dasarnya aliran terbagi menjadi dua jenis yaitu aliran *viscous* dan aliran *inviscous*. Pada aliran *inviscous* adalah aliran yang nilai dari koefisien viskositasnya diasumsikan mendekati nol ($\mu = 0$). Sedangkan untuk aliran *viscous*, sebaliknya yaitu memiliki viskositas yang ditandai dengan munculnya efek gesekan yang signifikan. Efek dari viskositasnya akan mengikuti tegangan geser antara partikel fluida dengan permukaan padat yang dilaluinya. Aliran tersebut biasanya berada dekat dengan permukaan padat. Bentuk aliran *viscous* dan *inviscous* dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Perbedaan antara fluida ideal dan *viscous* (White, 2011)

2.4.5 Aliran *Incompressible* dan Aliran *Compressible*

Aliran tak termampatkan (*incompressible*) adalah aliran dimana densitas atau massa jenis fluidanya konstan $\rho = \text{constant}$, dan viskositas atau kekentalan fluidanya konstan $\mu = \text{constant}$. Aliran ini terjadi jika fluida yang mengalir tidak mengalami perubahan volume (massa jenis) ketika saat ditekan, maka aliran tersebut dikatakan *incompressible*. Hampir semua zat cair yang bergerak dianggap sebagai aliran *incompressible*. Bahkan, gas yang memiliki sifat sangat termampatkan (*compressible*) pada kondisi tertentu dapat mengalami perubahan massa jenis yang dapat diabaikan. Pada kondisi ini aliran gas dianggap sebagai aliran *incompressible*. Sebagai contoh adalah pada penerbangan dengan kecepatan yang jauh lebih kecil dari pada kecepatan bunyi di udara (340m/s). Gerak relatif udara terhadap sayap pesawat terbang dapat dianggap sebagai aliran *compressible*, (Cengel dan Cimbala, 2014).

Aliran *incompressible* salah satu pendekatan yang digunakan dalam derivasi persamaan Bernoulli $\rho = \text{constant}$ sehingga alirannya tidak dapat dimampatkan. Pada kondisi ini di isi oleh cairan dan juga gas di angka bilangan Mach ≥ 0.3 . karena efek kompresibilitas dan variasi kepadatan gas maka dapat diabaikan pada kecepatan yang relatif rendah, (Cengel dan Cimbala, 2014).

Bentuk persamaan Bernoulli dapat dilihat pada persamaan 2.7.

$$p + \frac{1}{2}\rho V^2 + \rho gh = \text{konstan} \quad (2.7)$$

Jika diperhatikan $\frac{1}{2}\rho V^2$ merupakan energi kinetik, sedangkan $EK = \frac{1}{2}mv^2$ dan ρgh merupakan energi potensial $EP = mgh$. Persamaan bernoulli menyatakan bahwa jumlah dari kinetik, potensial dan aliran energi (semua persatuan massa) suatu fluida partikelnya *constant* di sepanjang *streamline* selama *steady* flow. Oleh karena itu persamaan bernoulli untuk aliran *incompressible* dapat dilihat pada persamaan 2.8.

$$\frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz = \text{constant} \quad (2.8)$$

Dimana :

- p = tekanan fluida
- ρ = densitas fluida (kg/m^3)

- g = percepatan gravitasi bumi
 z = ketinggian relative terhadap suatu referensi
 h = ketinggian relative terhadap suatu referensi
 V = kecepatan fluida

Ini adalah persamaan bernoulli yang umum digunakan dalam mekanika fluida untuk aliran stabil (*steady*) dan tidak dapat dimampatkan (*incompressible*) sepanjang garis lurus (*streamline*) di daerah aliran yang tidak kental (*inviscid*). Persamaan bernoulli menyatakan bahwa jumlah dari kinetik, potensial dan aliran energi (semua persatuan massa) suatu fluida partikelnya *constant* di sepanjang *streamline* selama *steady flow*, (Cengel dan Cimbala, 2014).

Sedangkan aliran *compressible* adalah dimana densitas atau massa jenis fluidanya berubah di dalam medan aliran. Aliran ini terjadi pada bilangan *mach* > 0.3 dan aliran *incompressible* terjadi pada bilangan *mach* < 0.3 . Persamaan untuk aliran dapat dilihat pada persamaan 2.9.

$$\frac{V^2}{2} + \phi + w \quad (2.9)$$

Dimana :

- V = kecepatan fluida
 ϕ = energi potensial gravitasi per satuan massa
 w = entalpi fluida per satuan massa

2.4.6 *Steady Flow dan Unsteady Flow*

Aliran fluida yang stabil (*steady*) terjadi jika kondisi (kecepatan, tekanan dan penampang) tidak terpengaruh oleh perubahan waktu. Maka dengan demikian ditinjau pada titik yang sama, kecepatan aliran selalu konstan dari waktu ke waktu. Contoh dalam aliran *steady* adalah arus air yang mengalir dengan tenang (laju aliran rendah). (Cengel dan Cimbala, 2014). Maka persamaan untuk fluida *steady* dapat dituliskan pada persamaan 2.7.

$$\frac{\partial P}{\partial t} = 0 \quad (2.10)$$

Dimana :

- ∂P = perubahan komponen aliran

∂t = perubahan terhadap waktu

p = komponen aliran (viskositas, tekanan, kekentalan)

Sedangkan untuk aliran fluida *unsteady* (tak stabil) terjadi jika kecepatannya terpengaruh oleh perubahan waktu. Dengan demikian jika ditinjau pada titik yang sama, kecepatan aliran berubah-ubah dari waktu ke waktu (Cengel dan Cimbala, 2014). Maka persamaan untuk fluida *unsteady* dapat dituliskan pada persamaan 2.8.

$$\frac{\partial v}{\partial t} \neq 0 \quad (2.11)$$

Dimana :

∂v = perubahan kecepatan aliran

∂t = perubahan terhadap waktu

v = kecepatan udara

2.5 Kecepatan Suara (*Speed of Sound*)

Kecepatan suara merupakan jarak yang ditempuh per satuan waktu yang merambat melalui media elastis. Variasi kecepatan suara suatu material tergantung pada temperatur. Dalam kondisi temperatur konstan yaitu 20 °C (293 K) pada tekanan 1 atm nilai kecepatan suaranya adalah 343,2 m/s (1.126 ft/s; 1.26 km/h). Dalam suatu dinamika fluida, kecepatan suara dalam fluida (gas atau cair) digunakan sebagai ukuran relative untuk kecepatan pada sebuah benda yang bergerak. Rasio antara kecepatan pada benda terhadap suara dalam fluida disebut bilang Mach. Benda yang bergerak dengan kecepatan lebih besar dari Mach 1 disebut bergerak dengan kecepatan supersonik. Untuk mencari nilai kecepatan suara dapat menggunakan rumus yang dituliskan pada persamaan 2.12.

$$c = \sqrt{KRT} \quad (2.12)$$

Dimana :

c = kecepatan suara (m/s)

K = rasio panas

R = konstanta gas udara (KJ/Kg.K)

T = temperatur

Untuk konstanta gas spesifik, untuk udara pada kondisi standar, $R = 287$ J/(kg · K) = 1716 (ft · lb) dan untuk nilai rasio panas pada temperatur ideal 30 °C adalah 1,4 (Anderson, 2007).

2.6 *Mach Number*

Bilangan *mach* merupakan bilangan parameter dominan yang digunakan dalam menganalisis aliran kompresibel, dengan berbagai efek pada besar nilainya. Bilangan *mach* bergantung pada kecepatan suara (*peed of sound*) dan kecepatan aliran udara (*velocity*). Maka dari itu nilai *mach number* pada pesawat pada kecepatan konstan di udara bisa berbeda karena adanya perbedaan suhu temperatur di udara. Perbedaan *mach number* pada temperatur dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2. 9 Perbedaan *mach number* pada temperatur yang berbeda dengan *velocity* yang sama (Cengel dan Cimbala, 2014)

Bilangan *mach number* ini dinamai dari fisikawan yaitu *Auria Ernst Mach* (1838 - 1916). Untuk dapat mengetahui nilai dari bilangan *mach number* dapat menggunakan persamaan 2.13. (Cengel dan Cimbala, 2014) :

$$Ma = \frac{V}{c} \quad (2.13)$$

Dimana :

- Ma = bilangan mach
- v = kecepatan aliran (m/s)
- c = kecepatan suara (m/s)

Para ahli terdahulu terutama membuat indikator perbedaan antara berbagai rentang bilangan *mach number* dan klasifikasi dibidang aerodinamika yaitu sebagai berikut :

1. $Ma < 0,3$: aliran *incompressible*, di mana efek kerapatan (*density*) diabaikan.
2. $0,3 < Ma < 0,8$: aliran *subsonic*, di mana efek kerapatan (*density*) penting tapi gelombang kejut yang muncul kecil.
3. $0,8 < Ma < 1,2$: aliran *transonic*, di mana *wake* pertama kali muncul, membagi wilayah *subsonic*, dan wilayah *supersonic* penerbangan di wilayah *transonic* sulit karena karakter campuran medan aliran.
4. $1,2 < Ma < 3,0$: aliran *supersonic*, dimana terjadi *wake* namun tidak ada daerah *subsonic*.
5. $3,0 < Ma$: aliran *hypersonic*, dimana *wake* dan aliran lainnya mengalami perubahan yang sangat kuat.

Nilai numerik yang tercantum di atas merupakan paduan kasar. Kelima kategori aliran sesuai untuk aliran eksternal aerodinamis dalam kecepatan tinggi (White, 1998).

2.7 Dasar Aerodinamika

Aerodinamika merupakan salah satu cabang dinamika yang berhubungan dengan udara. Terutama ketika udara tersebut melewati suatu objek atau benda padat. Salah satu aspek yang perlu diperhatikan dalam perancangan mobil adalah aerodinamika. Ketika objek bergerak melalui udara, terdapat gaya yang dihasilkan oleh gerakan relatif antara udara dan permukaan *body*. Studi tentang gaya-gaya yang dihasilkan oleh udara aerodinamika adalah ilmu cabang dari fisika yang mempelajari tentang sifat benda karena adanya pengaruh aliran udara (angin). Adapun faktor yang menjadi pengaruh aerodinamika yaitu temperatur (suhu udara), tekanan udara, kecepatan udara dan kerapatan udara serta yang perlu sangat di perhatikan adalah bagian depan *body*. Pada bagian depan ini yang akan membelah angin saat kendaraan melaju dengan kecepatan tinggi (Wirawan dkk, 2016).

2.7.1 Prinsip Dasar Aerodinamika

Prinsip aerodinamika adalah saat sebuah objek bergerak atau berjalan melewati udara akan terjadi gaya yang diperoleh dari gerakan relatif antara udara

dengan permukaan *body*, sehingga desain pada permukaan bodi dibuat halus agar dapat meminimalisir hambatan atau mempermudah laju aliran fluida ke bagian belakang *body* kendaraan. Berdasarkan lingkungan alirannya, Aerodinamika dapat di bagi menjadi dua macam yaitu aerodinamika eksternal dan aerodinamika internal. Aerodinamika eksternal merupakan suatu aliran yang terjadi diluar benda padat dengan berbagai bentuk, Sedangkan aerodinamika internal merupakan aliran dalam bagian benda padat. (Sultoni, 2019).

Salah satu aspek dalam perancangan kendaraan terutama pada *body* kendaraan adalah aerodinamika. Ketika objek atau benda padat bergerak melalui udara dengan kecepatan tinggi, maka terdapat gaya yang dihasilkan oleh gerakan relatif antara udara dan permukaan *body* kendaraan (Anderson, 2007). Penyebab utama dari timbulnya gaya-gaya aerodinamis pada kendaraan adalah:

1. Adanya distribusi tekanan pada permukaan *body* kendaraan yang akan bekerja pada arah normal terhadap kendaraan.
2. Adanya distribusi tegangan geser pada permukaan *body* kendaraan yang akan bekerja pada arah tangensial terhadap permukaan kendaraan.

Pengaruh aerodinamis pada kendaraan akan menghasilkan gaya-gaya yang terjadi pada kendaraan itu sendiri. Adapun gaya yang terjadi pada kendaraan tersebut berupa gaya angkat (*lift force*), gaya hambat aerodinamis (*drag force*), gaya samping aerodinamis (*side force*) dan gaya akibat pusaran udara (*turbulence force*). Keempat gaya tersebut saling berkaitan satu dengan yang lainnya dalam menciptakan gaya aerodinamis dan sangat dipengaruhi oleh *body* kendaraan.

2.7.2 Aerodinamis Pada Kendaraan Mobil

Aerodinamika untuk mobil menjadi aspek yang sangat perlu diperhatikan dalam merancang *body* mobil, sehingga mobil yang dihasilkan dapat mengoptimalkan *engine power* untuk menjadi daya dorong dan traksi mobil. Mobil yang memiliki *body* yang aerodinamis memiliki banyak hal yang mempengaruhinya, salah satunya adalah besaran hambatan atau resistensi dari suatu obyek dalam hal ini adalah udara yang melaluinya yang diukur dengan besaran yang dinyatakan dengan nilai *coeffisient drag* (Cd), dapat dilihat pada Gambar 2.10.

TABLE 11-2 (Continued)		
Person (average)  Standing: $C_D A = 9 \text{ ft}^2 = 0.84 \text{ m}^2$ Sitting: $C_D A = 6 \text{ ft}^2 = 0.56 \text{ m}^2$	Bikes  Upright: $A = 5.5 \text{ ft}^2 = 0.51 \text{ m}^2$ $C_D = 1.1$ Racing: $A = 3.9 \text{ ft}^2 = 0.36 \text{ m}^2$ $C_D = 0.9$	$C_D = 0.9$ $C_D = 0.5$  Drafting: $A = 3.9 \text{ ft}^2 = 0.36 \text{ m}^2$ $C_D = 0.50$  With fairing: $A = 5.0 \text{ ft}^2 = 0.46 \text{ m}^2$ $C_D = 0.12$
Semitrailer, $A = \text{frontal area}$  Without fairing: $C_D = 0.96$ With fairing: $C_D = 0.76$	Automotive, $A = \text{frontal area}$  Minivan: $C_D = 0.4$ Passenger car or sports car: $C_D = 0.3$	High-rise buildings, $A = \text{frontal area}$  $C_D = 1.0 \text{ to } 1.4$

Gambar 2. 10 Bentuk *Frontal Area* terhadap C_D
(White, 2011)

Seperti yang dikutip penelitian oleh Badrawada, (2019) semakin kecil nilai koefisien *drag* maka semakin aerodinamis sebuah *body* kendaraan tersebut. Jika diperhatikan terdapat dua gaya yang berpengaruh terhadap kendaraan mobil yang melaju dengan kecepatan konstan di medan yang lurus. Gaya tersebut merupakan tahanan perlawanan rolling (*rolling resistance*) dan aerodinamika. Beban jalan (*road load*) merupakan hasil dari perhitungan antara tahanan aerodinamika dan perlawanan *rolling* tersebut. Beban jalan tersebut kemudian membuat kinerja mesin secara terus menerus harus bekerja untuk mengatasinya (Hafitsah, 2016).

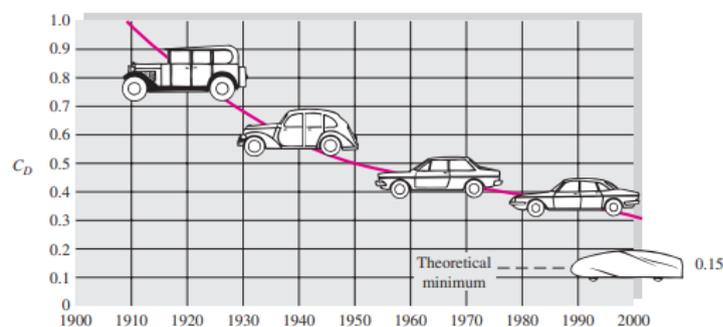
Selain hal tersebut C_D juga sangat berpengaruh terhadap kecepatan kendaraan, seperti yang dikutip dari penelitian Wulandari (2010), koefisien *drag* udara berpengaruh secara signifikan terhadap kecepatan kendaraan. Dengan pernyataan diatas untuk meningkatkan aerodinamis dari *body* kendaraan dapat dilakukan dengan cara menurunkan Nilai *Coefficient of drag* (C_d) dari kendaraan tersebut.

2.8 Gaya Aerodinamika

Gaya aerodinamika merupakan gaya-gaya yang diterima oleh satu *body* akibat fluida yang mengalir. Dengan adanya fluida yang mengalir maka mendapat gaya tekan dan geser. Akibatnya gaya-gaya tersebut membentuk resultan gaya yang disebut aerodinamika. Untuk resultan yang searah dengan aliran disebut gaya *drag*, sedangkan gaya yang tegak lurus aliran adalah gaya *lift*, (Hasugian, 2018).

2.8.1 Gaya Hambat (*Drag Force*)

Gaya hambat merupakan gaya yang bekerja dalam arah horizontal (paralel terhadap aliran) dan berlawanan arah dengan arah gerak maju kendaraan. Nilai hambatan aerodinamika dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu: model *body* kendaraan, luas mdaerah penampang depan (*Frontal Area*), kecepatan gerak juga kecepatan medium yang melewatinya. Besarnya gaya hambat (*drag*) untuk setiap bentuk kendaraan berbeda satu dengan yang lainnya, dan ini tergantung pada faktor koefisien *drag* atau C_D (Wirawan dkk, 2016). Bentuk *Bentuk* kendaraan mobil terhadap nilai C_D dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Bentuk kendaraan mobil terhadap nilai C_D .
(White, 2011)

Secara umum perumusan gaya hambat angin dapat dituliskan dalam persamaan 2.14.

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A_f \quad (2.14)$$

Dimana :

F_D = gaya hambat

C_D = koefisien gaya hambat

A_f = luas frontal kendaraan (m^2)

ρ = *density* udara (kg/m^3)

V_a = kecepatan relative angin kendaraan (m/s)

Coefficient drag (C_D) adalah koefisien hambatan yang menunjukkan seberapa besar suatu benda dapat melawan hambatan fluida. Semakin kecil nilai koefisien *drag* maka akan semakin mudah suatu benda untuk melawan hambatan fluidanya. Maka untuk C_D dapat di ketehai persamaannya seperti dibawah ini

pada persamaan 2.8. Secara umum persamaan koefisien gaya hambat dapat dilihat dibawah ini, yaitu:

$$\Sigma^F \text{ aksi} = \Sigma^F \text{ reaksi}$$

$$\Sigma^F \text{ udara} = \Sigma^F \text{ drag}$$

$$\Sigma^F \text{ udara} = - \Sigma^F \text{ drag}$$

Sehingga menghasilkan perasmaan koefisien *drag* yang dituliskan dalam persamaan 2.15.

$$C_D = \frac{2F_d}{\rho V^2 A} \quad (2.15)$$

Dimana :

C_D = Koefisien *Drag*

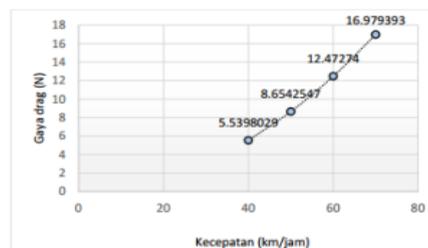
F_D = Gaya Hambat (*force drag*) (N)

ρ = Massa jenis fluida (Kg/m^3)

V = Kecepatan relatif (m/s)

A = Luas permukaan (*surface area*) (m^2)

Hubungan antara kecepatan dengan koefisien hambat dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2. 12 Hubungan kecepatan kendaraan dengan koefisien *drag* (Jhon, 2017)

Dari persamaan dan Gambar di atas dapat disimpulkan bahwa saat kendaraan melaju dengan kecepatan kencang dan semakin cepat maka semakin besar juga hambatan aerodinamika nya. Tingginga konsumsi bahan bakar juga dipengaruhi oleh besarnya gaya hambat yang terjadi, hal ini dikarenakan tenaga yang diperlukan mesin dalam menjalankan kendaraan dan dalam berakselerasi akan semakin kecil, maka oleh karena itu kecil nya nilai pada gaya hambat yang bekerja pada sebuah kendaraan yang berlawanan arah dengan laju kendaraan sehingga kinerja mesin semakin optimal. Berikut ini dapat dilihat klasifikasi tipe mobil berdasarkan koefisien *drag* pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Klasifikasi tipe mobil berdasarkan koefisien *drag* (Wirawan, 2016)

No	Jenis Kendaraan	Koefisien Hambat (C_D)
1	Mobil Penumpang	0.3 – 0.6
2	Mobil <i>convertible</i>	0.4 – 0.65
3	Mobil balap	0.23 – 0.3
4	Bus	0.6 – 0.7
5	Truk	0.8 – 1.4
6	Traktor - trailer	0.8 – 1.3
7	Sepeda motor dan pengemudi	1.8

(Wirawan, 2016)

Dari Tabel 2.1 diatas menunjukkan bahwa nilai koefisien hambatan pada setiap kendaraan berbeda-beda dan bervariasi. Hal ini yang menyebabkan nilai koefisien *drag* dari satu jenis mobil ke jenis mobil lainnya adalah bentuk desain *body* mobil itu sendiri, seperti contoh nilai koefisien *drag* pada kendaraan mobil jenis truk berbeda dan lebih besar dibandingkan dengan jenis kendaraan mobil balap. Hal ini dikarenakan bentuk dari truk yang menyerupai bentuk *long cylinder* sedangkan pada bentuk mobil balap memiliki *body* yang *streamline*.

Besarnya nilai koefisien *drag* juga dapat dipengaruhi oleh *body* depan (*Frontal Area*) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1. *Frontal Area* pada model *body* kendaraan akan berpengaruh terhadap perjumlahan nilai dari koefisien *drag* yang dihasilkan, jadi dapat disimpulkan bahwa kecilnya luas *body* depan (*Frontal Area*) maka semakin kecil juga nilai koefisien *drag* yang diperoleh dan begitupun sebaliknya.

2.8.2 Gaya Angkat (*Lift Force*)

Gaya angkat (*lift force*) merupakan suatu gaya yang disebabkan oleh adanya efek bernauli, ketika fluida bergerak cepat maka tekanan yang timbul akan semakin kecil. Maka kecepatan fluida pada permukaan atas benda akan lebih cepat dibandingkan dengan kecepatan fluida yang di bawah permukaan benda. Sehingga menghasilkan perbedaan tekanan pada sebuah benda antar permukaan atas dan permukaan bawah yang dimana tekanan pada permukaan atas lebih kecil di bandingkan dengan permukaan bawah. Dengan adanya perbedaan tekanan ini

meyebabkan timbulnya gaya angkat pada benda. Secara umum persamaan gaya angkat dapat dirumuskan dalam persamaan 2.16.

$$F_L = \frac{1}{2} C_L \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A \quad (2.16)$$

Dimana :

- F_L = gaya angkat (newton)
- C_L = koefisien lift
- V = kecepatan relatif antara kendaraan dengan udara (m/s)
- ρ = massa jenis udara (kg/m^3)
- A = luas area (m^2)

Untuk menentukan nilai koefisien *lift* (C_L) dapat menggunakan persamaan 2.17.

$$C_L = \frac{2F_D}{\rho V^2 A} \quad (2.17)$$

Dimana :

- C_L = Koefisien *Drag*
- F_D = Gaya Hambat (*force drag*) (N)
- ρ = Massa jenis fluida (Kg/m^3)
- V = Kecepatan relatif (m/s)
- A = Luas permukaan (*surface area*) (m^2)

Faktor lain adalah kekasaran bagian permukaan bawah kendaraan yang disebabkan oleh profil mesin dan komponen lain yang memperlambat aliran dibawah sehingga memperbesar tekanan aliran permukaan bawah. Karena itu tekanan yang bekerja pada bagian bawah kendaraan secara umum lebih besar dari tekanan yang bekerja pada bagian atas kendaraan sehingga menimbulkan terbentuknya gaya angkat karena adanya desakan aliran udara dari permukaan bawah ke permukaan atas kendaraan.

2.8.3 Gaya Dorong Bawah (*Down Force*)

Down Force merupakan gaya dorong ke bawah yang diciptakan oleh karakteristik aerodinamik kendaraan. Tujuan *down force* dalam mobil balap adalah memungkinkan mobil melaju lebih cepat saat melewati tikungan dengan

gaya vertical kebawah pada ban, sehingga menciptakan cengkeraman yang kuat. *Down force* dapat ditingkatkan dengan menambahkan perangkat aerodinamis yaitu seperti *wings, bodywork, diffusers*. Persamaan *down force* dapat dilihat pada persamaan 2.10 dibawah ini :

$$F_L = \frac{1}{2} \rho \cdot V^2 \cdot A \cdot C_L \quad (2.18)$$

Dimana :

F_L = gaya angkat (N)

C_L = koefisien lift

V = kecepatan relatif antara kendaraan dengan udara (m/s)

ρ = massa jenis udara (kg/m³)

A = luar area (m²)

2.8.4 Gaya Samping (*Side Force*)

ketika kendaraan bergerak dalam keadaan udara diam (tidak ada angin) atau arah angin sejajar dengan arah kendaraan tidak akan timbul gaya samping, timbulnya gaya samping akibat adanya gerakan angin yang tidak sejajar dengan arah gerak mobil sehingga akan membentuk sudut tertentu terhadap lintasan mobil. Gaya samping yang bekerja dalam arah horisontal dan transversal sehingga bersifat mendorong mobil ke samping. Pada gaya samping ini juga terjadi pada saat kondisi mobil berbelok. *Body* mobil yang aerodinamis akan mengeliminir terjadinya gaya samping, sehingga stabilitas pada kendaraan mobil terkendali dengan baik. Adapun persamaan gaya samping dapat dilihat pada persamaan 2.3 dibawah ini:

$$F_S = \frac{1}{2} C_S \cdot \rho \cdot V_a^2 \cdot A_F \cdot \beta_a \quad (2.19)$$

Dimana :

F_S = gaya angkat (newton)

C_S = koefisien gaya samping

V = kecepatan relatif antara kendaraan dengan udara (m/s)

ρ = massa jenis udara (kg/m³)

A_F = area frontal (m)

β_a = sudut seranga angin

2.9 Bagian-Bagian Aerodinamika

Teori aerodinamika pada kinerja kendaraan atau laju kendaraan tidak lain dipengaruhi oleh bagian-bagian komponen yang ada pada kendaraan. komponen tersebut dirancang dan di desain sebaik mungkin demi kualitas dan keamanan pengguna kendaraan serta meningkatkan kinerja kendaraan. Adapun bagian-bagian aerodinamika pada kendaraan ialah sebagai berikut:

1. *Spoiler*

Spoiler merupakan komponen pada mobil yang dapat mempengaruhi aerodinamika kendaraan. Pada umumnya *spoiler* terdapat dua jenis yaitu *spoiler* depan dan *spoiler* belakang. *Spoiler* berfungsi menambah *downforce* pada mobil sehingga mengurangi gaya angkat yang timbul akibat kecepatan tinggi. Selain itu spoiler depan juga berfungsi untuk menjaga keadaan ban agar tetap menempel kuat pada badan jalan, sehingga pada kecepatan tinggi kondisi kendaraan tidak melayang dan akan tetap dalam keadaan stabil. Sedangkan spoiler belakang untuk menghalangi gaya *lift up* yang terjadi.

2. *wings*

wings atau sayap dalam aerodinamika kendaraan memiliki fungsi untuk mengontrol datangnya angin yang melewati kendaraan pada saat kendaraan melaju dengan kecepatan tinggi. Secara umum fungsi *wings* hampir sama dengan spoiler yaitu untuk menghasilkan *downforce*. Tetapi penggunaan wings idealnya untuk kendaraan-kendaraan performa tinggi.

3. *Deflector*

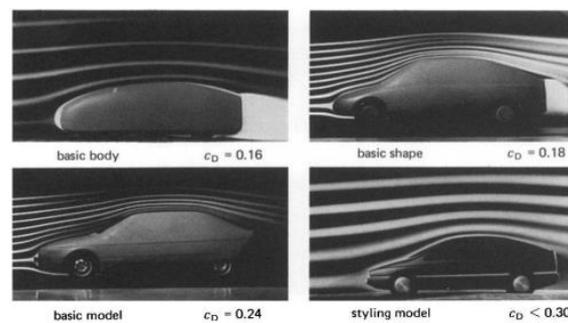
Deflector pada sebuah kendaraan berfungsi untuk menyalurkan udara yang menerpa bagian depan kendaraan pertama kali dan membuat aliran angin tersebut menjadi terarah keluar dan membuat kendaraan menjadi stabil pada saat kendaraan melaju dengan kecepatan tinggi.

4. *Side Skirt*

Fungsi dari *side skirt* pada kendaraan adalah untuk mengurangi aliran udara yang masuk akibat kecepatan mobil yang tinggi dan untuk menyelaraskan posisi gerak kendaraan saat melaju.

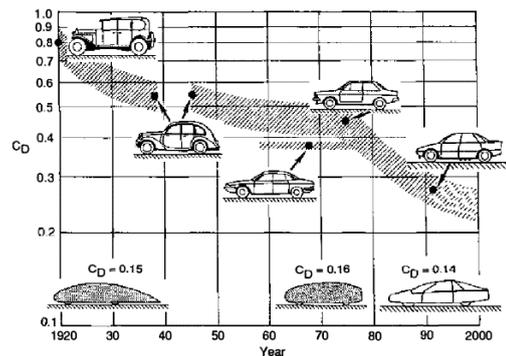
2.10 Pengaruh Bentuk *Body*

Dalam perkembangannya bentuk *body* dari mobil sangat beraneka ragam baik mobil yang dijual untuk masyarakat umum maupun yang tidak seperti mobil balap. Berbagai eksperimen dan penelitian yang telah dilakukan oleh para ahli dibidang aerodinamika dalam mengembangkan bentuk *body* dari kendaraan yang bertujuan untuk mengurangi nilai koefisien *drag*. Koefisien *drag* yang rendah dari *body* kendaraan akan mengurangi kinerja mesin untuk melawan gaya hambat tersebut dan penggunaan bahan bakar lebih hemat. Pengaruh bentuk *body* terhadap nilai koefisien hambat dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2. 13 Bentuk *body* terhadap dan nilai koefisien hambat (Hucho dan Sovran, 1990)

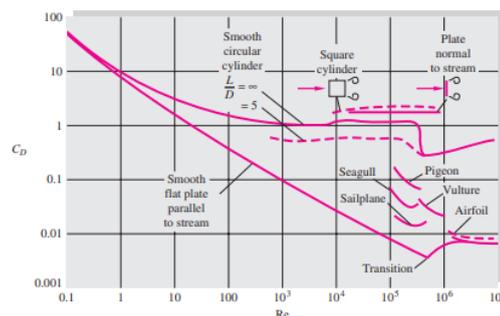
Analisa yang telah dilakukan dengan berbagai ahli aerodinamika terhadap bentuk *body* kendaraan yang telah dilakukan dilakukan dengan riset pengujian terhadap berbagai jenis komponen *body* kendaraan serta pengaruhnya terhadap beban angin yang diterima *body*. Dari Gambar 2.15 dapat diketahui gaya hambat pada kendaraan dengan beberapa macam bentuk *body* yang telah diteliti sebelumnya. Dari tahun ke tahun bentuk kendaraan mengarah pada penurunan koefisien *drag* aerodinamika (C_D) tanpa mengurangi keindahan dari kendaraan itu sendiri. Hal ini dilakukan untuk menunjang kinerja kendaraan ketika melaju di jalan dan melakukan efisiensi penggunaan bahan bakar (Yusuf, 2017). Bentuk perkembangan *body* dari tahun ke tahun dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2. 14 Perkembangan bentuk *body* kendaraan dari tahun ke tahun dan pengaruhnya terhadap nilai gaya hambat (Hucho dan Sovran, 1990)

2.10.1 Koefisien Hambat Berbagai Bentuk Kendaraan

Dari tahun ke tahun model kendaraan mengarah pada penurunan koefisien hambat aerodinamika (C_D) dan tentunya juga tidak mengurangi keindahan dari kendaraan. Koefisien *drag* dari silinder dan berbagai macam bentuk dasar lainnya dapat dilihat dari grafik Gambar 2.15.



Gambar 2. 15 Koefisien *drag* untuk silinder dan bentuk dasar lainnya (White, 2011)

2.11 Computational Fluid Dynamics (CFD)

Computational Fluid Dynamic (CFD) atau dinamika aliran fluida secara komputasi adalah analisis sistem untuk memprediksi fenomena seperti aliran fluida, perpindahan panas, dan fenomena reaksi kimia yang menggunakan perangkat lunak komputer dengan menerapkan kondisi nyata di lapangan. CFD ini telah digunakan untuk berbagai industri menganalisis desain dari sebuah produk yang akan di produksi.

Simulasi menggunakan CFD menghasilkan parameter-parameter penting seperti tekanan, suhu, kecepatan dan jalur aliran massa (*mass flow rate*). Dalam Analisa simulasi menggunakan CFD diperlukan pemahaman dan pengetahuan

dasar bidang mekanika fluida untuk interpretasi hasil-hasil simulasi. Dalam pengembangan teknik CFD memiliki investasi yang cukup besar tetapi tidak sebesar dibandingkan harga sejumlah fasilitas yang digunakan untuk pengujian secara eksperimen seperti *wind tunnel*. Selain itu CFD memiliki kekurangan seperti masih terdapat *error* dalam proses analisis nya.

Dalam melakukan simulasi dengan menggunakan CFD, terdapat tiga prosedur yang harus dilaksanakan, bisa dilihat pada Tabel 2.2.

<i>Pre-processing</i> Pendefinisian Masalah	<i>Processing</i> Menyelesaikan Persamaan Numerik	<i>Post-processing</i> Visualisasi dari Hasil Simulasi
1. Pembuatan geometri 2. Pembuatan <i>meshing</i> 3. Pengaturan properti <i>fluid</i> 4. Penentuan kondisi batas	1. Pengaturan skema diskritisasi 2. Pengaturan algoritma penyelesaian 3. Kriteria konvergensi	1. Analisis data hasil 2. Visualisasi data hasil

a. *Preprocessing*

Pada tahap ini semua data dimasukkan, yaitu terkait pendefinisian domain serta kondisi batas (*Boundary Condition*). Pada tahap ini dilakukan pembuatan geometri dari benda yang akan disimulasikan dengan menggunakan berbagai *Software CAD* seperti *Software Solidworks*, *Autodesk Inventor* dan *Autodesk fusion 360*. Setelah geometri selesai dibuat, selanjutnya dilakukan proses *meshing* (membagi geometri menjadi kontrol volume kecil). Semakin halus proses *meshing*, maka hasilnya akan semakin baik, namun dengan *meshing* yang semakin kecil dan banyak akan membutuhkan proses komputasi yang cukup berat.

b. *Processing*

Pada tahap ini dilakukan perhitungan data masukan dengan persamaan yang terlibat secara iterasi. Iterasi dilakukan hingga diperoleh nilai *error* terkecil dan setelah didapatkan hasil yang konvergen. Pada tahap ini yang perlu dikondisikan adalah bentuk aliran, jenis material yang digunakan, dan kondisi awal pada proses *inlet* dan *outlet* dari fluida. Setelah semua kondisi telah dipastikan sesuai dengan kondisi real alat maka dilakukan proses

penghitungan dengan menjalankan simulasi. Maka dalam proses simulasi perlu menganalisa data yang akan digunakan sehingga simulasi yang akan dijalankan akan memberikan hasil yang mendekati kenyataan dengan baik.

c. *Postprocessing*

Pada tahap terakhir ini, merupakan hasil perhitungan simulasi yang kemudian diinterpretasikan ke dalam Gambar dan grafik bahkan animasi, pada dengan pola warna tertentu. *ANSYS* (*visualization* dan *treatment* data).

2.12 *Ansys workbench 2023 Student Verscion*

Ansys workbench (meja kerja *Ansys*) adalah *platform* simulai terintegrasi yang mencakup berbagai sistem di dalam *toolbox* termasuk *analysis systems*, *component systems*, *custom systems*, dan *exploration design*. *Ansys* sendiri sudah terlisensi sehingga bisa dipergunakan oleh para *engineer* untuk menyelesaikan kasus masalah secara simulasi. *System toolbox* pada *Ansys* dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 *Available systems in Ansys workbench toolbox*

No	<i>Analysis Systems</i>	<i>Component Systems</i>	<i>Custom Systems</i>	<i>Design Exploration</i>
1	<i>Design Assessment</i>	<i>ACP (Post)</i>	<i>FSI: Fluid Flow (CFX)</i> <i>>Static Structural</i>	<i>Direct Optimization</i>
2	<i>Eigenvalue Buckling</i>	<i>ACP (Pre)</i>	<i>FSI: Fluid Flow (FLUENT)</i> <i>>Static Structural</i>	<i>Parameters Correlation</i>
3	<i>Electric</i>	<i>Autodyn</i>	<i>Pre-Stress Modal</i>	<i>Response Surface</i>
4	<i>Explicit Dynamics</i>	<i>BladeGen</i>	<i>Random Vibration</i>	<i>Response Surface Optimization</i>
5	<i>Fluid Flow (CFX)</i>	<i>CFX</i>	<i>Response Spectrum</i>	<i>ROM Builder</i>
6	<i>Fluid Flow (Fluent)</i>	<i>Engineering Data</i>	<i>Thermal-Stress</i>	<i>Six Sigma Analysis</i>
7	<i>Harmonic Acoustics</i>	<i>External Data</i>		
8	<i>Harmonic Response</i>	<i>External Model</i>		
9	<i>IC Engine (Fluent)</i>	<i>Fluent</i>		
10	<i>IC Engine (Forte)</i>	<i>Fluent (with Fluent Meshing)</i>		
11	<i>Magnetostatic</i>	<i>Forte</i>		
12	<i>Modal</i>	<i>Geometry</i>		
13	<i>Modal Acoustics</i>	<i>Mechanical APDL</i>		
14	<i>Random Vibration</i>	<i>Mechanical Model</i>		
15	<i>Response Spectrum</i>	<i>Mesh</i>		
16	<i>Rigid Dynamics</i>	<i>Microsoft Office Excel</i>		
17	<i>Static Acoustics</i>	<i>Performance Map</i>		
18	<i>Static Structural</i>	<i>Results</i>		
19	<i>Steady-State Thermal</i>	<i>System Coupling</i>		
20	<i>Thermal-Electric</i>	<i>Turbo Setup</i>		
21	<i>Topology Optimization</i>	<i>Turbo Grid</i>		
22	<i>Transient Structural</i>	<i>Vista AFD</i>		
23	<i>Transient Thermal</i>	<i>Vista CCD</i>		

24	<i>Turbomachinery Fluid Flow</i>	<i>Vista CPD</i>
25		<i>Vista RID</i>

2.12.1 *Fluent*

Fluent adalah satu jenis program CFD yang menggunakan metode volume hingga (finite volume). *Fluent* menyediakan fleksibilitas *mesh* yang lengkap, sehingga dapat menyelesaikan kasus aliran fluida dengan *mesh* (grid) yang tidak terstruktur sekalipun dengan cara yang relatif mudah. Jenis *mesh* yang didukung oleh *Fluent* adalah tipe 2D (two dimension) *triangularquadrilaterall*, 3D (three-dimension) *tetrahedral-hexahedralpyramid* dan *mesh automatic*.

Software CFD yang digunakan yaitu *Ansys workbench 2023 Student Version* dengan *Fluent* sebagai sarana simulasinya. *Ansys Fluent* merupakan salah satu perangkat lunak komputasi pada *Ansys*, *fluent* sendiri memiliki banyak kemampuan untuk dapat dilakukan penyelesaian analisis secara simulasi. Kemampuan pada *Ansys fluent* dapat ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 *Some of the capabilities for Ansys Fluent*

No	<i>Fluent Capabilities</i>
1	<i>2D Planar flows, Axisymmetric flows, Axisymmetric flows with swirl, 3D Flows</i>
2	<i>Acoustics</i>
3	<i>Cavitation flows</i>
4	<i>Chemical species mixing and reaction</i>
5	<i>Compressible flows, Incompressible flows</i>
6	<i>Forced heat transfer, Mixed convection heat transfer, Natural heat transfer</i>
7	<i>Free surface flows</i>
8	<i>Ideal gases, Real gases</i>
9	<i>Inviscid flows, Laminar flows, Turbulent flows</i>
10	<i>Lumped Parameter Models</i>
11	<i>Melting and Solidification</i>
12	<i>Multiphase flows</i>
13	<i>Newtonian flows, Non-Newtonian flows</i>
14	<i>Porous media</i>
15	<i>Steady flows, Time-dependent flows</i>
16	<i>2D Planar flows, Axisymmetric flows, Axisymmetric flows with swirl, 3D Flows</i>

Dalam penggunaan *Software Ansys fluent* sendiri menyertakan *outline view* dan *task page*. *Outline view* meliputi *setup*, *solution* dan *results*, yang dimana ini merupakan proses dalam penyelesaian masalah secara simulasi. Adapun untuk *setup*, *solution* dan *results* dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Opsi tampilan garis besar *Ansys Fluent*

<i>No</i>	<i>Setup</i>	<i>Solution</i>	<i>Results</i>	<i>Parameters & Customization</i>
1	<i>Boundary Conditions</i>	<i>Calculation Activities</i>	<i>Animations</i>	<i>Custom Field Functions</i>
2	<i>Cell Zone Conditions</i>	<i>Cell Registers</i>	<i>Graphics</i>	<i>Parameters</i>
3	<i>Dynamic Mesh</i>	<i>Controls</i>	<i>Plots</i>	<i>User Defined Functions</i>
4	<i>General</i>	<i>Initialization</i>	<i>Reports</i>	<i>User Defined Memory</i>
5	<i>Materials</i>	<i>Methods</i>	<i>Scene</i>	<i>User Defined Scalars</i>
6	<i>Models</i>	<i>Monitors</i>	<i>Surfaces</i>	
7	<i>Named Expressions</i>	<i>Report Definitions</i>		
8	<i>Reference Frames</i>	<i>Run Calculation</i>		
9	<i>Reference Values</i>	<i>Solution</i>		

2.12.2 *Mesh Quality Requirements*

FLUENT memerlukan *mesh* berkualitas tinggi untuk menghindari difusi numerik. Maka itu perlu melibatkan beberapa *Mesh Quality Metrics* untuk mengukur kualitas tetapi dalam hal ini nilai *skewness* dijadikan sebagai metrics utamanya. Selain itu *aspect ratio* serta ukuran sel juga sangat penting untuk dijadikan sebagai parameter kualitas mesh.

Skewness atau kemencengan digunakan untuk menunjukkan seberapa miring *mesh* tersebut. Semakin siku sudut suatu elemen, maka transfer data dari elemen satu ke elemen lainnya akan semakin baik, sehingga ketika bentuk elemen menceng maka akan membutuhkan cukup banyak koreksi saat proses komputasi

yang menurunkan kualitas perhitungan dan memperlambat proses komputasi. (*Ansys workbench help*).

Ada beberapa parameter yang perlu diperhatikan dalam *mesh quality requirements* pada *Ansys Fluent*, yaitu :

1. Metrics mesh yang paling penting untuk *fluent* adalah :
 - a. *Skewness* (kemiringan)
 - b. Rasio aspek
 - c. *Cell Size Change*
2. *For all/most applications*:
 - a. *For skewness*:
 1. Untuk Hexa, Tri dan Quad : harus kurang dari 0.8
 2. Untuk tetrahedra : harus kurang dari 0.9.
 - b. *For Aspect Ratio* :
 1. Harus kurang dari 40, tetapi tergantung karakteristik aliran
 2. Lebih dari 50 masih dapat ditoleransi pada saat inflasi.
 - c. Nilai *skewness* yang tinggi tidak disarankan
 - d. Secara umum usahakan untuk menjaga *skewness* maksimum *mesh* volume < 0.95 .
 - e. Klasifikasi *mesh quality metrics* berdasarkan *skewness* dapat dilihat pada Gambar 2.16.

0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.95	0.95-0.98	0.98-1.00*
Excellent	very good	good	acceptable	bad	Inacceptable*

Gambar 2. 16 *Mesh Quality Recommendation for Ansys Fluent*

Pada Gambar 2.16 dapat dilihat bahwa untuk melihat kualitas *mesh* dapat diketahui dari nilai *skewness* yaitu nilai harus dibawah 0.95 dan untuk *orthogonal quality* harus mendapatkan nilai sebesar diatas 0.14 pada area zona klasifikasi diatas.

2.13 Kompetisi Mobil Listrik Hemat Energi

Kompetisi Mobil Listrik Hemat Energi (KMHE) 2024 merupakan sebuah lomba kendaraan yang berfokus pada penghematan bahan bakar pada tingkat nasional. Pada tahun 2024 ini, KMHE diselenggarakan oleh Balai Pengembangan Talenta Indonesia (BPTI) Pusat Prestasi Nasional, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi (Kemdikbudristek) Republik Indonesia bekerja sama dengan tuan rumah perguruan tinggi.

Kegiatan ini diikuti oleh mahasiswa dari seluruh Universitas, Institut, Politeknik di Indonesia yang memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh panitia. Kemampuan untuk merancang dan membangun kendaraan yang irit, aman, dan ramah lingkungan merupakan kemampuan yang harus dimiliki oleh seluruh peserta dalam kegiatan ini. Kendaraan yang akan dilombakan dalam dua kategori yaitu:

1. *Prototype* : Kendaraan masa depan dengan desai khusus yang memaksimalkan efisiensi.

Kelas mesin penggerak : Motor Pembakaran Dalam (MPD) Bensin, v MPD Diesel, MPD Etanol, Motor Listrik.

2. *Urban concept* : Kendaraan roda empat yang tampilannya mirip mobil pada umumnya dan sesuai untuk kendaraan di jalan.

Kelas mesin penggerak : MPD *Gasoline*, MPD Diesel, MPD Etanol, Motor Listrik.

2.13.1 *Design Requitment Objectives*

Sebelum merumuskan *design requitment objectives and objectives* (DR&O) pada sebuah *body* kendaraan mobil listrik *type prototype* maka ada beberapa hal aspek yang perlu diperhatikan:

1. Rancangan Kendaraan
 - a. Kendaraan prototipe harus mempunyai tiga roda, yang dibawah kondisi normal harus selalu menempel pada permukaan lintasan.
 - b. Kendaraan prototipe haarus memiliki zona *crumple* minimal 100 mm antara bagian depan *body* kendaraan dan kaki pengemudi.

- c. Tidak diperbolehkan menggunakan pelengkap *aerodynamic* yang dapat disusaiakan atau dapat berubah bentuk karena angin ketika kendaraan bergerak.
 - d. Badan kendaraan tidak boleh mudah berubah bentuk karena faktor angin dan tidak boleh termasuk tambahan eksternal yang dapat membahayakan, seperti bagian *leading edge* yang runcing yang mempunyai radius 5 sm atau lebih besar, sebagai alternatif bahan tersebut harus terbuat dari gabus
2. Ukuran (dimensi) Kendaraan Kategori *Prototype*
- a. *Track width* minimal 50 cm diukur dari titik kontak roda pada lintasan.
 - b. Jarak sumbu roda depan dengan belakang (*wheelbase*) minimal 100 cm.
 - c. Lebar keseluruhan kendaraan maksimal 130 cm.
 - d. Panjang keseluruhan kendaraan maksimal 350 cm.
 - e. Berat total kendaraan, tanpa pengemudi, adalah maksimal 140 kg.
 - f. Ketinggian maksimal kendaraan adalah 100 cm.

BAB III

METODE PENELITIAN

Metode dan penelitian merupakan tata cara, langkah atau prosedur yang ilmiah dalam untuk memperoleh data sebagai tujuan penelitian yang mempunyai tujuan tertentu. Dalam proses penelitian perlu mempersiapkan waktu, tempat, bahan dan alat untuk menyelesaikan kasus masalah penelitian agar mendapatkan hasil yang sempurna.

3.1 Tempat dan Waktu

3.1.1 Tempat

Penelitian Tugas Akhir akan dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Malikussalaeh yang terletak di JL.Batam, Kampus Bukit Indah, Kecamatan Muara Satu, Kota Lhokseumawe Aceh Utara.

3.1.2 Waktu

Waktu penelitian dilakukan setelah Judul Tugas Akhir diterima atau disahkan oleh pembimbing. Penelitian ini diawali dengan penelusuran judul dan studi literatur, kemudian konsultasi proposal hingga berlanjut secara bertahap sampai seminar hasil, diperkirakan penelitian tugas akhir akan selesai dalam waktu 6 bulan. Hubungan rencana kegiatan dan waktu dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Waktu pelaksanaan penelitian

No	Tahapan Kegiatan Penelitian	Bulan Ke-					
		1	2	3	4	5	6
1.	Penelusuran tema dan literatur						
2.	Pembuatan proposal dan bimbingan						
3.	Seminar proposal						
4.	Tahapan penelitian simulasi						
5.	Penulisan pembahasan TGA						

6.	Seminar hasil penelitian						
----	--------------------------	--	--	--	--	--	--

3.2 Peralatan dan Bahan

Adapun peralatan yang akan digunakan pada penelitian ini menggunakan *hardware* yang mempunyai spesifikasi tinggi sehingga tidak mengganggu pada saat proses simulasi nantinya, *Software* yang digunakan berupa *Autodesk Fusion 360* sebagai desain bodi dan *Software Ansys workbench 2022 Student version* sebagai simulasi CFD.

3.2.1 Spesifikasi Leptop

Spesifikasi komputer yang dipergunakan untuk melakukan perhitungan simulasi analisis dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Spesifikasi Leptop

No	Nama	Keterangan
1.	Komputer	HP
2.	<i>Procesor</i>	AMDA RYZEN 3
3.	System Operasi	FreeDOS
4.	Memori RAM	8 GB
5.	<i>Harddisk</i>	512 GB
6.	<i>Grapich Procesor</i>	AMDA RADEOM

3.2.2 Spesifikasi *Software*

Dalam penelitian ini peneliti akan membuat desain *body* mobil listrik kemudian nanti akan disimulasikannya. Maka dari itu peneliti akan membutuhkan beberapa *Software* untuk penelitiannya. Adapun *Software* yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. *Autodesk Fusion 360*

Autodesk Fusion 360 adalah *platform* desain yang sempurna untuk mendukung kolaborasi dari berbagai lintas *platform* melalui *cloud* yang mengintegrasikan desain dan manufaktur dan menjadikan platform desain ini ideal untuk pengembangan produk kecil. *Fusion 360* juga mampu menjawab tantangan dalam desain perangkat yang dipasang dalam komunikasi antara desain dan strategi pembuatan perangkat (Artono dkk, 2019). *Rendering* dan Gambar Teknik dalam *Autodesk*

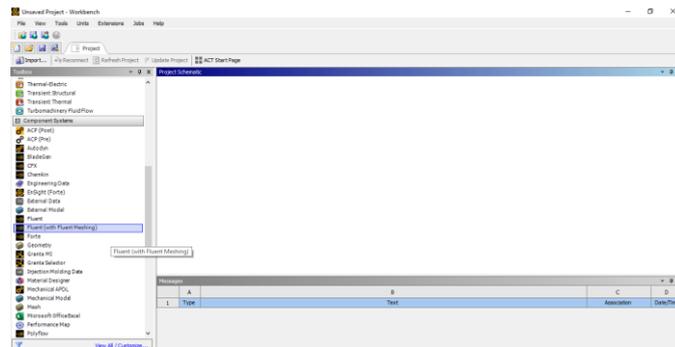
fusion 360 memudahkan para pihak untuk berkomunikasi dalam *design* produk sebelum produk itu dibuat, bahkan sistem CAM dalam *Autodesk fusion* 360 dapat menghasilkan program CNC untuk mesin yang bekomputerisasi dalam membuat suatu produk. Selain untuk pembuatan design 3D model Autodesk fusion 360 juga dilengkapi dengan kemampuan Computer Aided *Engineering* atau biasa disebut dengan CAE. CAE memiliki fungsi untuk melakukan Analisa *engineering* seperti *stress analysis*, *thermal analysis*, *bukling test* dan lain sebagainya. Tampilan *Software Autodesk Fusion 360* dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 *Software Autodesk Fusion 360*

2. *Ansys workbench 2022 Student version*

Software CFD yang digunakan pada penelitian ini adalah *Ansys workbench 2022 Student version* dengan *Ansys fluent solver* sebagai sarana simulasi, dapat dilihat pada Gambar 3.2 merupakan diagram pada *fluent Ansys workbench* telah menyediakan program yang dapat membantu dalam proses pengujian *fluent* yang diurutkan dari pembuatan geometri 2D hingga 3D. *Ansys workbench 2022R2 student version* juga dapat digunakan untuk menganalisa dengan berbasis metode elemen untuk masalah – masalah rekayasa. *Ansys workbench student version* dapat berkolaborasi dengan perangkat lunak CAD sehingga memudahkan pengguna untuk merancang desain atau model geometri dengan berbagai perangkat lunak CAD. *Ansys* dapat dijalankan pada *platform Windows* dan *linux*. Tampilan *Software Ansys* dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Ansys workbench 2022R2 Student version

3.2.3 Desain *body* mobil listrik

Bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah berupa desain *body* mobil listrik yang di desain menggunakan *Software Autodesk Fusion 360* dengan geometri merujuk pada regulasi KMHE 2022 serta parameter-parameter dalam penunjang ke aerodinamisan.

3.3 Variabel yang Diamati

Variabel yang diamati dalam penelitian ini sesuai Analisis Aerodinamika *Body* Mobil Listrik Dengan Metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD) Pada Variasi Kecepatan Aliran Udara Menggunakan *Softwaare Ansys Fluent* maka terdapat variabel-variabel yang akan digunakan dalam penelitian ini, meliputi:

3.3.1 Variabel Tetap

Variabel tetap merupakan variabel yang sudah menjadi ketetapan yang digunakan dalam penelitian ini. Adapun varibael tetap pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Jenis aliran yang digunakan pada simulasi berupa aliran *steady state*.
2. Nilai densitas udara pada temperatur $T = 303\text{K}$ dan tekanan absolute $P = 1\text{ atm}$ yaitu $\rho = 1,164\text{ kg/m}^3$.
3. Nilai viskositas udara pada temperatur $T = 303\text{K}$ dan tekanan absolute $P = 1\text{ atm}$ yaitu $\mu_{\text{udara}} = 1.872 \times 10^{-5}\text{ Ns/m}^2$.
4. Batas *error* yang di capai adalah 0.001

3.3.2 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang nantinya akan mempengaruhi hasil dari penelitian (penyebab). Variabel bebas pada penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Variasi kecepatan aliran udara sebesar 10 km/J, 20 km/J, 30 km/J, dan 40 km/J.
2. Variasi bentuk *Frontal Area* dan *leading edge* pada *body* mobil listrik

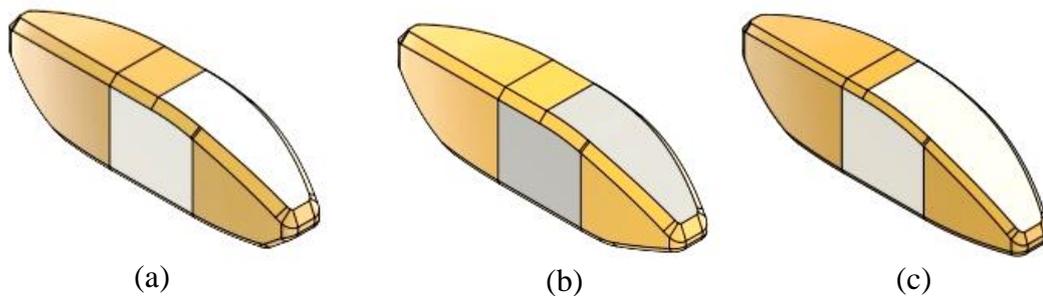
3.3.3 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang dicari dan diperoleh atau dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel terikat pada penelitian ini diantaranya adalah sebagai berikut :

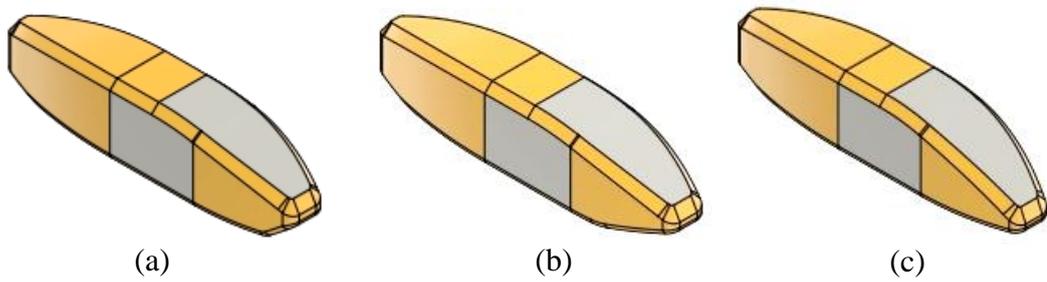
1. Nilai *Force drag*
2. Nilai koefisien *drag*
3. Nilai *Force Lift*
4. Nilai koefisien *lift*
5. Kontur *pressure*, *velocity* dan *turbulence kinetic*

3.4 Pamodelan *Frontal Area* dan *Leading Edge* Pada *Body* Mobil Listrik

Pemodelan variasi ukuran *frontal area* dan sudut *leading edge* pada *body* mobil listrik digunakan untuk mencari bentuk bentuk *body* yang memiliki gaya hambat dan koefisien hambat yang rendah. Sehingga didapatkan bentuk *body* yang seaerodinamis mungkin, berikut Gambar 3.3 dan Gambar 3.4 merupakan desain variasi *frontal area* dan sudut *leading edge*.



Gambar 3. 3 Desain *body* frontal area $A(0.48\text{m}^2)$ sudut *leading edge* (a) 36° , (b) 15° dan (c) 0°

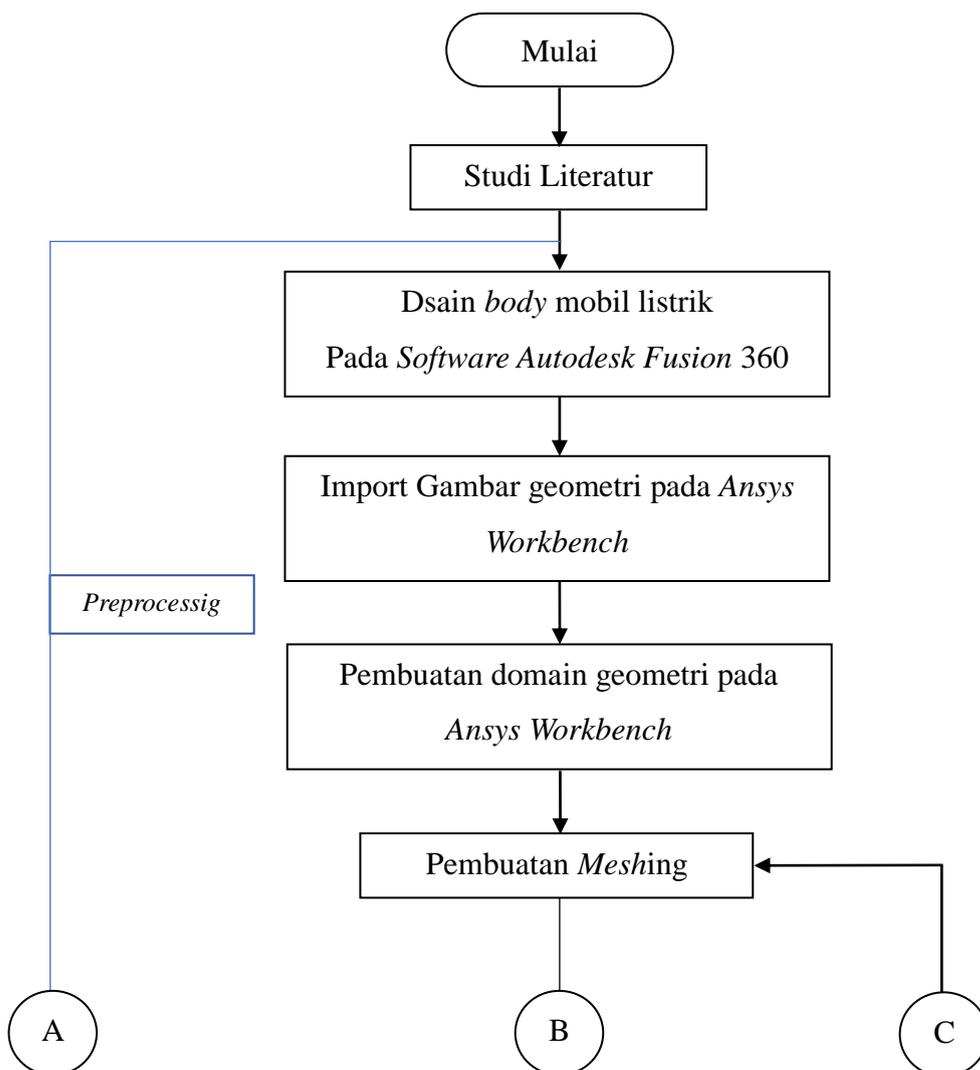


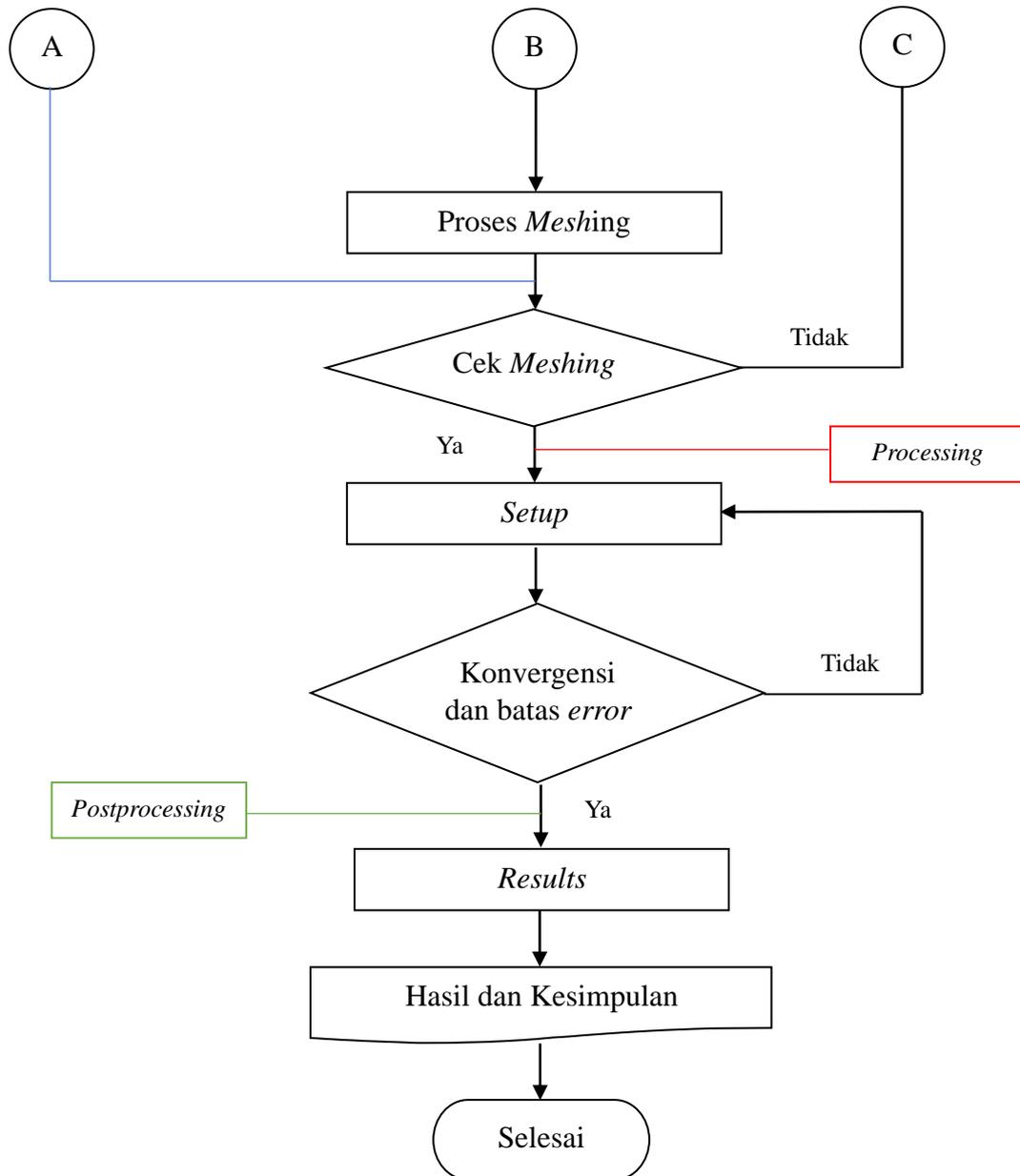
Gambar 3. 4 Desain *body frontal area* A(0.39m^2) sudut *leading edge* (a) 36° , (b) 15° dan (c) 0°

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Diagram Alir (*flow chart*)

Penelitian dilakukan dengan proses yang dapat dilihat pada Gambar 3.5.





Gambar 3. 5 Diagram alir (*flow chart*) penelitian

Pada penelitian yang akan dilakukan ada tiga metode tahapan utama yang harus dilakukan, yaitu : *preprocessing*, *processing* dan *postprocessing*. Simulasi secara visualisasi pada aliran yang melintasi *body* mobil listrik hemat energi menggunakan metode numerik dengan bantuan *Software Ansys workbench 2022 student version* dengan menggunakan *Ansys Fluent*. Dalam penelitian ini juga disertakan penampilan 3D dari *body* mobil listrik hemat energi.

Dalam penelitian ini Adapun penjelasan dari *flow chart* adalah sebagai berikut :

1. Mengumpulkan dan memahami literatur

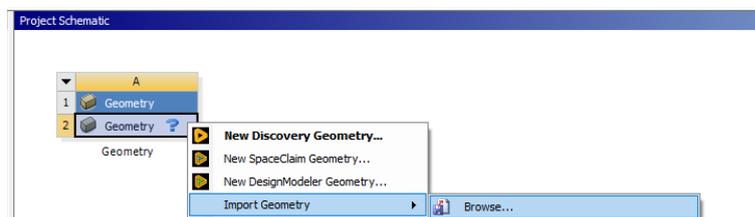
Data dari berbagai referensi seperti buku, jurnal penelitian yang berkaitan dengan aerodinamika dan gaya aerodinamika yang terjadi pada kendaraan mobil, serta parameter-parameter yang berpengaruh pada ke aerodinamikaan.

2. Membuat desain *body* mobil listrik

Desain pembuatan *body* mobil listrik menggunakan *Software Autodesk Fusion 360*. Desain mobil ini mengacu pada regulasi KMHE 2022. Seperti Gambar 3.5 adalah bentuk *body* mobil listrik.

3. *Import* geometri pada *Ansys Workbench*

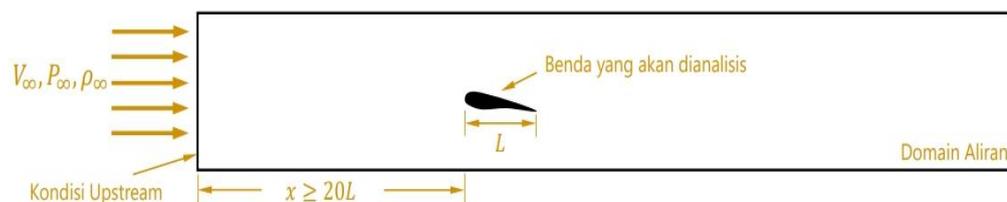
Setelah selesai pembuatan desain *body* mobil kemudian *file* di simpan dengan format STP untuk di *import* ke geometri pada *Ansys Workbench*. Dengan cara klik kanan pada *geometri* → *input geometri* → *import design* → setelah itu pilih *file* yang akan di *import*. Seperti pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 *Import* geometri pada *Ansys Workbench*

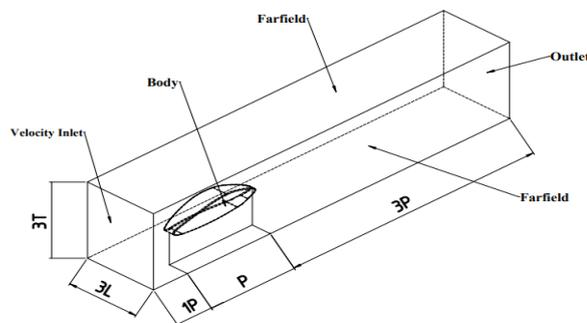
4. Pembuatan *fluid* domain

Pembuatan fluid domain ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik aliran 3D yang meleintasi *body*. Pembuatan domain dapat dengan cara klik *tool* → *enclosure* → masukan ukuran pada *detail of enclosure* → *generate*. Bentuk domain dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3. 7 Pembuatan domain pemodelan *body* (3D Flow)

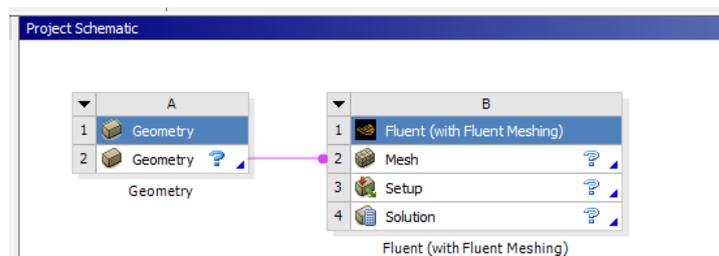
Setelah itu pemberian kondisi batas, Pemberian kondisi batas ini ditujukan agar mempermudah pengambilan data khususnya pemilihan bagian-bagian yang nantinya akan di-input nilai properties saat dioperasikan pada *Software CFD-Solver Manager*. Pemberian kondisi batas model ini dibagi menjadi lima kondisi batas yaitu *bottom*, *farfield*, *body*, *inlet* sebagai daerah input *properties* berupa aliran udara masuk, *outlet* sebagai batas analisa *control surface* pada model uji dinding atas dan bawah, karena pada analisa model uji ini disimulasikan seolah – olah aliran fluida melewati *contour body* mobil di dalam lorong atau terowongan. Pemberian nama kondisi batas pada domain dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3. 8 Pemberian nama kondisi batas pada domain

5. Pembuatan *Meshing*

Setelah selesai pembuatan domain maka langkah selanjutnya adalah pembuatan *mesh*. Ada beberapa langkah dan parameter yang akan dimasukkan pada proses *meshing* nantinya. Parameter data yang akan dimasukkan bisa dilihat pada proses *meshing* dibawah ini. Pembuaan *mesh* dapat dilakukan dengan cara mengklik kolom geometri → tahan → seret ke kolom *mesh* pada *fluent* → klik 2x pada *mesh*. Langkah pembuatan *meshing* dapat dilihat pada Gambar 3.9.

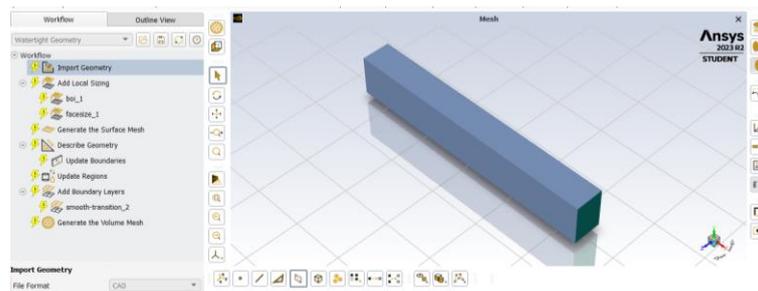


Gambar 3. 9 Langkah pembuatan *mesh*

6. Proses *Meshing*

Meshing diartikan sebagai bidang atau volume yang diisi oleh fluida dibagi menjadi sel-sel kecil (*meshing*). Proses *meshing* juga merupakan tahapan untuk membagi struktur geometri menjadi lebih kecil menggunakan *Software Ansys Fluent*. Apabila dalam proses *meshing* dan tidak terjadi *error* maka dapat dilanjutkan ke proses simulasi, tetapi apabila gagal harus mengulang atau memperbaiki desain. Pembuatan *meshing* dilakukan setelah pembuatan domain geometri. Berikut langkah – langkah pembuatan *meshing* dapat dilihat pada Gambar 3.10.

- a. Klik dua kali pada *mesh*, maka untuk tampilan bisa dilihat pada Gambar 3.10 setelah itu input geometri dan masukan semua data input pada bagian *workflow* untuk dapat dilakukan proses *meshing*.



Gambar 3. 10 Proses pembuatan *meshing*

- b. Parameter data input yang akan dimasukkan pada *workflow* akan mempengaruhi kualitas dan jumlah *mesh*. Berikut data parameter dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Data input *mesh* pada *workflow*

No	Parameter	Pilihan / Nilai
<i>Add local sizing</i>		
1	<i>Body of influence</i>	0.1 m
2	<i>Facesize body</i>	0.02 m
<i>Generate the surface mesh</i>		
1	<i>Minimum size</i>	0.0136701
2	<i>Maximum size</i>	0.3499546
<i>Add boundary layers</i>		

1	<i>Offset method type</i>	<i>Smooth-transition</i>
2	<i>Number of layers</i>	5
3	<i>Growth rate</i>	1.2
<i>Generate the volume mesh</i>		
1	<i>Solver</i>	<i>fluent</i>
2	<i>Fill with</i>	<i>Poly-hexcore</i>
3	<i>Sizing method</i>	<i>global</i>
4	<i>Minimum size</i>	0.0136701
5	<i>Maximum size</i>	0.4373333

Pada proses *meshing* apabila berhasil maka dapat dilanjutkan ke tahap proses simulasi, tetapi jika proses *meshing* gagal maka harus mengecek data input atau memperbaiki data input dan desain atau domain.

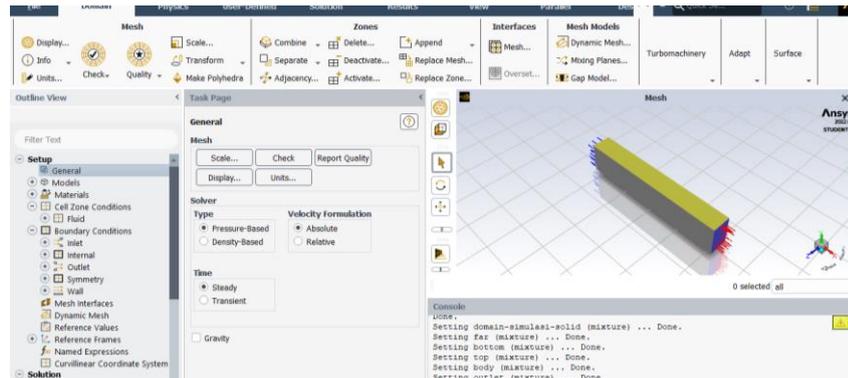
Setelah semua data dimasukkan dan di input maka akan didapatkan jumlah *mesh property* dan bentuk *mesh* akan muncul pada geometri *body* dan domain. Untuk hasil *meshing* nantinya dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3. 4 *Mesh properties*

Keterangan	Sudut	Frontal Area	
	Leading Edge	A(0.48m ²)	A(0.39 m ²)
<i>Total Number of Cells</i>	36°		
	15°		
	0°		
<i>Maximum Skewness</i>	36°		
	15°		
	0°		
<i>Minimum Orthogonal Quality</i>	36°		
	15°		
	0°		
<i>Total Number of faces</i>	36°		
	15°		
	0°		

7. Setup (Processing)

Setelah selesai pembuatan *mesh* pada geometri, maka lanjut ke tahap *setup*. Tahap ini merupakan tahap dimana akan di input berupa data seperti *materials*, *boundary conditions*, dan *reference values*. Tahap *setup* dapat dilanjutkan dengan cara klik 2x pada *switch to solution* pada ikon *solution*. Untuk proses *setup* dapat dilihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3. 11 Proses *setup* atau *processing*

a. *Fluid Models*

Untuk menentukan model dari sifat fluida maka pada default domain terdapat pengaturan *Fluid Models*, pertama-tama yang harus dilakukan adalah mencari jenis aliran fluida dengan menentukan bilangan *Reynolds* (Re) untuk aliran eksternal. Jadi dalam kasus ini digunakan aliran turbulen dengan model *K-omega SST* karena diharapkan hasil yang diperoleh nantinya akan lebih akurat dalam memprediksi laju penyebaran fluida.

b. *Materials*

Pada bagian ini merupakan langkah penting dalam pemodelan di CFD, yaitu mendefinisikan sifat fisik material yang akan digunakan. Pada *form material* terdapat data-data properties dan material yang akan dimasukkan. Dalam penelitian tipe material yang akan digunakan adalah *air* (udara) menggunakan temperatur rata-rata di Indonesia yaitu 303K atau 29°C dengan *density* 1.164 kg/m^3 dan *dynamic viscosity* $1.872 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$. Proses *import data materials* pada proses simulasi dapat dilihat pada Gambar 3.12.

Gambar 3. 12 *Import tipe material dan properties*

c. *Boundary Condition*

Dalam hal ini penentuan kondisi batas (*boundary condution*) yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi lokasi sisi keluar dan masuknya *velocity* aliran fluida udara pada *bouondary condition*.
2. Menginput data parameter pada *bouondary condition*.

Karena pada penelitian ini menggunakan aliran *incompressible* maka yang perlu ditentukan yaitu nilai *velocity inlet*, *outlet*, serta batasan pada *farfield* dan *bottom*. Setelah itu Berikut data parameter input pada *bouondary condition* dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3. 5 Parameter *boundary condition* pada proses *preprocessing*

No	Input	Pilihan	Keterangan
1	<i>Velocity inlet</i>	<i>Velocity magnitude</i>	10, 20, 30, 40 (km/J)
2	<i>Outlet</i>	<i>Gauge pressure</i>	0
3	<i>Farfield</i>	<i>Shear condition</i>	<i>Specified shear</i>
5	<i>Bottom</i>	<i>Shear condition</i>	<i>No slip</i>

d. *Reference values*

Pada tahap ini dilakukan penginputan data yang akan digunakan pada simulasi seperti *Frontal Area*, *velocity*, viskositas, densitas dan *temperature*. Data yang akan di input dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3. 6 Data *input* pada *reference values*

No	Input	Nilai
1	<i>Frontal Area body mobil</i>	0.48 m ²
2	<i>Density</i>	1,164 kg/m ³
3	<i>Temperature</i>	303K
4	<i>Velocity</i>	10, 20, 30, 40 (km/J)
5	<i>Viscosity</i>	1.872×10^{-5} Ns/m

e. *Report definition*

Pada penelitian ini untuk mengetahui nilai gaya hambat, gaya angkat, koefisien *drag* dan koefisien *lift* pada *body* mobil listrik, maka perlu mengatur *Report definition*. *Report definition* disini digunakan untuk melakukan perhitungan pada *force drag*, *force lift*, koefisien *drag* dan koefisien *lift*.

f. *Initialization*

Proses iterasi memerlukan *initialize* (tebakan awal) sebelum memulai perhitungan agar memudahkan konvergen. Pada penelitian ini menggunakan *Hybrid initialization*.

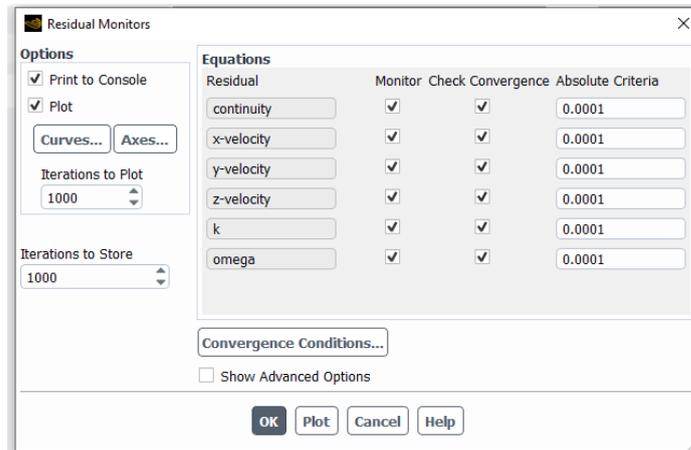
g. *Run calculation*

Pada *tool* ini perlu mengatur *number of iterasi* dengan jumlah iterasi yang diperlukan (mengasumsikan sampai konvergen). Pada hal ini iterasi digunakan untuk menentukan kriteria konvergensi (tebakan awal dari hasil iterasi). Semakin banyak jumlah iterasi maka semakin tinggi tingkat keakurasian pada data yang diperoleh, Pada simulasi ini mengasumsikan jumlah iterasi sebanyak 500.

8. Konvergensi dan batas *error*

Pada tahap ini kita dapat mengatur kriteria batas *error* yang ingin kita masukan, jumlah batas *error* tergantung pada jumlah iterasi dan jumlah *meshing*. Semakin kecil nilai *error* maka semakin akurat data yang diperoleh. Tetapi iterasi tidak dijadikan sebagai batas konvergen, ketika batas *error* sudah tercapai tetapi jumlah iterasi pada pada saat proses run masih belum

sampai batasnya maka akan berhenti secara otomatis. Jumlah batas *error* dapat kita setting pada *residual monitors* dapat dilihat pada Gambar 3.13.



Gambar 3. 13 Input nilai batas *error*

9. Post processing

Post processing merupakan proses menganalisis nilai koefisien *drag* dari mobil listrik yang selanjutnya nilai koefisien *drag* dan koefisien *lift* didapatkan dari hasil akhir simulasi. Untuk mengetahui hasil dari simulasi valid atau tidak, diperlukan perhitungan setelah simulasi dengan menggunakan rumus koefisien *drag*. Kemudian nanti akan terlihat apakah hasil perhitungan dengan rumus dan simulasi sama dengan perhitungan nilai koefisien *drag*.

3.6 Tindakan Khusus

Hal utama yang perlu diperhatikan selama simulasi adalah jumlah *cell* pada saat proses *meshing* harus $\leq 1.200.000$ *cell*. Pada *Software Ansys student version 2023* jumlah *maximum cell* yang bisa didapatkan adalah 1.200.000 *cell* lebih dari pada itu maka proses simulasi tidak bisa dilanjutkan atau proses simulasi akan gagal.

Ada dua aspek bahwa proses simulasi bisa dilanjut atau tidaknya, yaitu dilihat dari nilai *skewness meshing*-nya, dan nilai *orthogonal*-nya. Simulasi dapat dilanjut apabila nilai *skewness* yang diperoleh ≤ 0.95 , kemudian nilai *orthogonal*-nya ≥ 0.15 mengartikan bahwa simulasi baik untuk dilanjutkan. Semakin banyak jumlah *cell meshing* maka akan seakin akurat tetapi semakin banyak jumlah *cell*

meshing juga nilai *skewness* akan buruk. Maka dari itu parameter *cell meshing* dengan nilai *skewness* harus *balance* sehingga simulasi baik dan akurat untuk dilanjutkan.

3.7 Teknik pengumpulan Data dan Analisis Data

Penelitian ini dilakukan secara visualisasi dengan menggunakan *Software Ansys workbench* dan *Ansys fluent* sebagai sarana simulasi untuk mengetahui gaya hambat, gaya angkat, koefisien *drag* dan koefisien *lift* serta kontur yang terjadi pada *body* mobil listrik dengan variasi kecepatan aliran udara yaitu 10 km/J, 20 km/J, 30 km/J dan 40 km/J terhadap *body* mobil listrik itu sendiri. Beberapa data yang dikumpulkan terdiri dari *velocity*, *density*, massa jenis udara, *temperatur*, *Re Number*, *Mach*, dan tekanan dapat dituliskan dan dimasukkan kedalam tabel (Tabel 3.7) yang di mana data ini akan menjadi data distribusi aliran didalam domain simulasi nantinya.

Setelah semua data input pengujian yang diperlukan terkumpul, selanjutnya data tersebut akan di olah dan dianalisis secara simulasi berdasarkan persamaan-persamaan yang telah dijabarkan pada BAB II. Hasil analisis simulasi yang telah didapatkan kemudian dimasukkan kedalam Tabel (lihat Tabel 3.10) dan ditampilkan dalam bentuk grafik sehingga dapat diubah menjadi uraian-uraian yang mudah dipahami serta dapat diartik kesimpulan mengenai pengaruh variasi *velocity* aliran udara terhadap gaya hambat, koefisien *drag*, gaya angkat dan koefisien *lift* pada *body* mobil listrik, dan kontur distribusi berupa tekanan (*pressure*) dan kecepatan (*velocity*) yang terjadi pada *body* mobil listrik.

Kemudian setelah semua data didapatkan maka data dimasukkan kedalam tabel (3.11) untuk diperoleh hasil persentase setiap variasi *leading edge* dan *frontal area* pada *body* kendaraan mobil listrik.

Tabel 3. 7 Distribusi aliran udara berdasarkan *velocity* dan *temperature*

No	V (m/s)	ρ (kg/m ³)	μ (kg/m-s)	T (°C)	<i>Re</i> <i>Number</i> (Re)	<i>Mach</i> (Ma)	Tekanan (Pa)
1	2.7						
2	5.5						

3	8.3						
4	11.1						

Tabel 3. 8 Nilai aerodinamis *body* pada variasi *leading edge* dan *frontal area*

Variasi Sudut <i>Leading Edge</i> dan <i>Frontal Area</i>					
No	Kecepatan (m/s)	<i>Drag Force</i> (N)	Koefisien <i>drag</i>	<i>Lift Force</i> (N)	Koefisien <i>lift</i>
1	2,7				
2	5,5				
3	8,3				
4	11,1				
<i>Average</i>					

Tabel 3. 9 Perbandingan presentase pada setiap *body*

Variasi Sudut <i>Leading Edge</i>	FD		CD	
	Nilai	%	Nilai	%
Variasi <i>leading edge</i>				
Variasi Sudut <i>Leading Edge</i>	FL		CL	
	Nilai	%	Nilai	%
Variasi <i>leading edge</i>				

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Proposal Penelitian Tugas Akhir ini pengamatan aerodinamika dilakukan pada bagian *body* dari kendaraan Tim Mobil Listrik Universitas Malikussaleh. Pemodelan bentuk *body* mobil listrik terdapat ukuran yang diatur dalam KMHE 2020 untuk tipe mobil *prototype*. Maka dari itu pembuatan desain *body* dan perancangan mobil Tim Pase Team Universitas Malikussaleh mengacu pada regulasi teknik KMHE.

Bentuk *body* mobil Pase Team dilakukan analisa 3 dimensi dengan pengujian menggunakan *software CFD* berupa *Ansys Fluent*, untuk mendapatkan *contour pressure*, *contour turbulence kinetic*, *contour velocity*, *drag coefficient*, dan *lift coefficient*. Sehingga dapat dilakukan analisa distribusi tekanan, analisa distribusi kecepatan dan analisa gaya hambat (*drag force*) dan gaya angkat (*drag lift*).

4.1. Distribusi Aliran

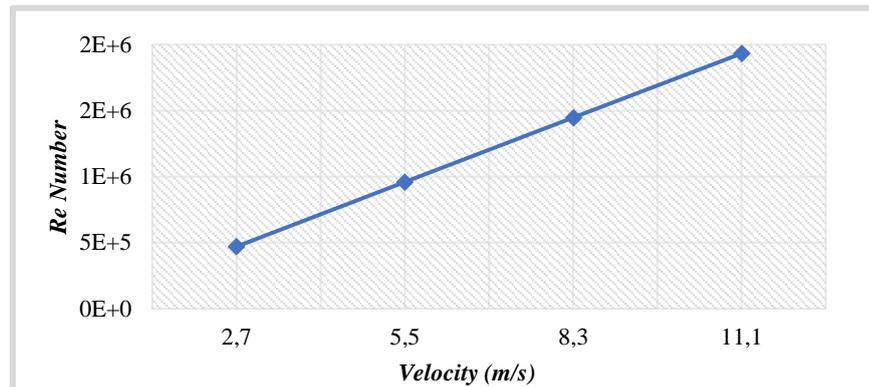
Sebelum melakukan simulasi perlu dilakukan analisis data berupa distribusi aliran di dalam *domain* simulasi (ruang aliran udara), untuk distribusi aliran pada simulasi ini dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Data distribusi aliran berdasarkan kecepatan dan temperatur

No	V (m/s)	ρ (kg/m ³)	μ (kg/m-s)	T (°C)	Re Number (Re)	Mach (Ma)	Tekanan (Pa)
1	2.7	1,164	$1,872 \times 10^{-5}$	30	470.077	0,0077	1,01325
2	5.5	1,164	$1,872 \times 10^{-5}$	30	957.564	0,0158	1,01325
3	8.3	1,164	$1,872 \times 10^{-5}$	30	1.445.051	0,0238	1,01325
4	11.1	1,164	$1,872 \times 10^{-5}$	30	1.932.538	0,0318	1,01325

Pada Tabel 4.1 dapat dilihat nilai bilangan *mach* berubah terhadap perubahan kecepatan. Untuk bilangan *mach* ada pada $Ma \leq 0,3$ meruakan aliran *incompressible* dimana densitas dan viskositas fluidanya konstan. Karena efek kompresibilitas dan variasi kepadatan gas maka dapat diabaikan pada kecepatan

yang relatif rendah. Untuk bilangan *reynolds* ada pada angka $Re \geq 4.000$ dengan nilai maksimum pada kecepatan 11.1 m/s yaitu 1.932.538 maka dari itu jenis aliran dalam domain simulasi diasumsikan sebagai aliran turbulen, yang dimana ini menggunakan jenis aliran *K-omega SST*. Grafik nilai *reynolds* berdasarkan variasi kecepatan udara dapat dilihat pada Gambar 4.1



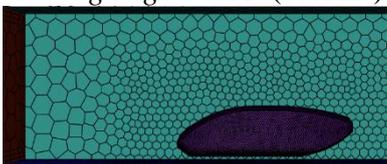
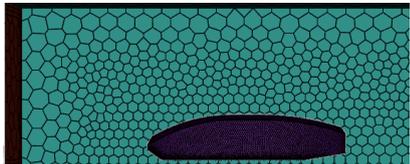
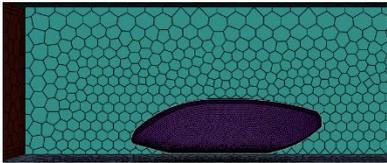
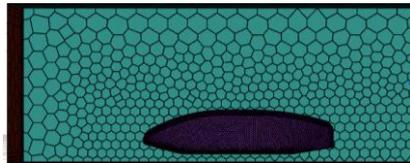
Gambar 4. 1 Grafik bilangan *reynolds* terhadap kecepatan aliran

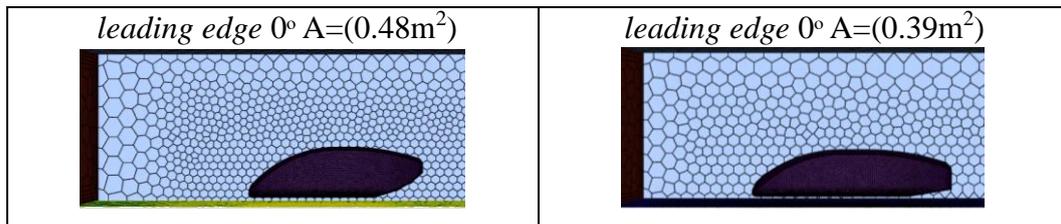
4.2. Hasil Simulasi

4.2.1. Hasil *Meshing Body Mobil Listrik*

Proses *meshing* dilakukan pada domain dan *body* mobil listrik pada variasi sudut *leading egde* dan *frontal area* dengan menggunakan jenis *meshing poly-hexcore* dan menggunakan nilai target *mesh* seperti pada Tabel 3.5. Untuk tampilan *meshing* pada domain dan *body* dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Bentuk hasil *meshing* pada *body*

Bentuk hasil <i>meshing</i> pada domain dan <i>body</i>	
<p><i>leading edge 36° A=(0.48m²)</i></p> 	<p><i>leading edge 36° A=(0.39m²)</i></p> 
<p><i>leading edge 15° A=(0.48m²)</i></p> 	<p><i>leading edge 15° A=(0.39m²)</i></p> 



Dengan hasil *meshing* yang diperoleh maka akan didapatkan data *meshing* berupa total *number of cells*, nilai *skewness* dan nilai *orthogonal quality*, yang dimana hasil data akan digunakan sebagai acuan dalam simulasi untuk mengetahui baik atau tidaknya ketika simulasi dilanjutkan nanti. Untuk data hasil *meshing* setiap *body* dengan varian sudut *leading edge* dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 *Diagnotics summary meshing* pada variasi *leading edge* dan *frontal aerea*

Keterangan	Sudut	Frontal Area	
	Leading Edge	A(0.48m ²)	A(0.39 m ²)
Total Number of Cells	36°	256.518	205.375
	15°	196.226	199.026
	0°	260.234	186.084
Maximum Skewness	36°	0.5596	0,5709
	15°	0.6477	0,5533
	0°	0.602	0,5637
Minimum Orthogonal Quality	36°	0.2071	0,2031
	15°	0.2682	0,2095
	0°	0.2446	0,2027
Total Number of faces	36°	19.881	17.464
	15°	18.760	17.033
	0°	18.919	18.152

Hasil *mesh* pada domain *body* dengan varian sudut *leading edge* dan *frontal area* didapatkan untuk nilai rata-rata pada setiap *body* untuk nilai *Number of Cells* nya adalah 217.244, kemudian untuk nilai rata-rata *maximum skewness* dari setiap *body* adalah 0,562633 dan untuk nilai rata-rata *minimum orthogonal quality* dari setiap *body* adalah 0,2051. Maka hal ini menunjukkan kualitas *meshing* sangat cukup baik karena nilai *skewness* dan *orthogonal* sesuai standar *meshing* yang telah ditentukan, sehingga simulasi dapat dilanjutkan atau dijalankan untuk mendapatkan data hasil akhir simulasi yang akurat.

4.2.2. Gaya Aerodinamis

Hasil simulasi analisis aerodinamis pada *body* mobil listrik mengenai *drag coefficient* dan *lift coefficient* pada variasi *frontal area* dan variasi sudut *leading edge* terhadap kecepatan aliran udara dalam domain simulasi dapat dilihat pada Tabel 4.4 sampai dengan Tabel 4.9.

Tabel 4. 4 Nilai *drag force* dan *drag coefficient* pada variasi *frontal area* terhadap sudut *leading edge* 36°

<i>Leading Edge</i>	<i>Velocity</i> V m/s	Variasi Frontal Area Body			
		A(0.48m ²)		A(0.39 m ²)	
		Fd (N)	Cd	Fd (N)	Cd
36°	2,7	0,378	0,186	0,255	0,154
	5,5	1,327	0,157	0,939	0,137
	8,3	2,829	0,147	2,008	0,128
	11,1	4,838	0,141	3,426	0,123
Average		2,343	0,158	1,657	0,135

Tabel 4. 5 Nilai *drag force* dan *drag coefficient* pada variasi *frontal area* terhadap sudut *leading edge* 15°

<i>Leading Edge</i>	<i>Velocity</i> V m/s	Variasi Frontal Area Body			
		A(0.48 m ²)		A(0.39 m ²)	
		Fd (N)	Cd	Fd (N)	Cd
15°	2,7	0,336	0,165	0,260	0,157
	5,5	1,237	0,146	0,959	0,140
	8,3	2,637	0,137	3,036	0,130
	11,1	4,477	0,130	3,461	0,124
Average		2,172	0,145	1,929	0,138

Tabel 4. 6 Nilai *drag force* dan *drag coefficient* pada variasi *frontal area* terhadap sudut *leading edge* 0°

<i>Leading Edge</i>	<i>Velocity</i> V m/s	Variasi Frontal Area Body			
		A(0.48 m ²)		A(0.39 m ²)	
		Fd (N)	Cd	Fd (N)	Cd
0°	2,7	0,360	0,177	0,247	0,149
	5,5	1,300	0,154	0,910	0,133
	8,3	2,782	0,145	1,935	0,124
	11,1	4,784	0,139	3,301	0,118
Average		2,306	0,154	1,598	0,131

Tabel 4. 7 Nilai *lift force* dan *lift coefficient* pada variasi *frontal area* terhadap sudut *leading edge* 36°

Leading Edge	Velocity	Variasi Frontal Area Body			
		A(0.48 m ²)		A(0.39 m ²)	
	V m/s	Fl (N)	Cl	Fl (N)	Cl
36°	2,7	-0,348	-0,171	-0,225	-0,136
	5,5	-2,248	-0,266	-0,948	-0,138
	8,3	-5,088	-0,264	-2,177	-0,139
	11,1	-9,126	-0,265	-3,967	-0,142
Average		-4,202	-0,242	-1,829	-0,139

Tabel 4. 8 Nilai *lift force* dan *lift coefficient* pada variasi *frontal area* terhadap sudut *leading edge* 15°

Leading Edge	Velocity	Variasi Frontal Area Body			
		A(0.48 m ²)		A(0.39 m ²)	
	V m/s	Fl (N)	Cl	Fl (N)	Cl
15°	2,7	-0,508	-0,250	-0,233	-0,141
	5,5	-2,165	-0,256	-0,989	-0,144
	8,3	-4,928	-0,256	-2,331	-0,149
	11,1	-8,989	-0,261	-4,288	-0,153
Average		-4,147	-0,256	-1,960	-0,147

Tabel 4. 9 Nilai *lift force* dan *lift coefficient* pada variasi *frontal area* terhadap sudut *leading edge* 0°

Leading Edge	Velocity	Variasi Frontal Area Body			
		A(0.48 m ²)		A(0.39 m ²)	
	V m/s	Fl (N)	Cl	Fl (N)	Cl
0°	2,7	-0,499	-0,245	-0,207	-0,125
	5,5	-2,266	-0,268	-0,885	-0,129
	8,3	-5,441	-0,283	-2,091	-0,134
	11,1	-9,814	-0,285	-3,839	-0,137
Average		-4,505	-0,270	-1,756	-0,131

4.2.3. Perhitungan Gaya Aerodinamis

Perhitungan gaya aerodinamis dalam simulasi ini melibatkan pengukuran melalui perbedaan kecepatan dan nilai koefisien hambat pada *body*. Setelah didapat nilai koefisien hambat pada simulasi maka dapat dicari nilai gaya hambat dan gaya angkat yang terjadi pada *body* menggunakan persamaan (2.14) dan (2.16). Pada perhitungan ini menggunakan data validasi awal yaitu pada *body*

dengan sudut *leading edge* 36° dengan pada kecepatan aliran udara awal yaitu 2,7 m/s.

1) Gaya Hambat (*Drag Force*)

Untuk menghitung nilai gaya hambat digunakan persamaan 2.14 :

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

$$F_D = \frac{1}{2} (0,18567772 \times 1,164 \text{ kg/m}^3 \times 2,7^2 \text{ m/s} \times 0,48 \text{ m}^2)$$

$$F_D = 0,37813906 \text{ N}$$

Untuk menghitung nilai koefisien gaya hambat digunakan persamaan 2.15 :

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

$$C_D = \frac{2 \times 0,37813906 \text{ N}}{1,164 \text{ kg/m}^3 \times 2,7^2 \text{ m/s}^2 \times 0,48 \text{ m}^2}$$

$$C_D = 0,18567772$$

Kemudian untuk menghitung gaya hambat dan koefisien hambat dari variasi yang lainnya, dapat dicari dengan menggunakan persamaan yang sama.

2) Gaya Angkat (*Lift Force*)

Untuk menghitung nilai gaya angkat digunakan persamaan 2.16 :

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

$$F_L = \frac{1}{2} (-0,17081685 \times 1,164 \text{ kg/m}^3 \times 2,7^2 \text{ m/s} \times 0,48 \text{ m}^2)$$

$$F_L = -0,347874391 \text{ N}$$

Untuk menghitung nilai koefisien gaya angkat digunakan persamaan 2.17 :

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

$$C_L = \frac{2 \times (-0,347874391) \text{ N}}{1,164 \text{ kg/m}^3 \times 2,7^2 \text{ m/s}^2 \times 0,48 \text{ m}^2}$$

$$C_L = -0,17081685$$

Kemudian untuk menghitung gaya hambat dan koefisien hambat dari variasi yang lainnya, dapat dicari dengan menggunakan persamaan yang sama.

Dari ke enam *body* dapat dilihat perbedaan persentase nilai *drag force* dan *lift force* pada setiap *body* dengan variasi *leading edge*. Untuk perbedaan persentase dapat dilihat pada Tabel 4.10 dan Tabel 4.11.

Tabel 4. 10 Perbandingan nilai FD dan CD pada setiap *body*

Variasi Sudut <i>Leading Edge</i>	FD		CD	
	Nilai	%	Nilai	%
36° A(0.48m ²)	2,343		0,157	
15° A(0.48 m ²)	2,171	-7,31%	0,144	-8,25%
0° A(0.48 m ²)	2,306	-1,57%	0,153	-2,57%
36° A(0.39m ²)	1,656	-29,28%	0,135	-14,05%
15° A(0.39 m ²)	1,928	-17,67%	0,137	-12,63%
0° A(0.39 m ²)	1,598	-31,78%	0,130	-16,95%

Tabel 4. 11 Perbandingan nilai FL dan CL pada setiap *body*

Variasi Sudut <i>Leading Edge</i>	FL		CL	
	Nilai	%	Nilai	%
36° A(0.48m ²)	-4,202		-0,241	
15° A(0.48 m ²)	-4,147	-1,31%	-0,255	5,83%
0° A(0.48 m ²)	-4,504	7,20%	-0,270	11,87%
36° A(0.39 m ²)	-1,829	-56,47%	-0,138	-42,56%
15° A(0.39 m ²)	-1,960	-53,35%	-0,146	-39,21%
0° A(0.39 m ²)	-1,755	-58,22%	-0,131	-45,66%

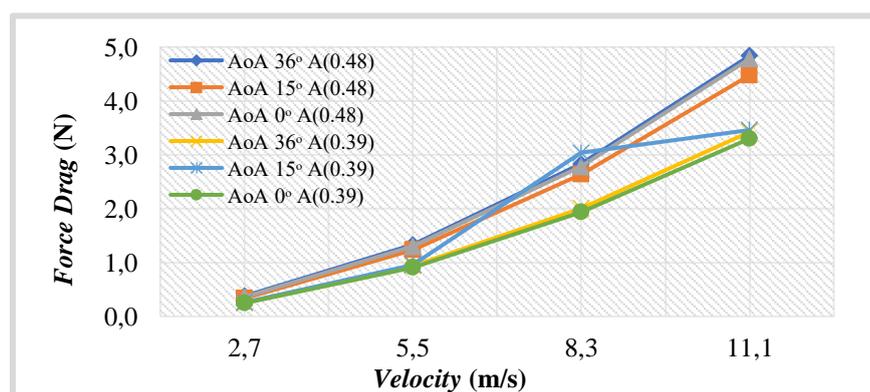
Tabel 4.10 menunjukkan bahwa *body frontal area* A(0.48m²) dengan sudut *leading edge* 36° digunakan sebagai data awal validasi dalam memvariasikan *frontal area* dan *leading edge* pada *body* lainnya. Maka dari tabel tersebut diketahui terjadi penurunan presentase dari setiap variasi *frontal area* dan *leading edge*. Untuk *body frontal area* A(0.48m²) dapat dilihat terjadi penurunan presentase terbesar pada *body* dengan sudut *leading edge* 15° sebesar 7,31% kemudian mengalami penurunan presentase terkecil pada sudut *leading edge* 0° sebesar 1,57%. Untuk *body frontal area* A(0.39m²) mengalami penurunan presentase terbesar yang terjadi pada sudut *leading edge* 0° sebesar 31,78% dan mengalami penurunan presentase terkecil pada sudut *leading edge* 15° sebesar 17,67%. Kemudian dari sudut *leading edge* 36° pada kedua variasi *frontal area*, terjadi penurunan presentase yang signifikan pada *frontal area* A(0.39m²) sebesar

29,28%. Hal ini korelasinya dengan *drag coefficient* menunjukkan terjadi penurunan presentase juga pada variasi *frontal area* dan *leading edge* yang sama.

Untuk nilai gaya angkat dan koefisien angkat dapat dilihat pada Tabel 4.11, pada tabel tersebut untuk *body* dengan *frontal area* $A(0.48\text{m}^2)$ dapat dilihat terdapat kenaikan presentase pada *body* dengan sudut *leading edge* 0° sebesar 7,20% dan mengalami penurunan presentase pada *body* dengan sudut *leading edge* 15° sebesar 1,31%. Untuk *body* dengan *frontal area* $A(0.39\text{m}^2)$ mengalami penurunan presentase terbesar pada sudut *leading edge* 0° , yaitu sebesar 58,22% dan mengalami penurunan presentase terkecil pada sudut *leading edge* 15° sebesar 53,35%. Kemudian dari sudut *leading edge* 36° pada kedua variasi *frontal area*, terjadi penurunan presentase yang signifikan pada *frontal area* $A(0.39\text{m}^2)$ sebesar 56,47%.

4.2.4. Gaya Hambat (*Drag Force*)

Dengan melakukan melakukan perhitungan menggunakan persamaan gaya hambat dan persamaan koefisien gaya hambat, serta melihat data hasil simulasi dari Tabel 4.4 sampai dengan Tabel 4.9 maka didapatkan nilai gaya hambat pada setiap peningkatan kecepatan aliran udara pada setiap *body* dengan pemodelan variasi *frontal area* dan *leading edge*. Maka secara lengkap hasil simulasi dapat dilihat pada Grafik Gambar 4.2.

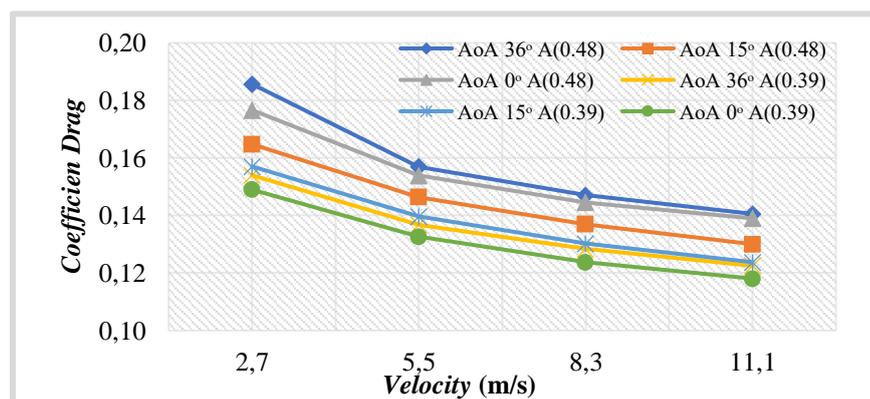


Gambar 4. 2 Garfik *drag force* terhadap *velocity* pada variasi *frontal area* dan *leading edge*

Perubahan gaya hambat yang terjadi disebabkan oleh perubahan kecepatan aliran udara dan variasi sudut serang bagian depan (*leading edge*) dan

sangat berpengaruh terhadap *frontal area*. Pada grafik dapat dilihat dari kedua variasi *frontal area* dengan tiga variasi sudut *leading edge* pada setiap *body*-nya, maka *body* dengan *frontal area* $A(0.48\text{m}^2)$ didapatkan nilai *drag force* terkecil pada sudut *leading edge* 15° sebesar 2,171 N pada kecepatan rata-rata m/s. Hal ini dikarenakan sudut *leading edge* 15° menghasilkan aliran turbulensi lebih kecil pada bagian belakang *body* dari pada sudut *leading edge* 36° dan 0° . Sementara *body* dengan *frontal area* $A(0.39\text{m}^2)$ untuk nilai *drag force* terkecil didapatkan pada *body* dengan sudut *leading edge* 0° sebesar 1,598 N pada kecepatan rata-rata m/s. Hal ini terjadi dikarenakan hambatan udara yang diterima oleh *body* semakin kecil dan bentuk *body* yang hampir *streamline* dengan *frontal area* yang kecil serta sudut *leading edge* yang datar dengan area permukaan jalan yang membuat aliran udara bergerak lebih bebas pada area permukaan diatas *body*, sehingga menghasilkan aliran turbulen yang kecil di belakang *body* yang membuat *drag force* semakin kecil.

Kemudian untuk nilai koefisien gaya hambat (*drag force coefficient*) nya juga turun pada setiap variasi sudut *leading edge* dan *frontal area* serta mengalami penurunan seiring dengan peningkatan kecepatan aliran udara secara teoritik. Grafik koefisien gaya hambat dapat dilihat pada Gambar 4.3.



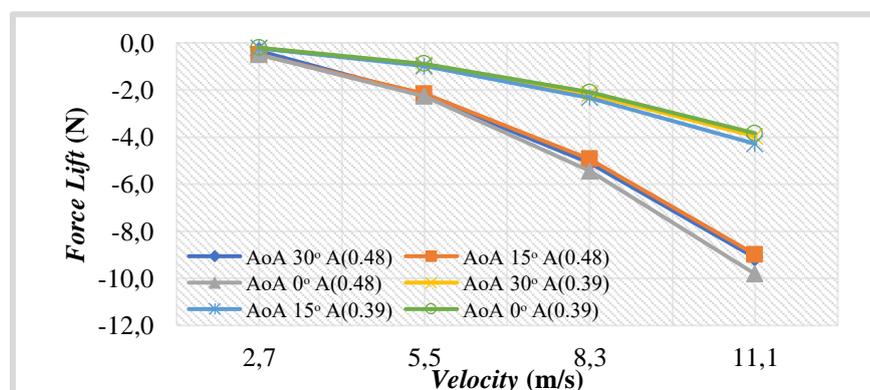
Gambar 4. 3 Grafik *drag force coefficient* terhadap *velocity* pada variasi *frontal area* dan *leading edge*

Pada Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa penurunan sudut *leading edge* dan *frontal area* dapat memperoleh pengurangan *drag* hingga 4,44% sampai 26,25% yang dimana dapat meningkatkan performa aerodinamis kendaraan. Kemudian pada *body frontal area* $A(0.48\text{m}^2)$ ditunjukkan sudut *leading edge* 15° mengalami

penurunan *drag coefficient* yang lebih kecil sebesar 0,144 pada kecepatan rata-rata m/s, hal ini terjadi karena aliran pada titik stagnasi pada sudut ini menghasilkan *pressure* yang besar pada bagian depan *body* dan menghasilkan *pressure* lebih kecil pada bagian belakang *body* dari pada daerah sisi *upstream*. Daerah ini terjadi setelah titik sparasi dan biasa disebut dengan *wake*. sehingga mengakibatkan perbedaan tekanan yang besar. Akibat perbedaan ini maka akan terjadi *drag force* pada kendaraan. Kemudian pada *body frontal area* $A(0.398\text{m}^2)$ sudut *leading edge* 0° mempunyai nilai *drag coefficient* lebih kecil sebesar 0,130 pada kecepatan rata-rata m/s dari pada sudut 30° dan 15° . Hal ini terjadi karena sudut 30° dan 0° menghasilkan *wake* pada area belakang *body* lebih besar, sehingga *drag force* yang dihasilkan juga besar. *Drag coefficient* juga sangat berpengaruh terhadap laju aliran udara, seperti pada gambar 4.3 dapat disimpulkan bahwa semakin meningkat laju aliran udara diberikan, maka akan semakin menurun nilai *drag coefficient* yang dihasilkan dan juga penurunan sudut *leading edge* pada setiap *body* dapat menurunkan nilai *coefficient drag* pada *body* kendaraan.

4.2.5. Gaya Angkagt (*Force Lift*)

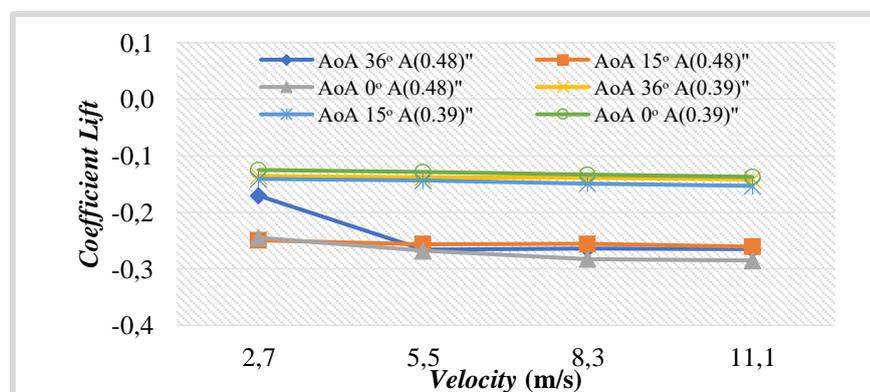
Dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan gaya angkat dan persamaan koefisien gaya angkat, serta melihat hasil simulasi dari Tabel 4.7 sampai dengan Tabel 4.9 maka didapatkan nilai gaya angkat pada setiap *body* dengan pemodelan variasi *frontal area* dan *leading edge* terhadap laju aliran udara. Secara lengkap hasil simulasi dapat dilihat pada grafik Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Grafik gaya angkat *body* sudut *leading edge* 36° , 15° dan 0° $A=(0.48\text{m}^2)$ dan sudut *leading edge* 0° $A(0.39\text{m}^2)$

Berdasarkan Gambar 4.4 dapat dilihat setiap *body* dengan variasi *leading edge* dan variasi *frontal aerea*, mengalami gaya ke bawah (*down force*). Hal ini dapat dilihat pada *report definitions* untuk *force vector* (y) menunjukkan (-y), artinya hasil dari nilai *lift force* mengarah kebawah yang menghasilkan (*down force*). Pada gambar 4.4 terjadi perbedaan nilai *downforce* yang sangat signifikan antar kedua variasi *frontal area*. Pada *body* dengan *frontal area* A(0.48m²), dihasilkan nilai *downforce* tertinggi pada sudut *leading edge* 0° sebesar 4,50492296 N pada kecepatan rata-rata m/s. Hal ini terjadi karena *pressure* pada bagian atas *body* lebih besar dari pada bagian bawah *body* (Anderson J. D, 2010) sehingga dalam prinsip *down force* tekanan tinggi diatas menekan tekanan rendah di bawah. Perbedaan tekanan ini terjadi karena adanya perbedaan *velocity* pada bagian atas dan bawah. Dalam kasus ini *velocity* pada bagian atas *body* lebih lambat karena adanya efek tegangan geser sehingga membuat tekanan di atas *body* semakin besar. Kemudian pada *body* dengan *frontal area* A(0.39m²) dihasilkan nilai *downforce* tertinggi pada sudut *leading edge* 15° sebesar 1,960279148 N pada kecepatan rata-rata m/s, hal ini terjadi karena *velocity* yang melaju pada bagian bawah *body* lebih lambat dari pada sudut *leading edge* 36° dan 0°.

Bentuk *body* adalah aspek penting dalam aerodinamika, desain *body* yang menghasilkan nilai *down force* yang tinggi akan membuat kendaraan semakin stabil ketika berbelok pada saat laju kendaraan sangat kencang. Oleh karena itu menurunkan *lift force* dan meningkatkan *down force* pada kendaraan akan sangat diperhatikan. Untuk Grafik koefisien gaya angkat dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Grafik *lift force coefficient* terhadap *velocity* pada variasi *frontal area* dan *leading edge*

Gambar 4.5 menunjukkan *body frontal area* $A(0.48\text{m}^2)$ dengan sudut *leading edge* 0° mengalami peningkatan yang signifikan dari *velocity* 2.7 m/s sebesar -0,170, menuju *velocity* 5.5 m/s sebesar -0,265 N dan kemudian menunjukkan nilai *lift coefficient* yang meningkat terhadap bertambahnya *velocity* tetapi cenderung konstan. pada kedua sudut *leading edge* 36° dan 15° ini hampir memiliki masing-masing nilai *lift coefficient* yang saling mendekati, serta nilai *lift coefficient* yang semakin bertambah terhadap meningkatnya *velocity* tetapi cenderung konstan juga. Kemudian *body frontal area* $A(0.39\text{m}^2)$ didapatkan nilai *lift coefficient* terbesar pada sudut *leading edge* 15° -0,146 dan pada sudut 36° dan 0° nilai *lift coefficient* terus meningkat seiring bertambahnya *velocity* tetapi cenderung konstan ketiganya. Maka pada variasi *frontal area* di dapatkan nilai *lift coefficient* terbesar pada *front area* $A(0.48\text{m}^2)$ hal ini dikarenakan *pressure* yang dihasilkan pada area atas *body* lebih besar dibandingkan *front area* $A(0.39\text{m}^2)$.

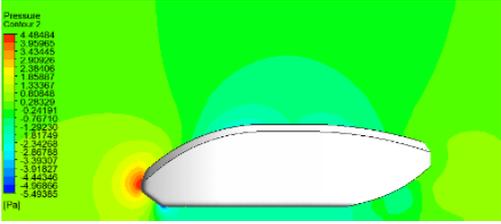
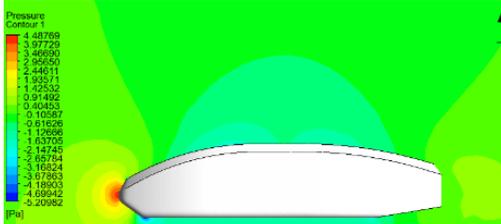
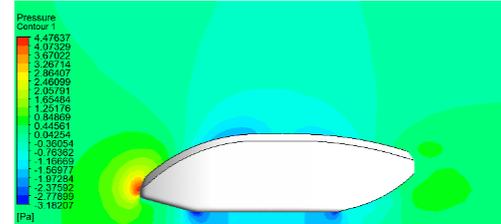
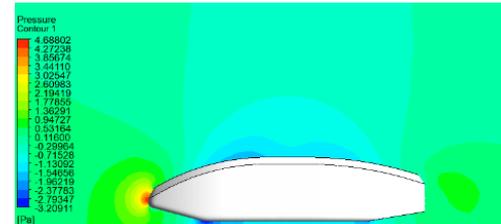
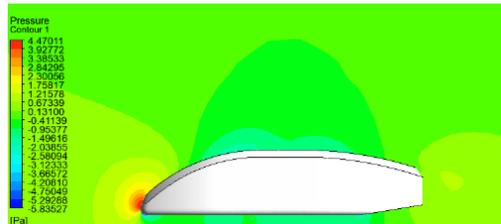
4.3. Kontur Aerodinamika *Body* Terhadap Variasi *Frontal Area* dan *Leading Edge*

Dari hasil simulasi yang didapatkan maka dapat dilihat berupa kontur aerodinamika yang terjadi pada sekitar area *body* kendaraan. Kontur ini berupa tekanan (*pressure*) kecepatan aliran udara (*velocity*) dan turbulen (*turbulence kinetic*). Dari hasil kontur yang dilihat dapat di analisis pengaruh aerodinamika pada *body* kendaraan.

4.3.1. Kontur Distribusi Tekanan

Distribusi tekanan digunakan untuk melihat bagian *body* kendaraan yang terjadi tekanan tertinggi dan pengaruh akibat kecepatan aliran udara terhadap tekanan udara yang terjadi pada *body* kendaraan saat melaju. Berikut merupakan hasil simulasi kontur tekanan yang terjadi pada variasi *velocity* pada desain *body*, kontur tekanan dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4. 12 Kontur distribusi tekanan terhadap variasi *frontal area* dan *leading edge* pada *body*

<i>Frontal Area</i> $A=0.48 \text{ m}^2$	<i>Frontal Area</i> $A=0.39 \text{ m}^2$
AoA 36°	
$V = 2,7 \text{ m/s}$	$V = 2,7 \text{ m/s}$
 <p style="text-align: center;"><i>Min</i> : -5,493 Pa <i>Max</i> : 4, 484 Pa</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Min</i> : -5,209 Pa <i>Max</i> : 4, 487 Pa</p>
AoA 15°	
$V = 2,7 \text{ m/s}$	$V = 2,7 \text{ m/s}$
 <p style="text-align: center;"><i>Min</i> : -3,182 Pa <i>Max</i> : 4,476 Pa</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Min</i> : -3,209 Pa <i>Max</i> : 4,688 Pa</p>
AoA 0°	
$V = 2,7 \text{ m/s}$	$V = 2,7 \text{ m/s}$
 <p style="text-align: center;"><i>Min</i> : -5,668 Pa <i>Max</i> : 4,466 Pa</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Min</i> : -5,835 Pa <i>Max</i> : 4,470 Pa</p>

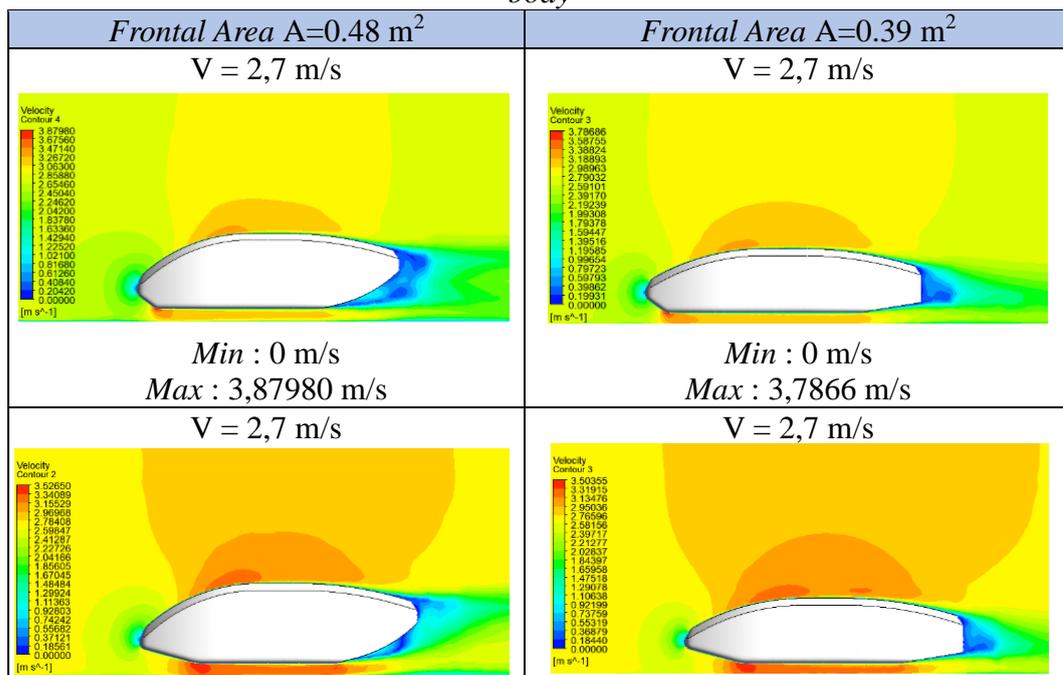
Pada Tabel 4.12 menunjukkan plot kontur distribusi tekanan untuk desain *body* pada variasi *frontal area* dan sudut *leading edge* dengan kecepatan awal yaitu 2.7 m/s . Dalam kontur tersebut, terdapat warna yang mengindikasikan tinggi rendahnya *pressure*. Pada warna merah menunjukkan tekanan tertinggi, sementara warna hijau menunjukkan tekanan yang lebih rendah. Pada bagian depan *body*, tekanan mencapai pada titik tertinggi dan terjadi *stagnation point*. *Stagnation point* ini merupakan titik dimana terjadi aliran udara yang sepenuhnya

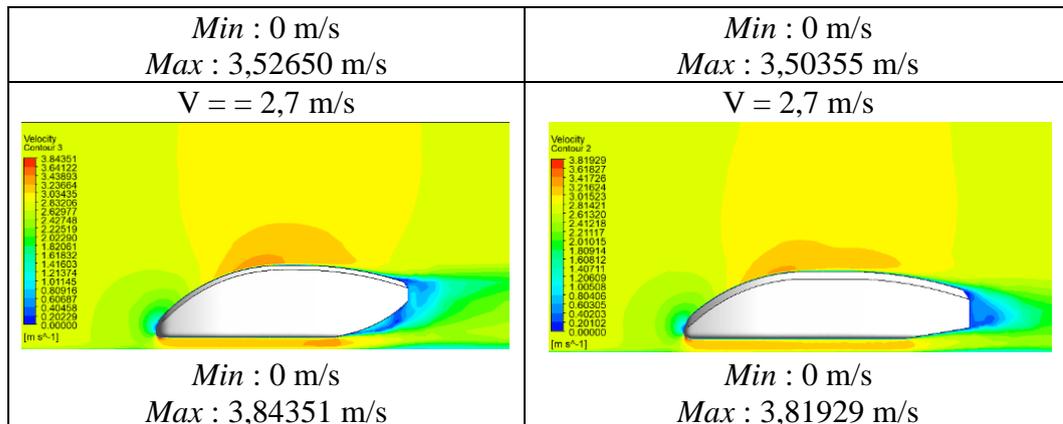
terhenti di bagian depan *body*, sehingga menyebabkan kecepatan aliran udara menjadi nol dan membuat *static pressure* semakin tinggi (White, 2011). Pada bagian tengah *body* terlihat kontur berwarna biru yang menunjukkan *velocity* udara yang tinggi, sehingga membuat *static pressure* lebih rendah dari pada tekanan atmosfer (vakum). Hal ini dikarenakan sudut *leading edge* yang mempengaruhi aliran udara ketika melewati *body* saat sedang melaju. Kecepatan aliran udara yang melewati bagian depan *body* akan melambat, hal ini terjadi karena adanya efek tegangan geser antara partikel udara dengan permukaan *body* yang kemudian membentuk aliran sparasi yang menyebabkan *drag force* bertambah (White, 2011).

4.3.2. Kontur Distribusi Kecepatan

Distribusi kecepatan udara yang terjadi pada *body* kendaraan digunakan untuk melihat pada bagian *body* area kecepatan udara terendah ketika melaju, serta pada kontur kecepatan berhubungan dengan kontur tekanan, maka sangat penting untuk mengetahui bagian mana yang memiliki kontur kecepatan yang tinggi pada bagian *body*. kontur distribusi kecepatan udara dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4. 13 Kontur distribusi kecepatan variasi *frontal area* dan *leading edge* pada *body*



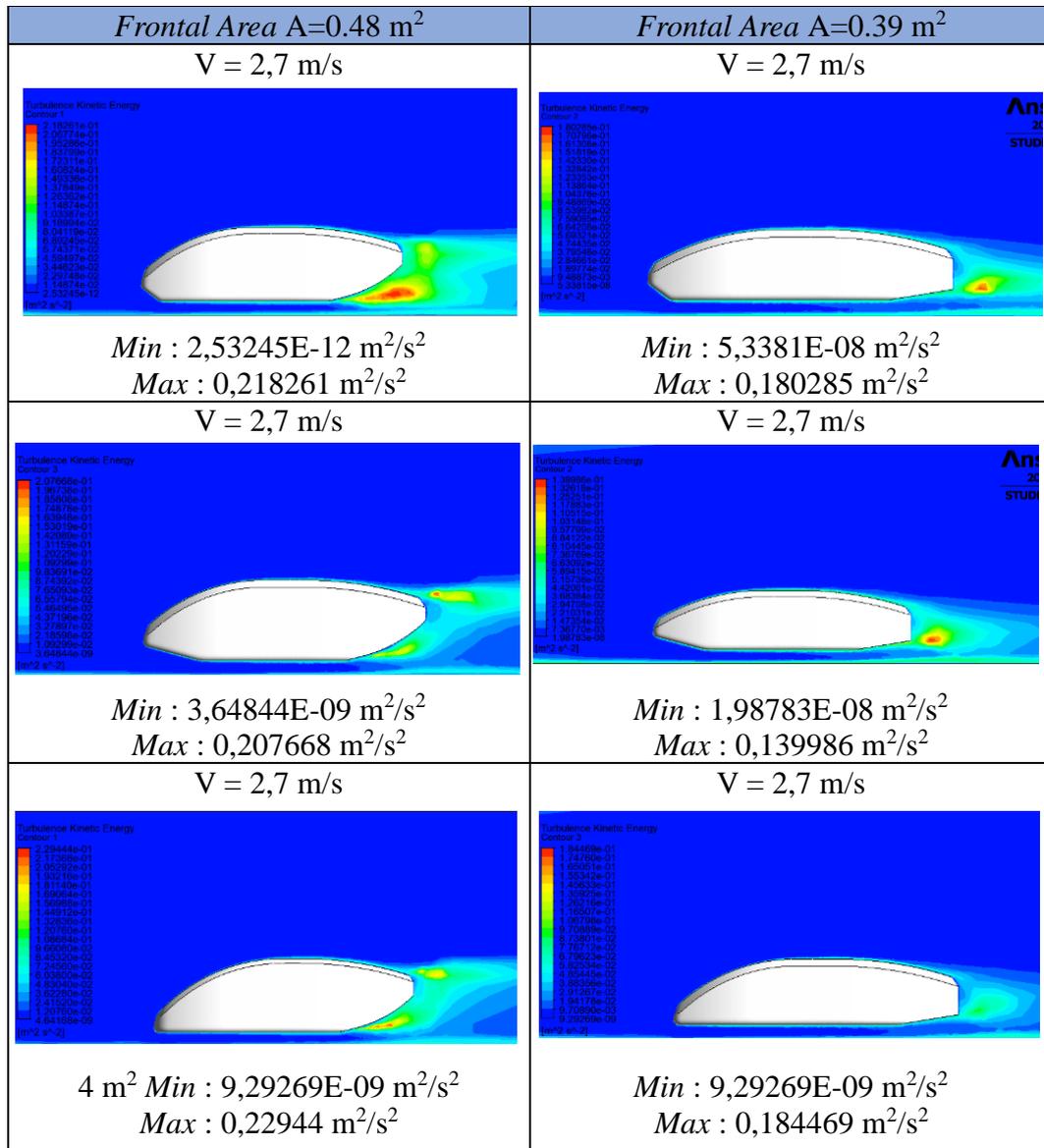


Tabel diatas menunjukkan kontur distribusi kecepatan untuk desain *body* pada variasi *frontal area* dan sudut *leading edge* pada awal kecepatan 2.7 m/s. Pada gambar terlihat kecepatan udara rendah terjadi pada bagian depan *body* dan belakang *body*. Pada daerah belakang *body* terjadi turbulensi yang akan menyebabkan tingginya *drag force* yang terjadi. Hal ini terjadi karena adanya separasi aliran yang terbentuk yang akan menyebabkan *wake* sehingga terjadi perbedaan tekanan antara belakang dan depan *body* yang dapat memperbesar *drag force* (Ansys. Inc. 2020). Dalam kontur dapat dilihat area bagian bawah *body* kontur berwarna merah, hal ini menunjukkan bahwa aliran udara yang melewati bagian bawah mobil semakin tinggi karena terjadi penyempitan ruang antara *body* bawah dengan lapisan datar, kemudian bagian atas *body* terjadi kecepatan udara yang tinggi, hal ini dikarenakan pengaruh dari *maximum thickness* pada *body*. Maka perbedaan kecepatan akan sangat mempengaruhi nilai kecepatan udara saat melewati *body*. Semakin besar kecepatan maka akan semakin tinggi nilai kecepatan udara yang terjadi. *Body A*(0.48m²) nilai maksimum kecepatan udara yang terjadi lebih tinggi, dari pada *body A*(0.39m²).

4.3.3. Kontur Fenomena Turbulensi

Aliran turbulensi yang terjadi pada *body* kendaraan akan sangat mempengaruhi gaya hambatan udara yang terjadi pada kendaraan saat melaju. Pengaruh turbulensi dibelakang *body* berhubungan dengan dengan bentuk *body*. Berikut merupakan hasil simulasi kontur turbulensi yang terjadi pada *body* dengan variasi sudut *leading edge* dan *frontal area* dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4. 14 Kontur distribusi turbulensi variasi *frontal area* dan *leading edge* pada *body*



Kontur diatas merupakan fenomena turbulensi yang terjadi pada bidang plane xy dengan diberbagai kecepatan dan variasi *frontal area* serta variasi sudut *leading edge*, yang dimana terjadi sirkulasi udara pada bagian belakang *body*. Turbulensi terjadi karena adanya ketidakteraturan aliran udara yang terjadi di sekitar *body*. Adanya perbedaan tekanan serta kecepatan aliran udara yang melewati bagian bawah dan bagian atas *body* menyebabkan aliran udara yang tidak teratur dan memutar saat melewati bagian belakang *body*.

Semakin besar kontur *wake* maka akan semakin tinggi nilai turbulensi yang dihasilkan. Pertambahan *wake* yang semakin besar berarti separasi aliran yang terjadi lebih cepat. Semakin besar kontur *wake* yang dihasilkan dan semakin tinggi nilai *turbulence kinetic energy* yang terjadi maka akan semakin besar gaya hambat yang dihasilkan. Dapat disimpulkan bahwa besarnya turbulensi yang terjadi berbanding lurus dengan gaya hambat yang dihasilkan

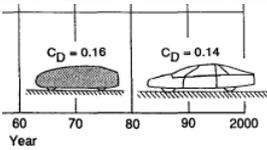
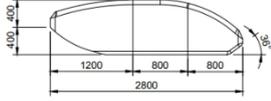
4.4. Diskusi Hasil Simulasi

Dari hasil simulasi yang didapatkan maka tahap selanjutnya dilakukan Perbandingan dengan penelitian terdahulu sebagai salah satu parameter dasar keakurasian hasil data simulasi. Maka dengan ini ada beberapa parameter yang diambil dari penelitian terdahulu sebagai validasi hasil data simulasi dalam penelitian tugas akhir.

4.4.1. Validasi keakurasian hasil simulasi

Perbandingan pertama dilakukan dengan membandingkan nilai *drag coefficient* pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Hucho dan Sovran, 1990) dengan judul “*Aerodynamics Of Road Vehicles*”, dengan bentuk *body* mobil yang menyerupai dengan bentuk *body* penelitian saat ini. Hasil perbandingan nilai *drag coefficient* dapat dilihat pada Tabel 4.15.

Tabel 4. 15 Perbandingan nilai C_D peneliti terdahulu sebagai parameter keakurasian

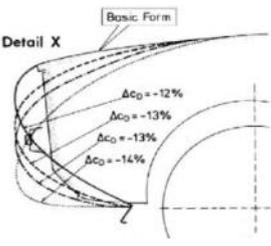
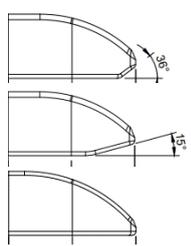
Variabel	Metode Penelitian	Hasil Penelitian Terdahulu	Hasil Penelitian Sekarang
<i>Drag coefficient</i>	<i>Computational Fluid Dynamic (CFD)</i>		
		Dengan menggunakan metode CFD didapatkan C_D pada <i>body</i> mobil sebesar 0,16.	Dengan menggunakan metode dan variabel yang sama, maka didapatkan nilai C_D pada <i>body</i> mobil sebesar 0,15.

Dari Tabel 4.15 dapat diketahui perbandingan antar kedua hasil penelitian memiliki konvergensi yang cukup baik. Maka dari itu tingkat keakurasian hasil penelitian saat ini bisa dikatakan mempunyai validasi yang akurat.

4.4.2. Variasi *leading edge* pada *body* kendaraan

Perbandingan selanjutnya dilakukan pada variasi *frontal area*, berdasarkan landasan teorikal pada buku *Fluid Mechanics*, oleh White, F. M. (2011), bahwasannya semakin kecil *frontal area* maka *drag coefficient* yang dihasilkan akan semakin kecil, serta menurunkan sudut bagian depan dapat mengurangi *drag coefficient* (Hucho dan Sovran, 1993) pada buku *Aerodynamics Concept Study Of Electric Vehicles* (Aktas, U dan Abdallah, K, 2017).

Tabel 4. 16 Persentase perbandingan variasi sudut *leading edge* peneliti terdahulu dengan hasil penelitian

Variabel	Metode Penelitian	Hasil Penelitian Terdahulu	Hasil Penelitian Sekarang
<i>Drag coefficient</i>	<i>Computational Fluid Dynamic (CFD)</i>		
		Desain ujung depan menghasilkan pengurangan drag 14%. Menurunkan hidung kendaraan, diperoleh peningkatan performa aerodinamis.	Dengan menurunkan sudut depan dari <i>body frontal area</i> 0.48m ² , didapatkan hasil penurunan <i>drag</i> 8,25%.

Tujuan dalam dilakukan perbandingan terhadap peneliti terdahulu adalah sebagai parameter atau validasi dalam menyimpulkan ke akurasian yang didapatkan pada hasil penelitian, yaitu ditinjau dari metode yang digunakan sama, berupa *computational fluid dynamic (CFD)* serta teorikal yang digunakan. Selain itu membandingkan hasil peneliti terdahulu dengan hasil data penelitian sekarang dapat meminimalisir pengeluaran dana untuk perbandingan pengujian

secara eksperimen, selain itu juga pengujian eksperimen yang dilakukan dengan menggunakan *windtunnel* hanya ada beberapa yang sudah terverifikasi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan simulasi yang telah dilakukan untuk mengetahui nilai aerodinamis pada *body* dan seluruh data yang telah diperoleh, maka peneliti dapat mengambil kesimpulan sesuai dengan tujuan paneliti yang mana akan menjadi acuan dalam hal optimasi desain *body* kendaraan prototipe. Adapun kesimpulan dalam penelitian ini yang didapat sebagai berikut:

1. Dari pengaruh aerodinamika terhadap variasi *frontal area* disetiap kecepatan aliran udara diperoleh nilai *drag coefficient* cenderung menurun dan untuk *drag force* cenderung meningkat, dan untuk variasi sudut *leading edge* pada *frontal area* disetiap kecepatan aliran udara diperoleh nilai *lift coefficient* cenderung konstan dan untuk *lift force* (*downforce*) cenderung meningkat.
2. Pada kontur distribusi tekanan dapat dilihat bahwa semakin kecil *frontal area* dan *leading edge* akan membuat *static pressure* pada bagian depan *body* semakin rendah. Pada kontur distribusi kecepatan, bagian tengah atas *body* terjadi kecepatan tertinggi pada bagian atas dan bawah *body* yang akan mempengaruhi *downforce* pada *body*. Kemudian untuk fenomena turbulensi terjadi pada bagian belakang *body*, pengaruh *frontal area* dan sudut *leading edge* serta bagian belakang *body* sangat signifikan dalam penurunan area turbulensi yang terjadi.
3. Berdasarkan hasil analisis aerodinamis, pada *body* dengan memperkecil ukuran *frontal area* dan menurunkan sudut *leading edge* didapatkan penurunan nilai *drag coefficient* sebesar 11,34% dan penurunan *lift coefficient* -0,45%. Maka didapatkan *body* paling optimal diperoleh pada *body frontal area* 0.48m dengan sudut *leading edge* 0°.

5.2. Saran

Dari penelitian dan hasil simulasi yang telah dilakukan ada beberapa hal yang perlu dicermati dan di perbaiki yaitu sebagai berikut :

1. Pada analisa CFD pada *body* yang akan dilakukan selanjutnya hendaknya lebih mempertimbangkan modifikasi bentuk *body* yang mempengaruhi nilai *drag force* dan *lift force* pada aliran udara yang melintasi *body* pada kondisi stagnasi, karena hal ini akan mempengaruhi koefisien hambat dan angkat serta kesetabilan mobil saat melaju terutama saat pada tikungan atau belokan.
2. Pada proses manufaktur dari *body*, disarankan untuk dapat menggunakan material carbon fiber agar mendapatkan hasil efisiensi yang lebih optimal untuk kendaraan *prototype*.
3. Pada penelitian selanjutnya apabila analisis menggunakan *software* Ansys Workbench 2023 Student Version disarankan untuk menggunakan komputer yang memiliki *system requirements* yang lebih baik lagi.

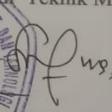
DAFTAR PUSTAKA

- Aktas, U., Abdallah, K. (2017). *Aerodynamics Concept Study of Electric Vehicles*. Department of Applied Mechanics, Chalmers University Of Technology Gothenburg, Sweden.
- Anderson, J. D. (2007). *Fundamentals of Aerodynamics* (5th ed.). USA: McGraw-Hill.
- Ansys. Inc. (2020). *External Flows*, P.T Cadfem Simulation Technology Jakarta Selatan.
- Ansys. Inc. (2010). *Introduction to ANSYS Meshing*, P.T Cadfem Simulation Technology Jakarta Selatan
- Artono, B., Winarno, B., dan Hidayatullah, N. A. (2019). *Rancang Bangun Smart Plug Untuk Sistem Monitoring dan Proteksi Hubungsingkat Listrik*. 2, 77-84.
- Badrawada, I. G., Purwanto, A., dan R, F. E. (2019). *Analisa Aerodinamika Body Kendaraan Mataram Proto Diesel Dengan Ansys 15.0*. Universitas Proklamasi 45 Yogyakarta
- Cengel, Y. A., dan Cimbala, J. M. (2014). *Fluid Mechanics Fundamentals and Applications*. USA: McGraw-Hill.
- Dobrev, I., Massouh, F., Danlos, A., Todrow, M., dan Punov, P. (2017). *Experimental And Numerical Study Of The Flow Field Around A Small Car*. Technical University Bulgaria. Diambil dari [DOI: 10.1051/mateconf/201713302004](https://doi.org/10.1051/mateconf/201713302004)
- Hafitsah, Y. (2016). *Analisa Geometri Bodi Mobil Dan Aerodinamis Material Berbahan Dasar Serat Fiber*. Universitas Medan.
- Hakim, R., Nugroho, C. B., dan Ruzianto. (2016). *Desain Dan Analisa Aerodinamika Dengan Menggunakan Pendekatan CFD Pada Model 3d Untuk Mobil Prototype "Engku Putri"*. Politeknik Batam. Diambil dari <https://www.researchgate.net/publication/328899414>
- Hasugian, T. D. (2018). *Simulasi Aerodinamika Pada Mobil Listrik Nogogeni Dengan Menggunakan Software Ansys Fluent*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Hucho, W., dan Sovran, G. (1980). *Aerodynamics Of Road Vehicles*. Diambil dari <https://doi.org/10.1146/annurev.fl.25.010193.002413>

- Jhon, S. J. S. (2017). *Analisis Aerodinamika Body Mobil Hemat Energi Antawirya Residual-Sat Dengan Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics*. Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. Diambil dari <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jtm>
- Pedoman Kontes Mobil Listrik Hemat Energi. (2022). Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi
- Serie, A. E., Oran E., dan Utcu O. (2017). *Aerodynamics Assessment Using Cfd For A Low Drag Shell Eco-Marathon Car*. University Press, Istanbul, Turkey. Diambil dari <https://www.researchgate.net/publication/321090219>
- Sultoni, Y. F. (2019). *Desain Dan Analisis Aerodinamika Pada Mobil Listrik Tipe Urban Concept Menggunakan Computational Fluid Dynamic (CFD)*. Universitas Ponorogo.
- Syahputra, B. D. (2021). *Desain Dan Analisis Mobil Tipe Urban Concept Terhadap Karakteristik Aerodinamika Menggunakan Computational Fluid Dynamics (Cfd)*. Universitas Muhammadiyah Ponorogo. Diambil dari <http://eprints.umpo.ac.id/7636/>
- White, F. M. (2011). *Fluid Mechanics*. USA: McGraw-Hill.
- Wirawan, M., Yudhyadi, I., dan Aswari, Y. (2016). *Analisis Aerodinamika Mobil Listrik "Mandalika Ev" Menggunakan Software Autodesk Computational Fluid Dynamic (CFD)*. Universitas Mataram. Diambil dari <http://dinamika.unram.ac.id/index.php/dinamika>
- Wulandari, B. (2010). *Pengaruh Koefisien Hambatan Udara Pada Bentuk Lokomotif Terhadap Gaya Aerodinamis Kereta Api Argo Lawu*. Universitas Sebelas Maret. Diambil dari <http://digibli.uns.ac.id>
<https://deust.wordpress.com/2013/04/23/meshing->
- Yusuf, A. (2017). *Analisa Aerodinamika Dan Optimasi Body Mobil Smart EV Generasi Tiga Dengan Menggunakan Pemodelan CFD Tiga Dimensi*. Universitas Sebelas Maret. Diambil dari <http://digibli.uns.ac.id>

LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Penunjukan Pembimbing Proposal Penelitian

	<p>KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN RISET, DAN TEKNOLOGI UNIVERSITAS MALIKUSSALEH FAKULTAS TEKNIK Jalan Batam, Blang Pulo, Muara Satu – Lhokseumawe – Aceh (24352) Telepon. (0645) 41373-40915 Faks. 0645-44450 Laman: http://teknik.unimal.ac.id Email: ft@unimal.ac.id</p>
<hr/>	
<p>SURAT PENUNJUKAN PEMBIMBING PROPOSAL PENELITIAN Nomor : 219/UN45.1.1/KM.00.00/2023</p>	
<p>Sehubungan dengan kegiatan pelaksanaan Proposal Penelitian mahasiswa atas :</p>	
Nama	: Rangga Adi Pengestu
Nim	: 190120091
Bidang	: Konversi Energi
Pada Semester	: Genap
Tahun Akademik	: 2022/2023
<p>Dengan ini menunjukkan Bapak Asnawi, S.T.,M.Sc Nip. 198002272006041010 Sebagai pembimbing Utama Proposal Penelitian dan Bapak Ahmad Nayan, S.T.,M.T Nip. 197504262002121001. Sebagai pembimbing Pendamping Proposal Penelitian mahasiswa tersebut diatas. Berdasarkan surat tugas ini, proses bimbingan terhadap mahasiswa tersebut ditetapkan, dan akan ditetapkan kembali melalui Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik.</p>	
<p>Demikian surat ini dikeluarkan dan untuk dapat dipergunakan seperlunya.</p>	
	<p>Lhokseumawe, 11 April 2023 Ketua Prodi Teknik Mesin  Abdul Rahman, S.T., M.Eng Nip. 196811202003121001</p> 
<p>Tembusan :</p> <ul style="list-style-type: none">- Dosen Pembimbing- Administrasi Prodi- Mahasiswa Bersangkutan	

*Lampiran 2 Surat Keterangan TIM Mobil Listrik Pase Team Universitas
Malikussaleh*



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS MALIKUSSALEH
FAKULTAS TEKNIK**

Jalan Batam, Blang Pulo, Muara Satu – Lhokseumawe – Aceh (24352)
Telepon. (0645) 41373-40915 Faks. 0645-44450
Laman: <http://teknik.unimal.ac.id> Email: ft@unimal.ac.id

**KEPUTUSAN
KETUA JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MALIKUSSALEH
NOMOR : 427/UN45.1.1/KM.04.02/2023**

**TENTANG
PENUNJUKAN PENGURUS TEAM PERANCANGAN MOBIL LISTRIK
PRODI TEKNIK MESIN JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MALIKUSSALEH**

- MENIMBANG** : a. bahwa untuk kelancaran pelaksanaan kegiatan perancangan mobil listrik bagi mahasiswa Prodi Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin, sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh, maka perlu penunjukan pengurus.
b. bahwa mereka yang namanya tercantum dalam lampiran surat keputusan ini dipandang cakap dan mampu untuk mengurus pelaksanaan kegiatan perancangan .
c. untuk memenuhi maksud tersebut perlu diatur dalam surat keputusan.
- MENINGAT** : 1. Undang-undang Nomor 20 Tahun 2003 Tentang Sistem Pendidikan Nasional.
2. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 60 Tahun 1999 Tentang Pendidikan Tinggi.
3. Keppres Nomor 95 Tahun 2001 Tentang Penegerian Universitas Malikussaleh.
4. Statuta Universitas Malikussaleh Tahun 2002
- MENETAPKAN** :
Pertama : Mengangkat mereka yang namanya tercantum dalam lampiran surat keputusan ini sebagai pengurus pelaksanaan kegiatan perancangan mobil listrik mahasiswa Prodi Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.
Kedua : Semua biaya akibat dikeluarkan Surat Keputusan ini dibebankan pada Anggaran Pendapatan Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.
Ketiga : Surat Keputusan ini mulai berlaku sejak tanggal selama 1 (satu) tahun dan apabila terdapat kekeliruan akan diperbaiki kembali sebagai mana mestinya.

MEMUTUSKAN

Ditetapkan di : Lhokseumawe
Pada Tanggal : 20 November 2023
Ketua,

Asnawi, S.T., M.Sc
Nip. 198002272006041010

Tembusan:

1. Dekan Fakultas Teknik
2. Yang bersangkutan
3. Arsip



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS MALIKUSSALEH
FAKULTAS TEKNIK

Jalan Batam, Blang Pulo, Muara Satu – Lhokseumawe – Aceh (24352)

Telepon. (0645) 41373-40915 Faks. 0645-44450

Laman: <http://teknik.unimal.ac.id> Email: ft@unimal.ac.id

Lampiran : Surat Keputusan
Ketua Jurusan Teknik Mesin
Nomor : 427/UN45.1.1/KM.04.02/2023
Tanggal : 20 November 2023

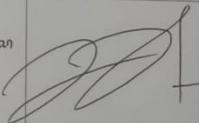
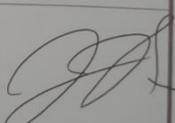
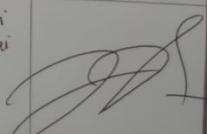
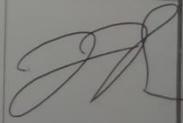
Daftar Nama-nama pengurus pelaksanaan kegiatan kegiatan perancangan mobil listrik Prodi
Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh

Penanggung Jawab : Asnawi, S.T.,M.Sc
Supervisor : Ahmad Nayan, S.T.,M.T
Reza Putra, S.T.,M.Eng
Leader : Mulya Rahman
Technical Division : 1. Dodi Alfarasi Hadi
2. Rangga Adi Pangestu
3. Fadhil Rizky Ramadhana
4. Muhammad Istiqlal
5. Kevin Hotman Pane

Ketua

Asnawi, S.T.,M.Sc
Nip. 198002272006041010

Lampiran 3 Bukti Konsultasi Dosen Pembimbing

 KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI UNIVERSITAS MALIKUSSALEH FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK MESIN – PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN Jl. Batam, Blang Pulo, Muara Satu- Lhokseumawe – Aceh (24352) Tel. (0645)41373-40915, Faks. (0645)44450 website: https://tm.unimal.ac.id , e-mail: teknikmesin@unimal.ac.id				
KARTU KEGIATAN KONSULTASI TUGAS AKHIR				
A. Identitas Mahasiswa			Kode Form	
Nama	Fangga Adi Pangestu		JTM.03/TGA	
NIM	190120091			
Konsentrasi Bidang (KDK)	Konversi Energi			
Dosen Pembimbing I	Asnawi, S.T., M.Sc			
Dosen Pembimbing II	Ahmad Nayan, S.T., M.T			
No	Hari/ Tanggal	Materi Bimbingan	Koreksi dan Arahan	Tanda Tangan Pembimbing
	Pabu 12 April 2023	Konfirmasi SK TGA	pengarahan pengambilan judul proposal tugas akhir dalam lingkup proyek mobil listrik	
	08 / 05 23.	Pemilihan Judul Proposal Tugas Akhir	" Konsumsi dan efisiensi daya baterai ". Tidak dilanjutkan karena mengarah pada bidang Teknik Elektro .	
	15 / 05 2023	Analisis aerodinamika bodi mobil listrik tipe prototipe hemat energi dengan variasi kecepatan udara 10 km/j, 20 km/j, 30 km/j menggunakan metode CFD	Menghapuskan kata prototipe dan hemat energi karena cangkupannya akan semakin luas .	
	09 / 06 2023	Revisi Judul	pada kata variasi kecepatan udara di ubah menjadi variasi kecepatan aliran udara, dan menghapuskan variasi 10 km/j, 20 km/j, 30 km/j .	
	01 / 08 2023	Revisi Judul .	Penambahan desain bodi modifikasi dengan desain bodi pertama sebagai parameternya .	
	07 / 08 2023	Penambahan materi BAB III pada pemilihan fluid Models	pemilihan fluid models diharapkan hasil yang diperoleh harus akurat	



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
 UNIVERSITAS MALIKUSSALEH
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN – PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
 Jl. Batam, Blang Pulo, Muara Satu- Lhokseumawe – Aceh (24352)
 Tel. (0645)41373-40915, Faks. (0645)44450
 website: <https://tm.unimal.ac.id>, e-mail: teknikmesin@unimal.ac.id

Kartu Kegiatan Konsultasi Tugas Akhir				Form JTM.03/TGA
No	Hari/ Tanggal	Materi Bimbingan	Koreksi dan Arahan	Tanda Tangan Pembimbing
7.	14 / 08 2023	Revisi Judul	Perubahan variasi bedi yang menjadi perbedaan diantara kedua bedi.	
8.	23 / 08 2023	Konsultasi Judul	" Analisis aerodinamika bedi mobil listrik dengan metode Computational fluid dynamic (CFD) pada variasi frontal area dan kecepatan aliran udara menggunakan software ansys fluent "	
9.	01 / 09 2023	Pumusan masalah dan tujuan penelitian	Perambahan bentuk kontur bedi .	
10.	05 / 09 2023		ACE Seminar Proposal.	
11.	03 / 09 2023 .	Bimbingan revisi Proposal Tugas Akhir.	Jurnal Internasional terkait eksperimental dan simulasi di jadikan sebagai referensi.	
12.	27 / 11 2023	BAB IV	Perambahan variasi sudut 15° dan 30° pada bedi.	
13.	11 / 12 2023 .	BAB IV.	Revisi penulisan rumus (,) pada hasil data dan Gambar grafik.	

Catatan:

- Lembar ini diprint pada kertas warna biru muda.
- Diisi setiap kali pertemuan dan Jumlah pertemuan bimbingan disesuaikan dengan kebutuhan.



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
 UNIVERSITAS MALIKUSSALEH
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN – PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
 Jl. Batam, Blang Pulo, Muara Satu- Lhokseumawe – Aceh (24352)
 Tel. (0645)41373-40915, Faks. (0645)44450
 website: <https://tm.unimal.ac.id>, e-mail: teknikmesin@unimal.ac.id

Kartu Kegiatan Konsultasi Tugas Akhir				Form JTM.03/TGA
No	Hari/ Tanggal	Materi Bimbingan	Koreksi dan Arahan	Tanda Tangan Pembimbing
14.	18 / 12 2023.	BAB IV BAB V.	Penambahan kuantitas sudut dan frontal Area. bodi.	
15.	19 / 12 2023.		ACC Seminar Hasil.	
	22 / 12 2023.	BAB IX BAB V	ACC Seminar Hasil.	

Catatan:
 1. Lembar ini diprint pada kertas warna biru muda.
 2. Diisi setiap kali pertemuan dan Jumlah pertemuan bimbingan disesuaikan dengan kebutuhan

Lampiran 4 Tabel Properties of air at 1 atm pressure

TABLE A-15

Properties of air at 1 atm pressure

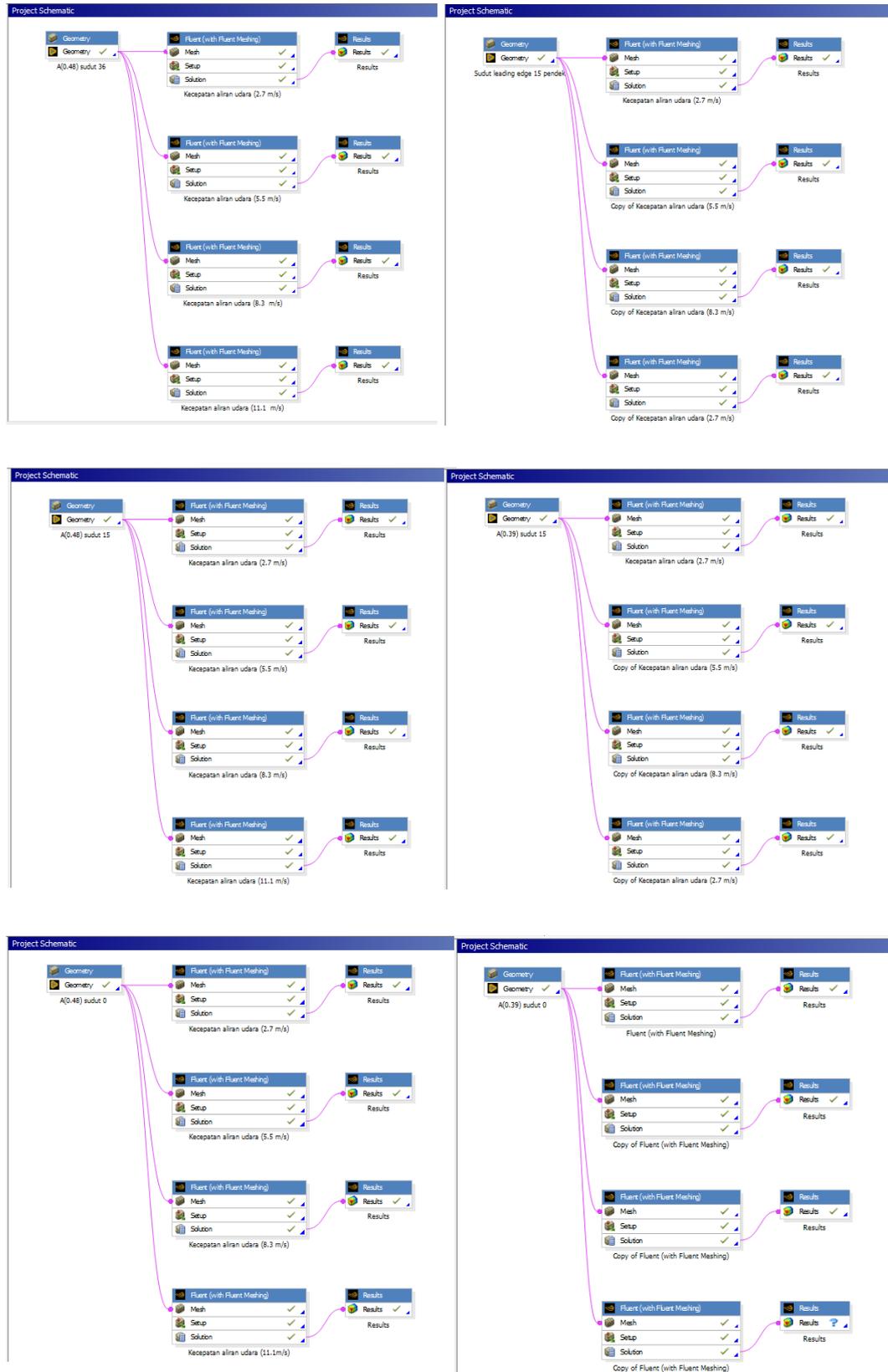
Temp. $T, ^\circ\text{C}$	Density $\rho, \text{kg/m}^3$	Specific Heat $c_p, \text{J/kg}\cdot\text{K}$	Thermal Conductivity $k, \text{W/m}\cdot\text{K}$	Thermal Diffusivity $\alpha, \text{m}^2/\text{s}$	Dynamic Viscosity $\mu, \text{kg/m}\cdot\text{s}$	Kinematic Viscosity $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Prandtl Number Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1000	0.2772	1184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1500	0.1990	1234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2000	0.1553	1264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Note: For ideal gases, the properties c_p , k , μ , and Pr are independent of pressure. The properties ρ , ν , and α at a pressure P (in atm) other than 1 atm are determined by multiplying the values of ρ at the given temperature by P and by dividing ν and α by P .

Lampiran 5 Dimensionless Groups in Fluid Mechanics

Parameter	Definition	Qualitative ratio of effects	Importance
Reynolds number	$Re = \frac{\rho UL}{\mu}$	$\frac{\text{Inertia}}{\text{Viscosity}}$	Almost always
Mach number	$Ma = \frac{U}{a}$	$\frac{\text{Flow speed}}{\text{Sound speed}}$	Compressible flow
Froude number	$Fr = \frac{U^2}{gL}$	$\frac{\text{Inertia}}{\text{Gravity}}$	Free-surface flow
Weber number	$We = \frac{\rho U^2 L}{\gamma}$	$\frac{\text{Inertia}}{\text{Surface tension}}$	Free-surface flow
Rossby number	$Ro = \frac{U}{\Omega_{\text{earth}} L}$	$\frac{\text{Flow velocity}}{\text{Coriolis effect}}$	Geophysical flows
Cavitation number (Euler number)	$Ca = \frac{p - p_v}{\rho U^2}$	$\frac{\text{Pressure}}{\text{Inertia}}$	Cavitation
Prandtl number	$Pr = \frac{\mu c_p}{k}$	$\frac{\text{Dissipation}}{\text{Conduction}}$	Heat convection
Eckert number	$Ec = \frac{U^2}{c_p T_0}$	$\frac{\text{Kinetic energy}}{\text{Enthalpy}}$	Dissipation
Specific-heat ratio	$k = \frac{c_p}{c_v}$	$\frac{\text{Enthalpy}}{\text{Internal energy}}$	Compressible flow
Strouhal number	$St = \frac{\omega L}{U}$	$\frac{\text{Oscillation}}{\text{Mean speed}}$	Oscillating flow
Roughness ratio	$\frac{\epsilon}{L}$	$\frac{\text{Wall roughness}}{\text{Body length}}$	Turbulent, rough walls
Grashof number	$Gr = \frac{\beta \Delta T g L^3 \rho^2}{\mu^2}$	$\frac{\text{Buoyancy}}{\text{Viscosity}}$	Natural convection
Rayleigh number	$Ra = \frac{\beta \Delta T g L^3 \rho^2 c_p}{\mu k}$	$\frac{\text{Buoyancy}}{\text{Viscosity}}$	Natural convection
Temperature ratio	$\frac{T_w}{T_0}$	$\frac{\text{Wall temperature}}{\text{Stream temperature}}$	Heat transfer
Pressure coefficient	$C_p = \frac{p - p_\infty}{\frac{1}{2} \rho U^2}$	$\frac{\text{Static pressure}}{\text{Dynamic pressure}}$	Aerodynamics, hydrodynamics
Lift coefficient	$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2} \rho U^2 A}$	$\frac{\text{Lift force}}{\text{Dynamic force}}$	Aerodynamics, hydrodynamics
Drag coefficient	$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho U^2 A}$	$\frac{\text{Drag force}}{\text{Dynamic force}}$	Aerodynamics, hydrodynamics
Friction factor	$f = \frac{h_f}{(V^2/2g)(L/d)}$	$\frac{\text{Friction head loss}}{\text{Velocity head}}$	Pipe flow
Skin friction coefficient	$c_f = \frac{\tau_{\text{wall}}}{\rho V^2/2}$	$\frac{\text{Wall shear stress}}{\text{Dynamic pressure}}$	Boundary layer flow

Lampiran 6 Skematik simulasi body pada Ansys Workbench



Lampiran 7 Bukti Mengikuti Seminar Hasil Tugas Akhir

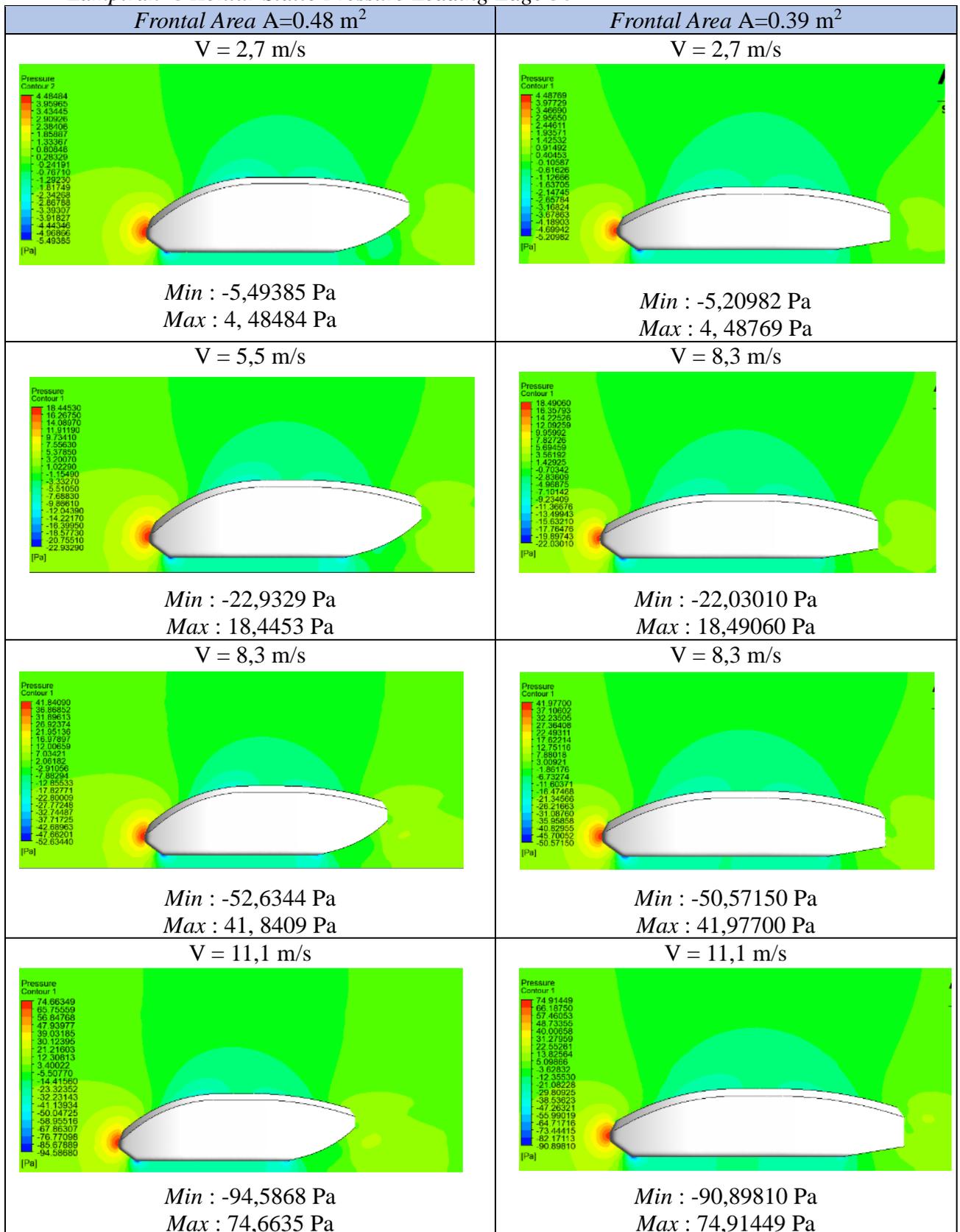
A. Identitas Mahasiswa		Form	
Nama	Rangga Adi Pangestu		
NIM	190120091	JTM.06/TGA	
Konsentrasi Bidang	Konversi Energi		

B. Kegiatan Seminar yang Diikuti				
No	Waktu Kegiatan	Judul Tugas Akhir	Mahasiswa Seminar (Tanda Tangan)	Dosen Ketua Seminar (Tanda Tangan)
	Hari: Rabu Tanggal: 28/9/22	Rancang bangun mesin Grinder Coffe	Nama: M. Nafis Abdillah NIM: 180120219 TTD:	Nama: Zulfahmi S.T.M.T TTD:
	Hari: Rabu Tanggal: 28/9/22	Fabrikasi Mesin Produksi Pakan Ikan Skala Rumahan	Nama: Zehan Huda Huda NIM: 17020130 TTD:	Nama: A. Izadi S.T.M.T TTD:
	Hari: Selasa Tanggal: 4/10/22	Analisa sifat mekanik Polymor Matriks Composite (PMC) yang diperkuat serbuk cangkang kerang tiram (Crassostrea cucullata)	Nama: M. Irfan Ruzki NIM: 00120187 TTD:	Nama: Rizki Putra S.T.M.T TTD:
	Hari: Rabu Tanggal: 2/11/22	Analisa dan Perancangan Sistem Pengeringan Poros menggunakan Pinompa Paddy Ruffin	Nama: Egi Syahaleha NIM: 160120049 TTD:	Nama: M. Hawi S.T.M.T TTD:
	Hari: Tanggal:		Nama: NIM: TTD:	Nama: TTD:
	Hari: Tanggal:		Nama: NIM: TTD:	Nama: TTD:
	Hari: Tanggal:		Nama: NIM: TTD:	Nama: TTD:

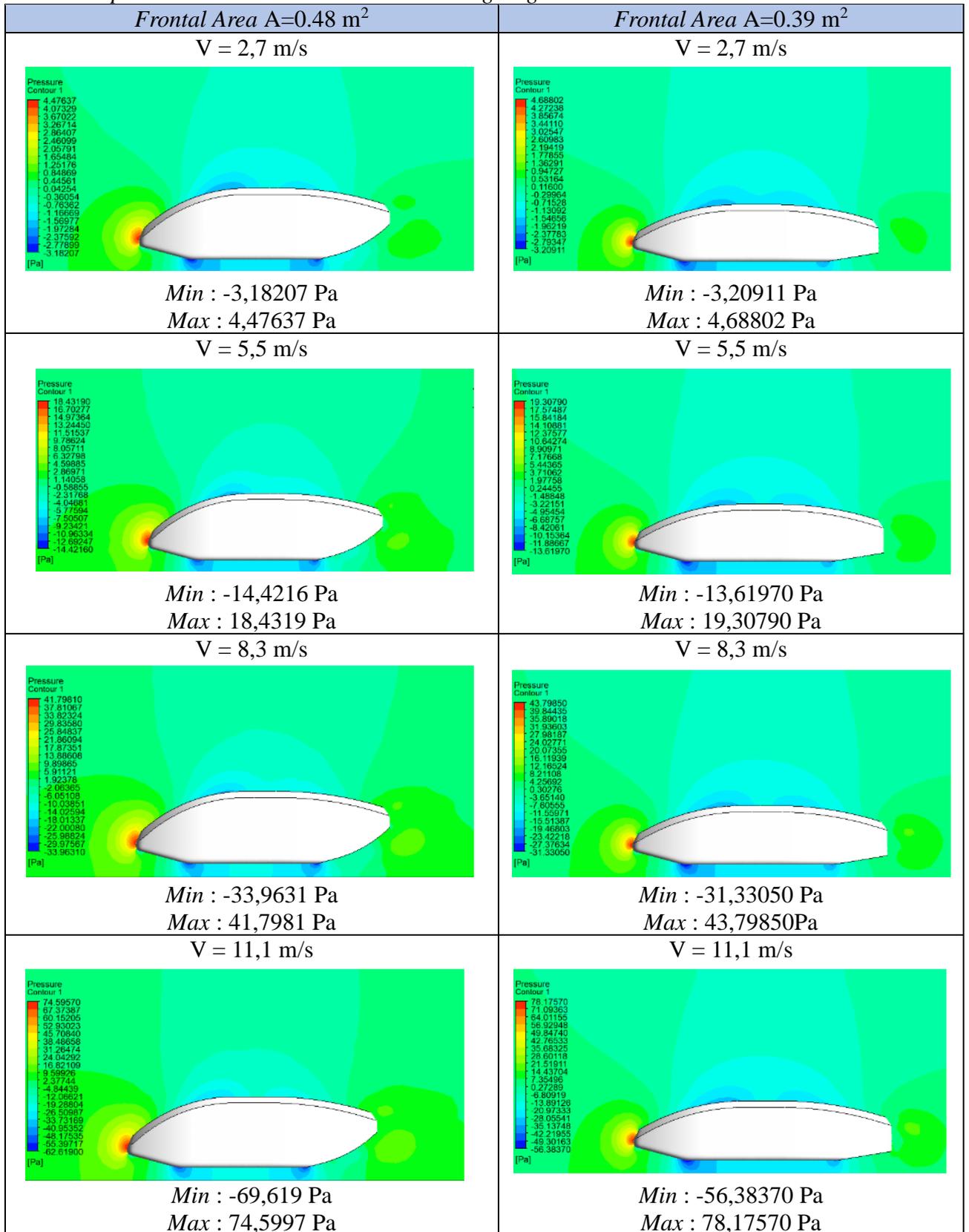
Catatan:

1. Lembaran presensi ini merupakan bukti hadir sebagai peserta seminar hasil tugas akhir.
2. Diperlukan Sebagai salah satu syarat untuk dapat mengajukan pendaftaran seminar proposal dan hasil tugas akhir.
3. Diisi dan disimpan oleh mahasiswa yang bersangkutan, dan diserahkan pada saat pendaftaran seminar proposal dan tugas akhir.
4. LESTARI Diprint pada KERTAS KUNING

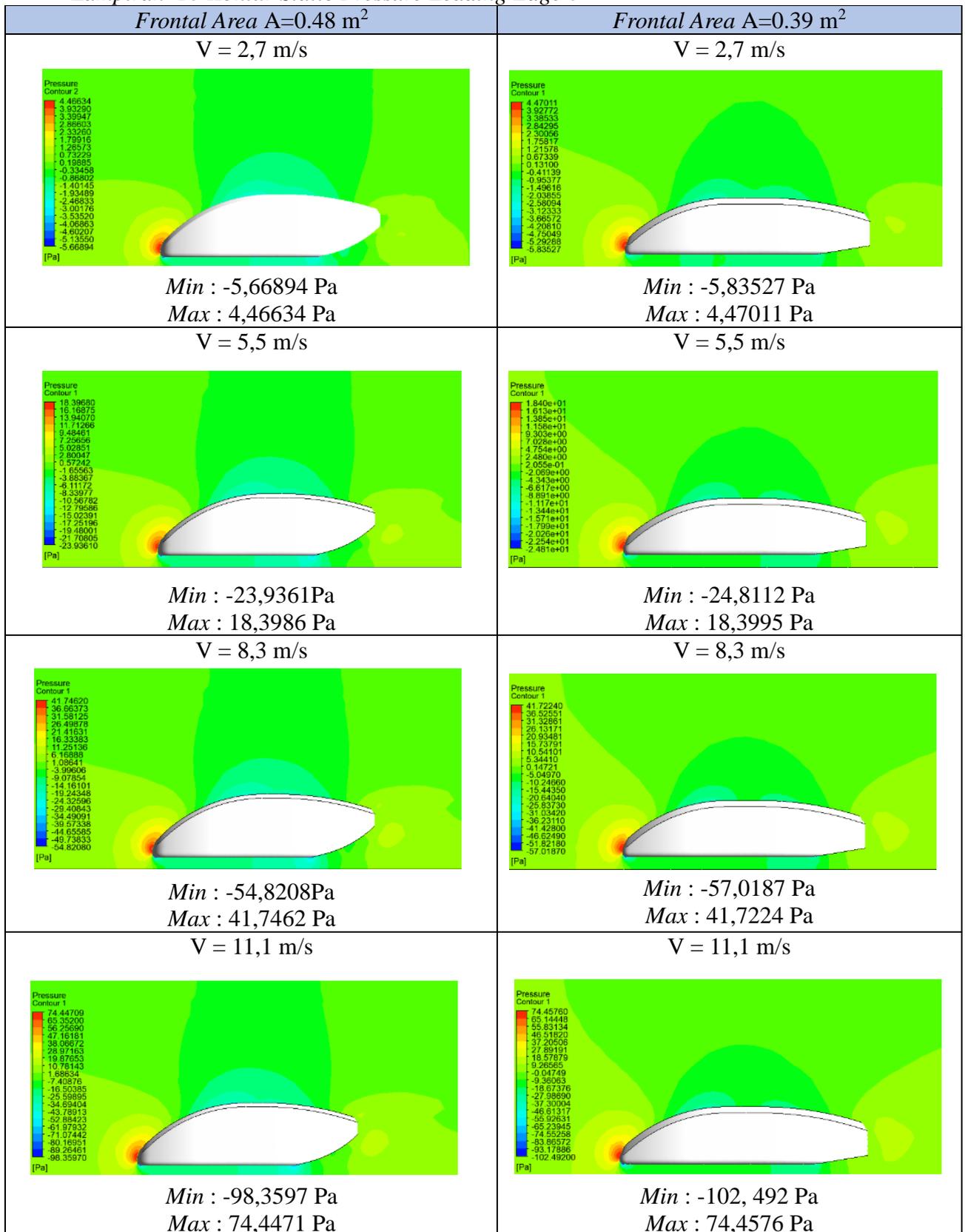
Lampiran 8 Kontur Static Pressure Leading Edge 36°



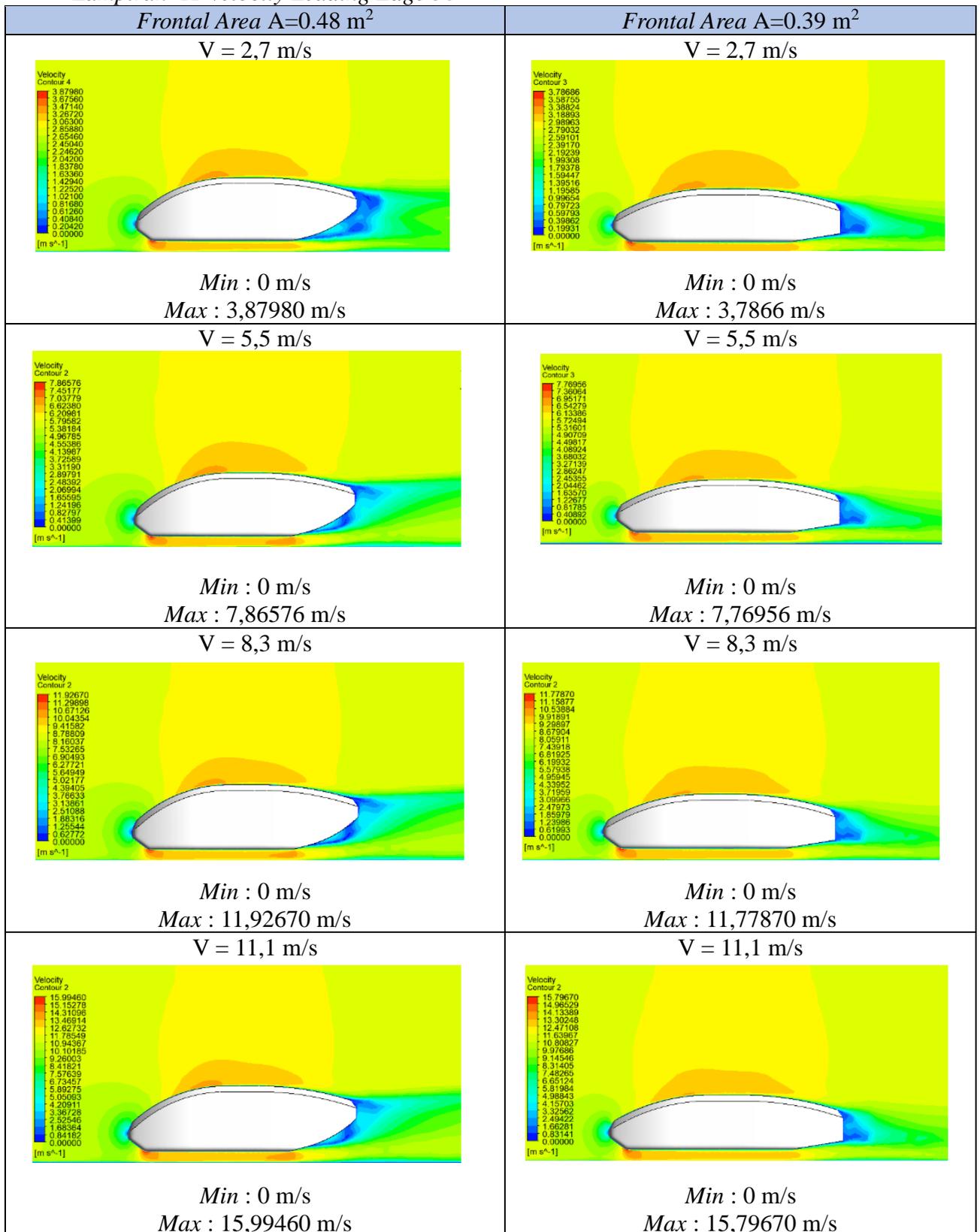
Lampiran 9 Kontur Static Pressure Leading Edge 15°



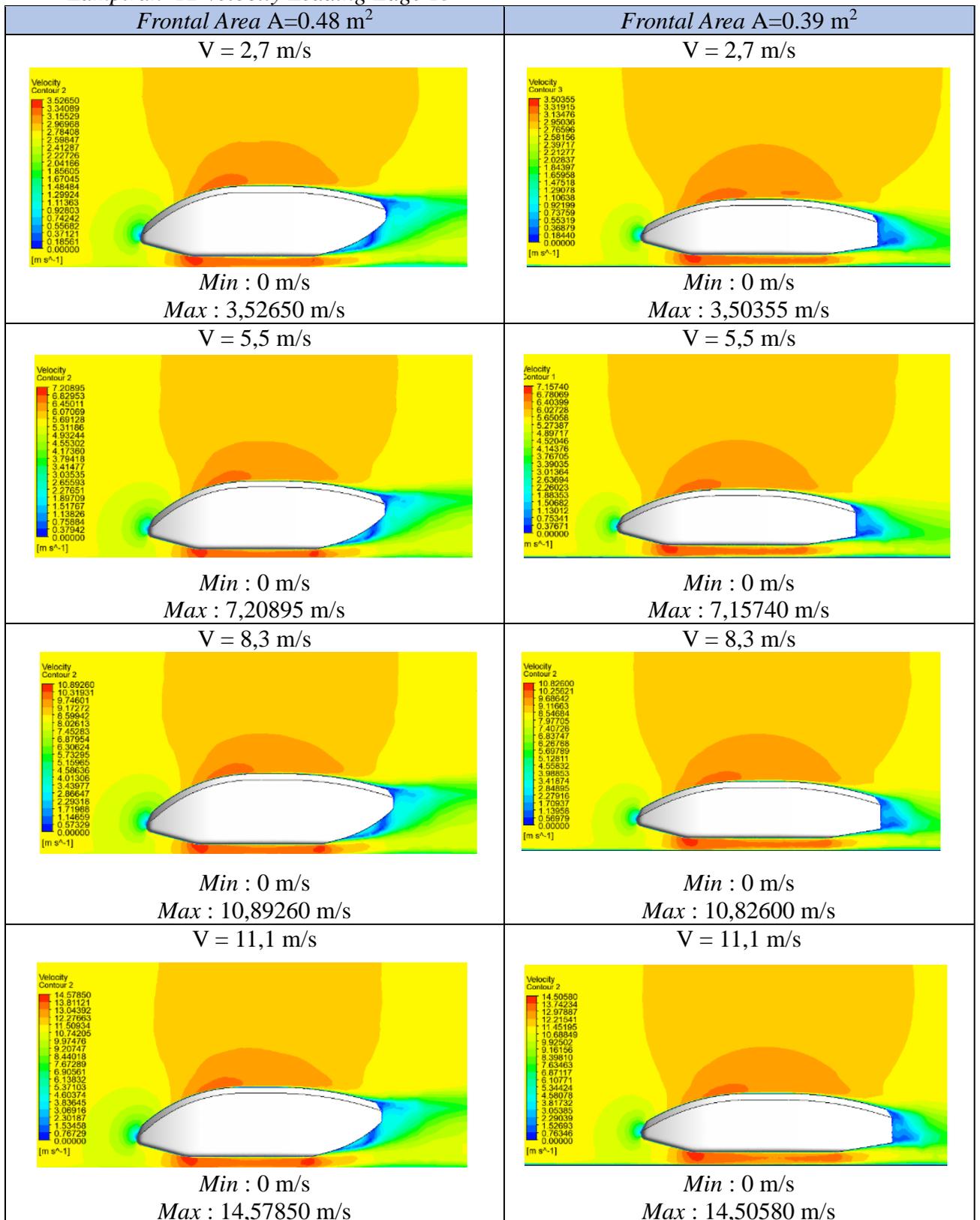
Lampiran 10 Kontur Static Pressure Leading Edge 0°



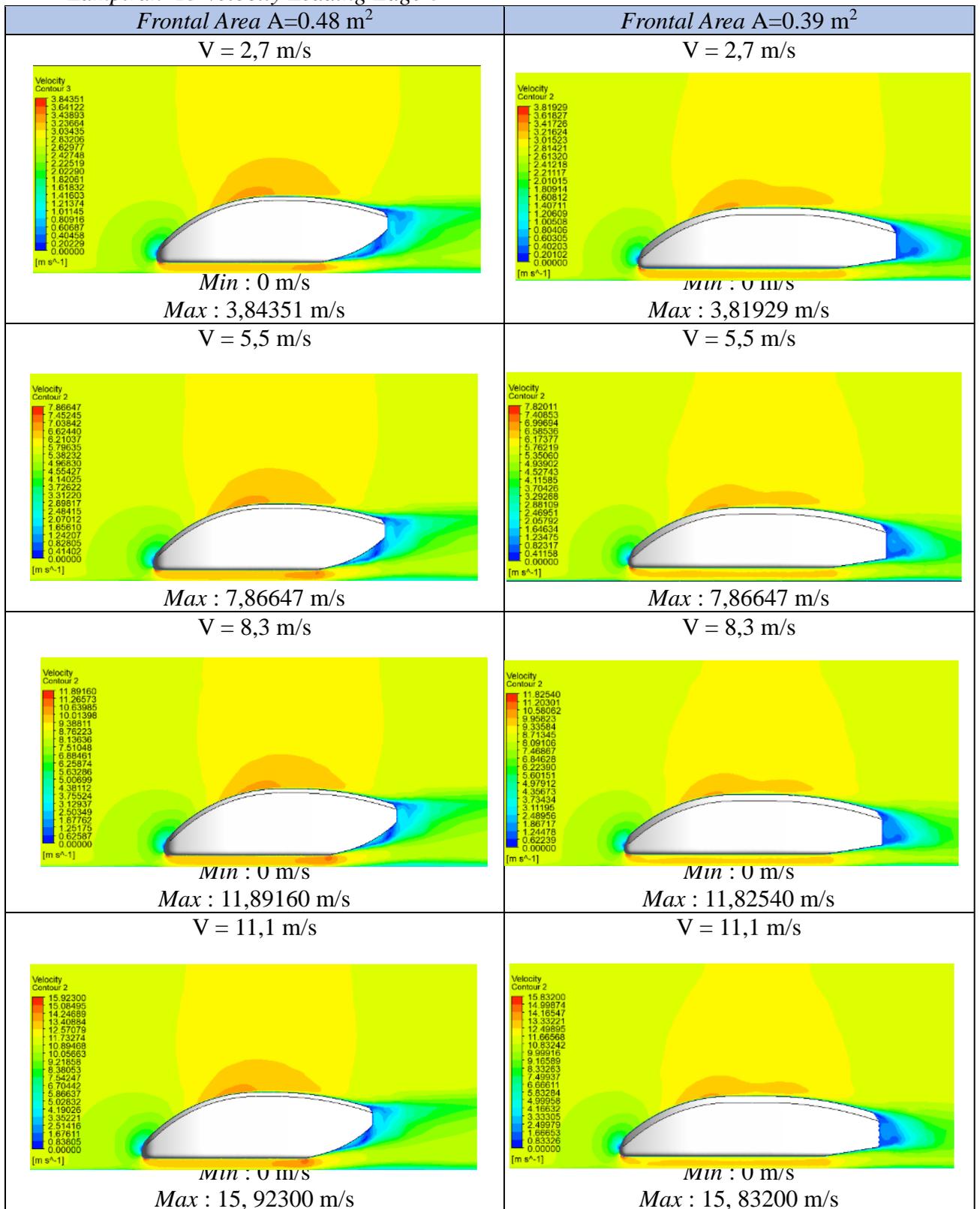
Lampiran 11 Velocity Leading Edge 36°



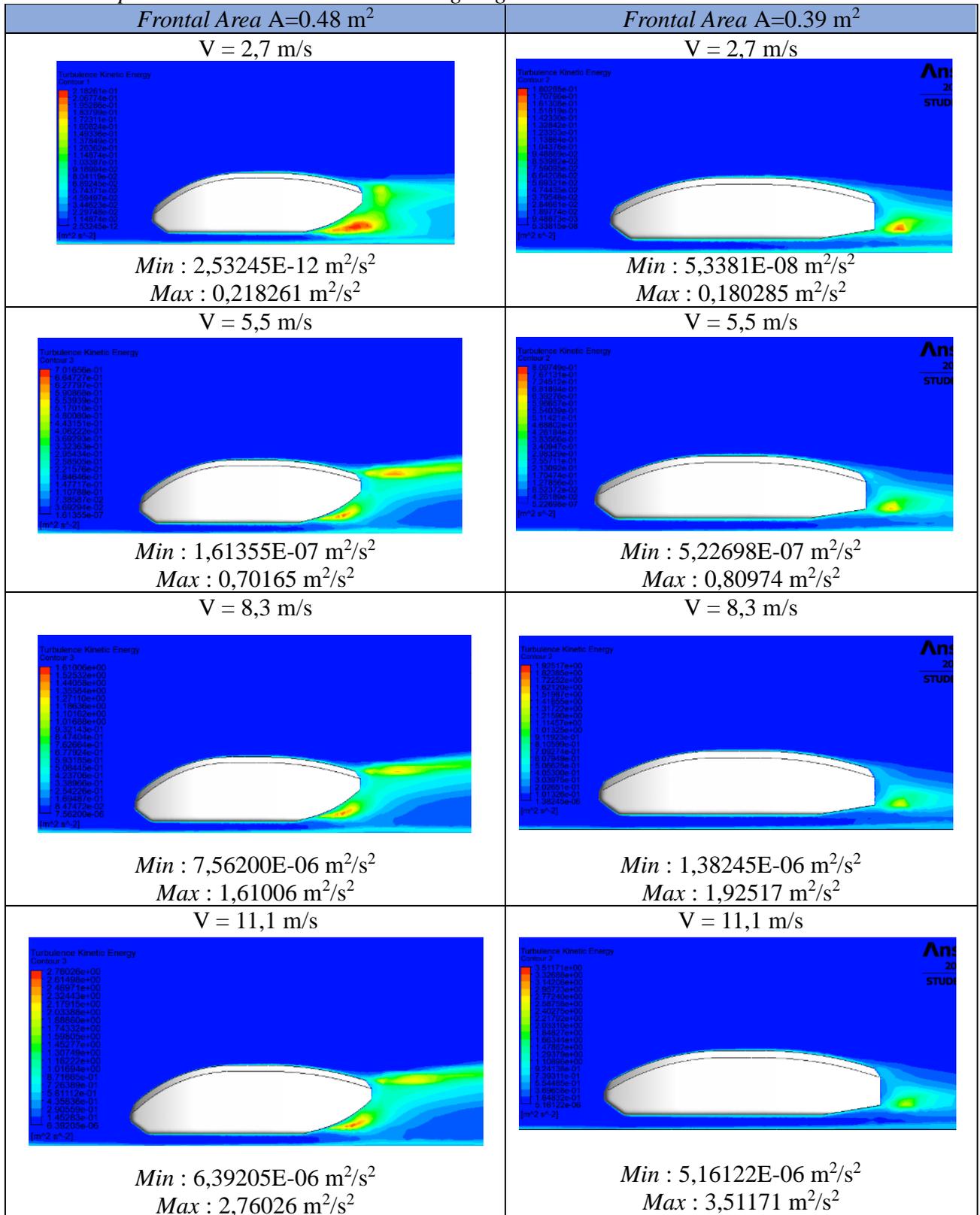
Lampiran 12 Velocity Leading Edge 15°



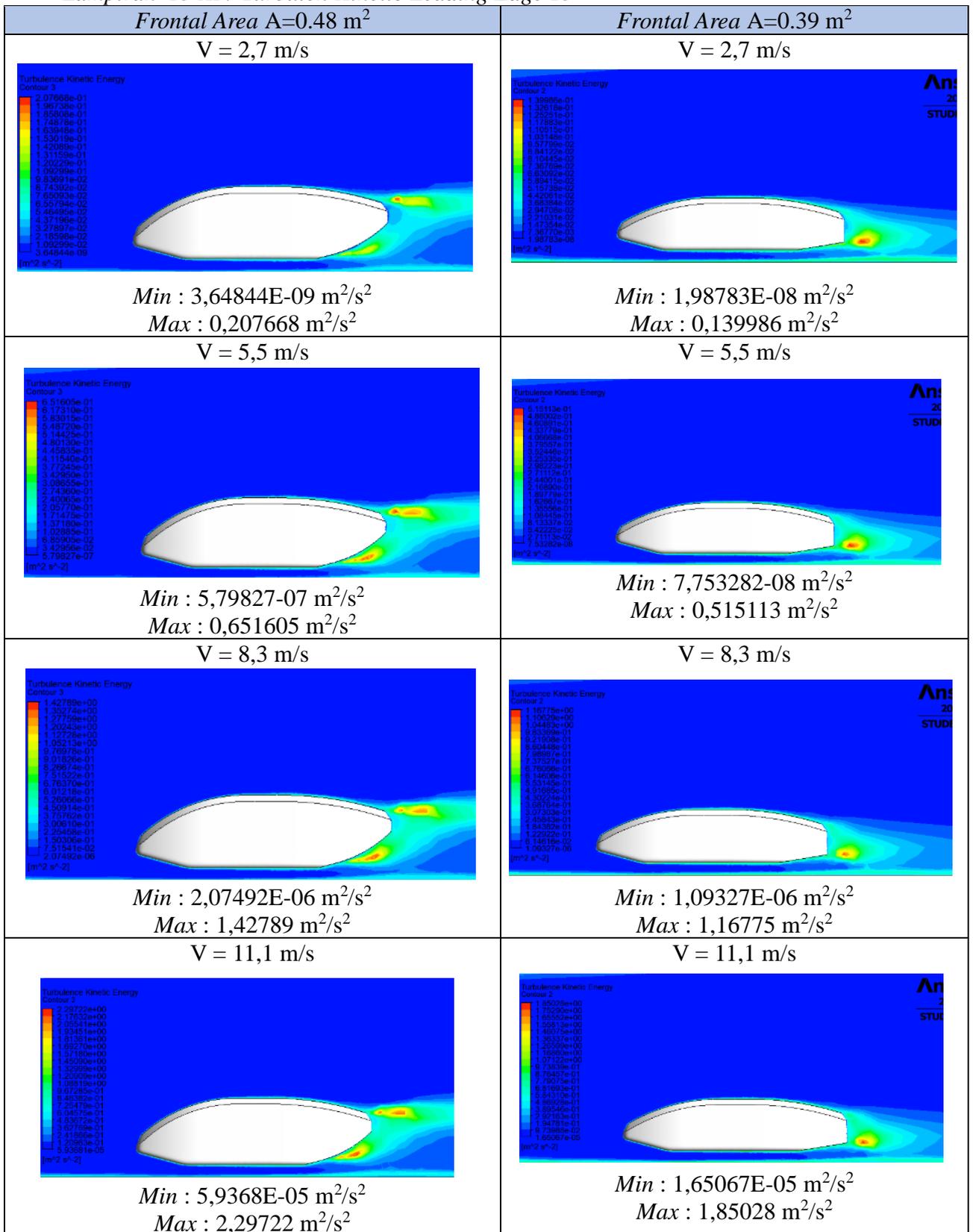
Lampiran 13 Velocity Leading Edge 0°



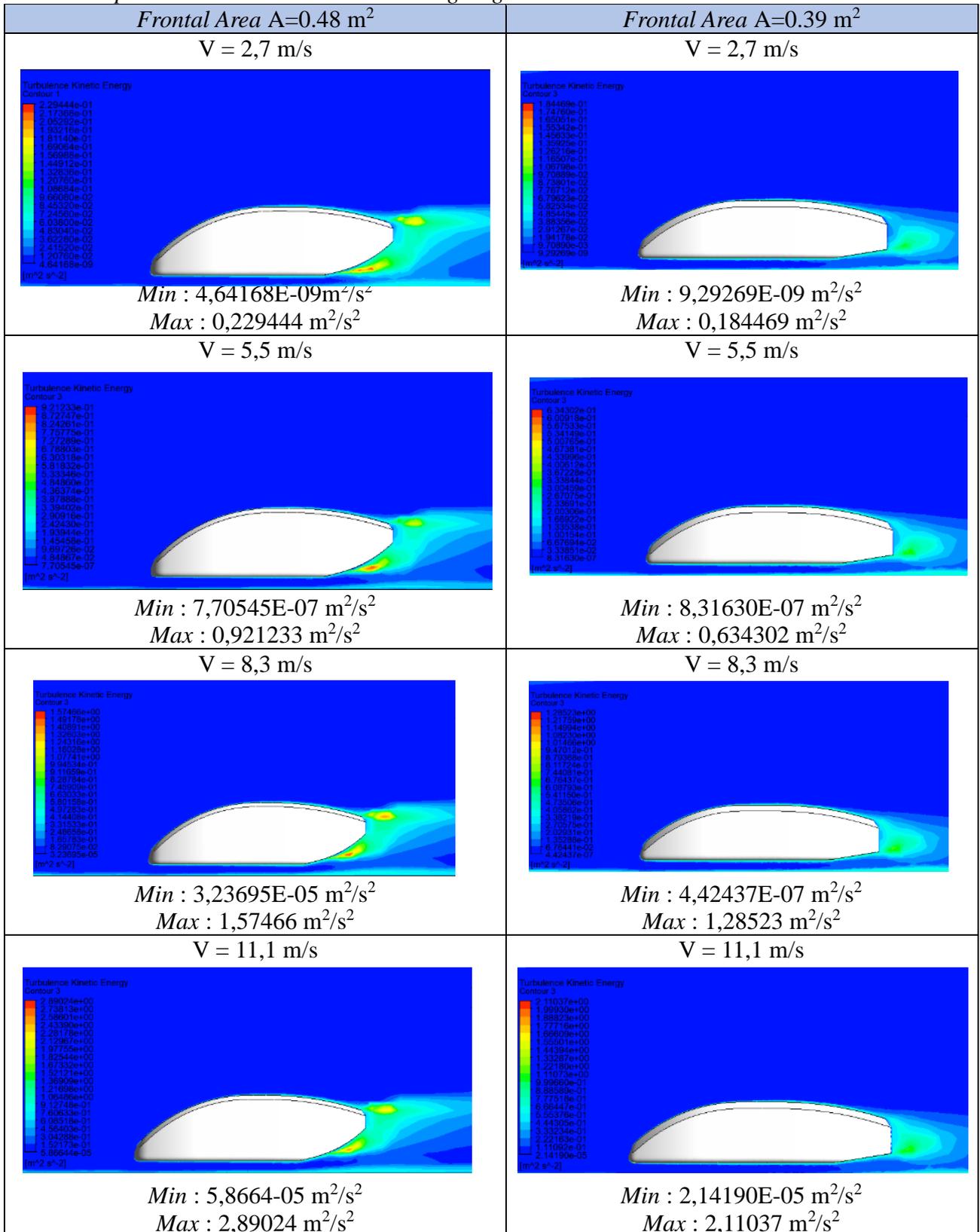
Lampiran 14 Turbulen Kinetic Leading Edge 36°



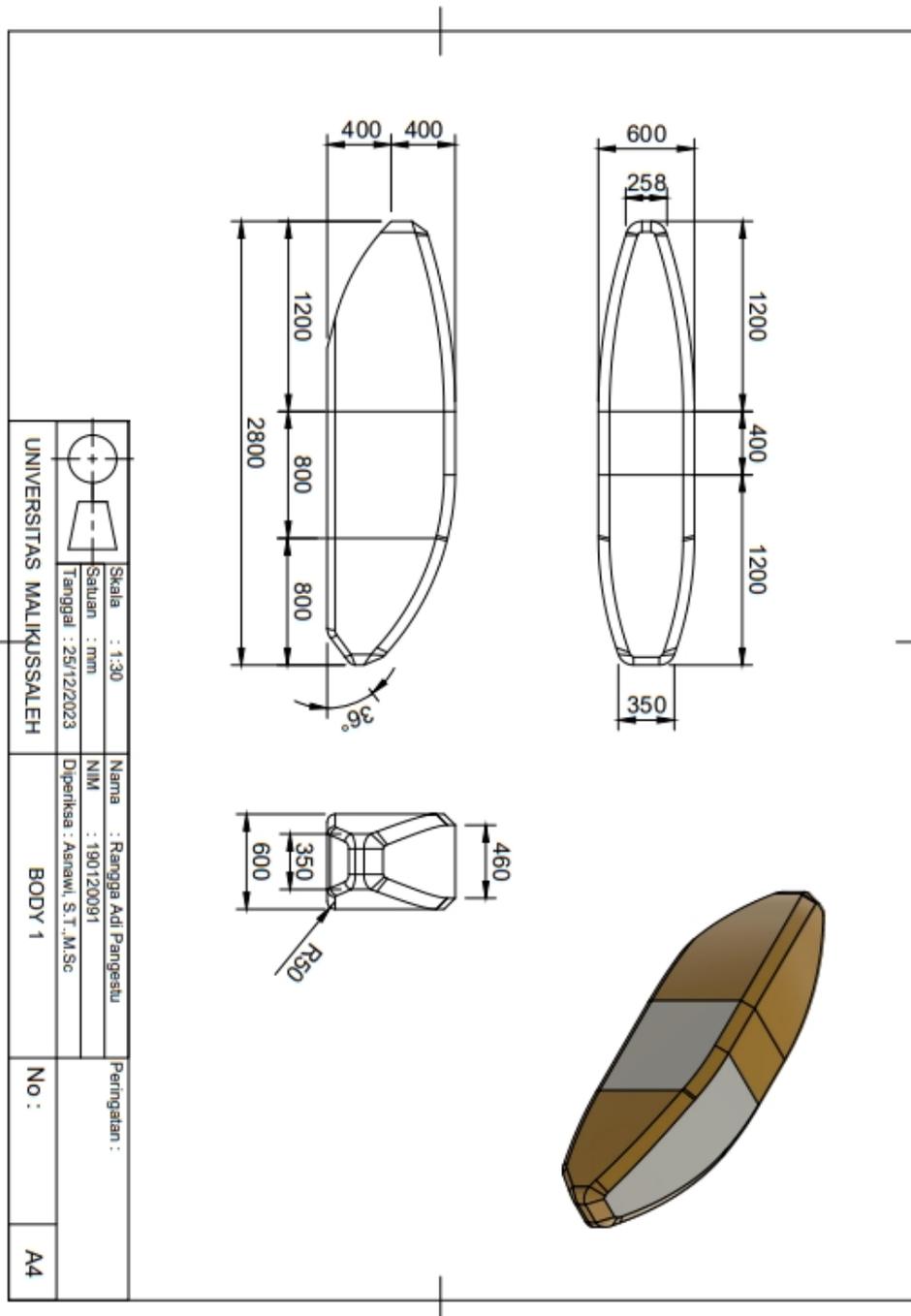
Lampiran 15 XIV Turbulen Kinetic Leading Edge 15°

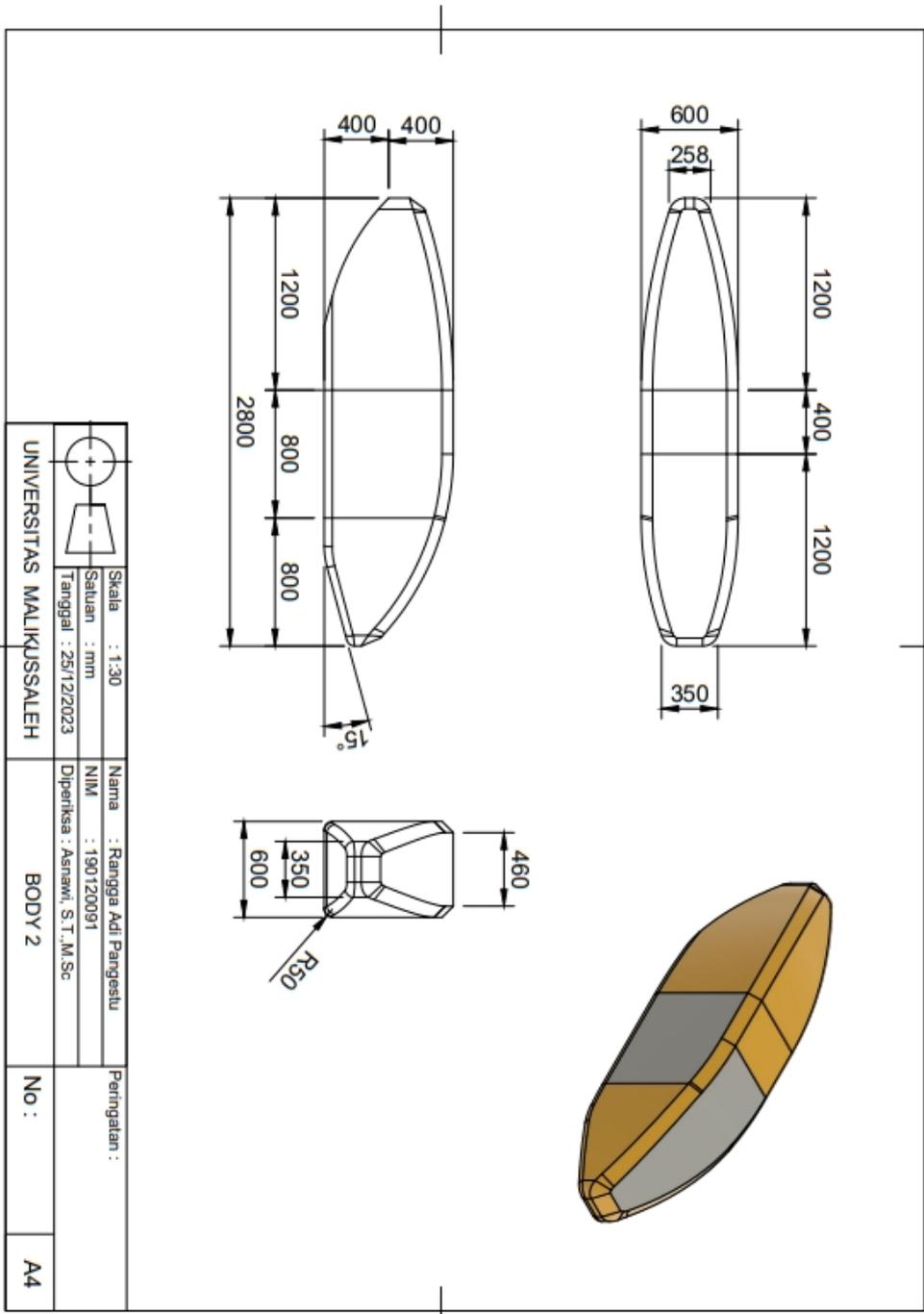


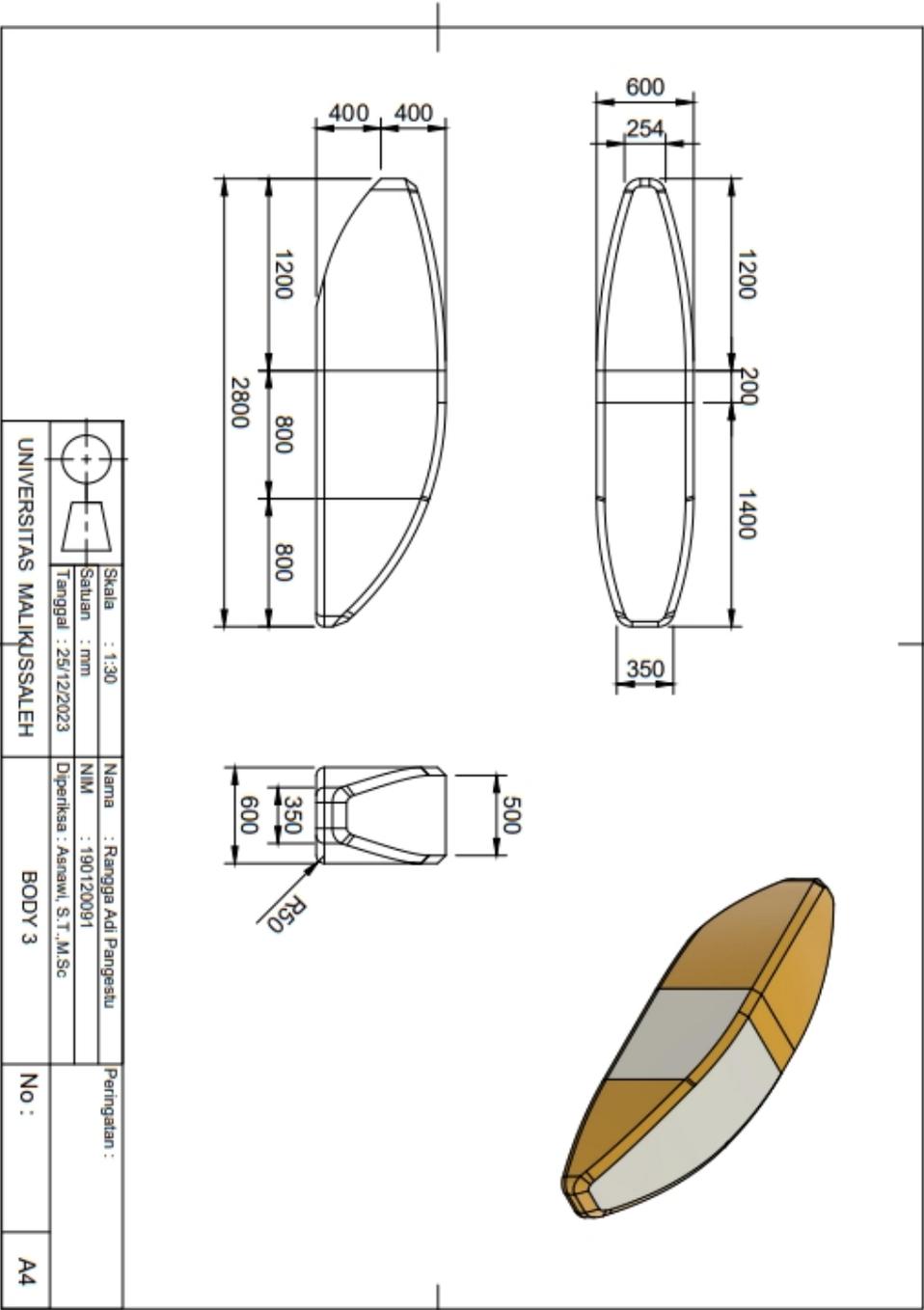
Lampiran 16 Turbulen Kinetic Leading Edge 0°

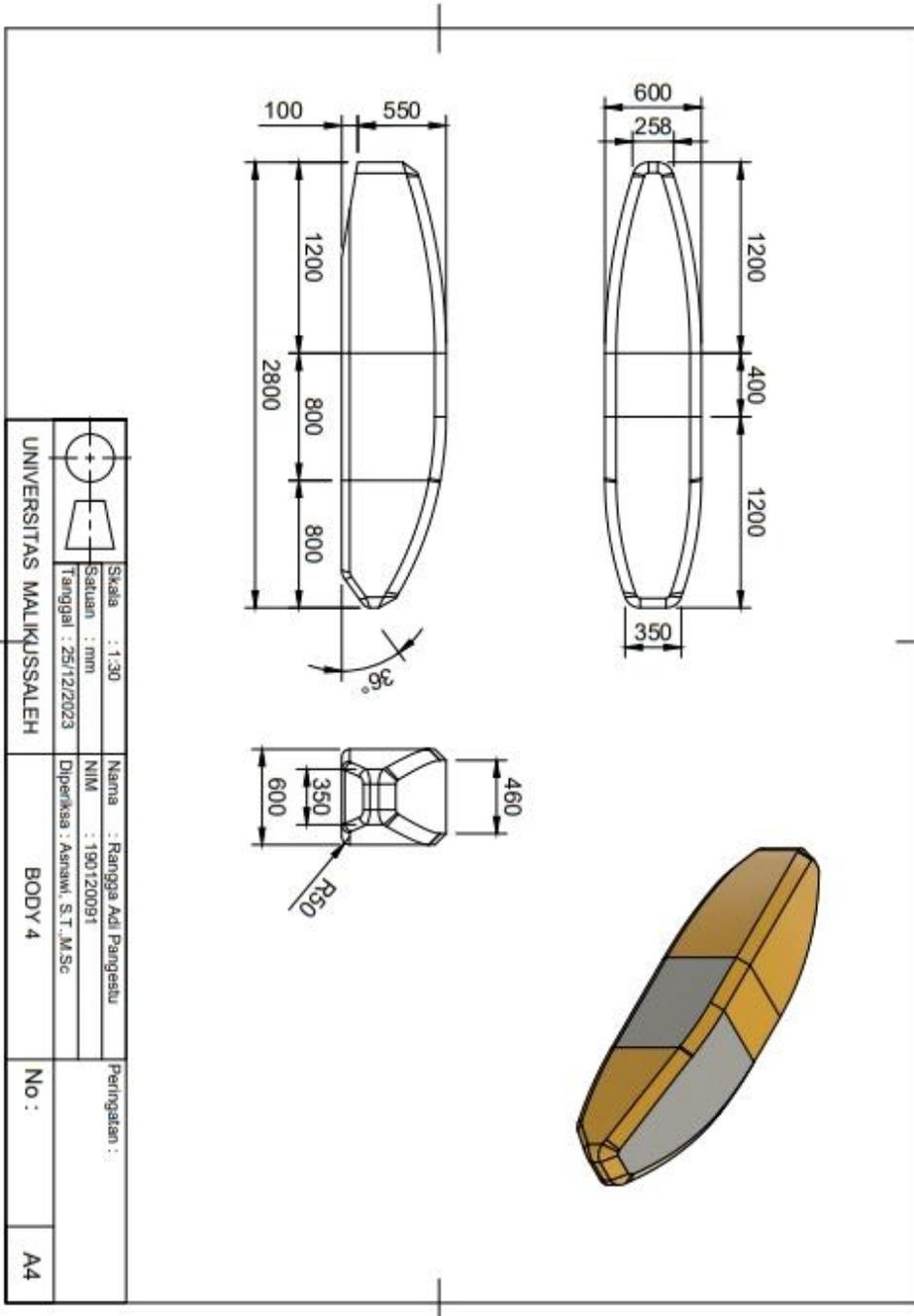


Lampiran 17 Proyeksi Gambar 2D Desain Body Variasi Frontal Area dan Leading Edge

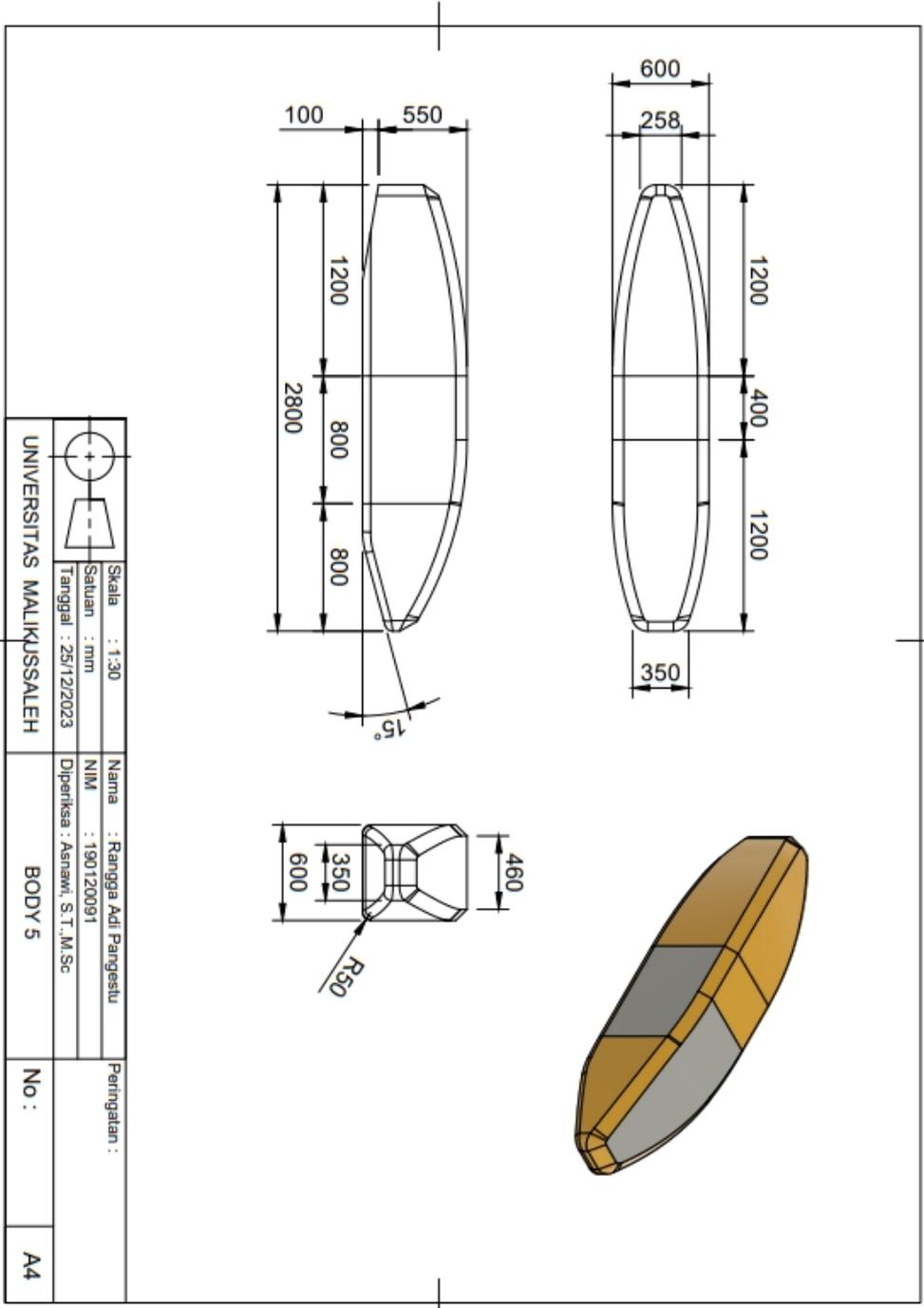




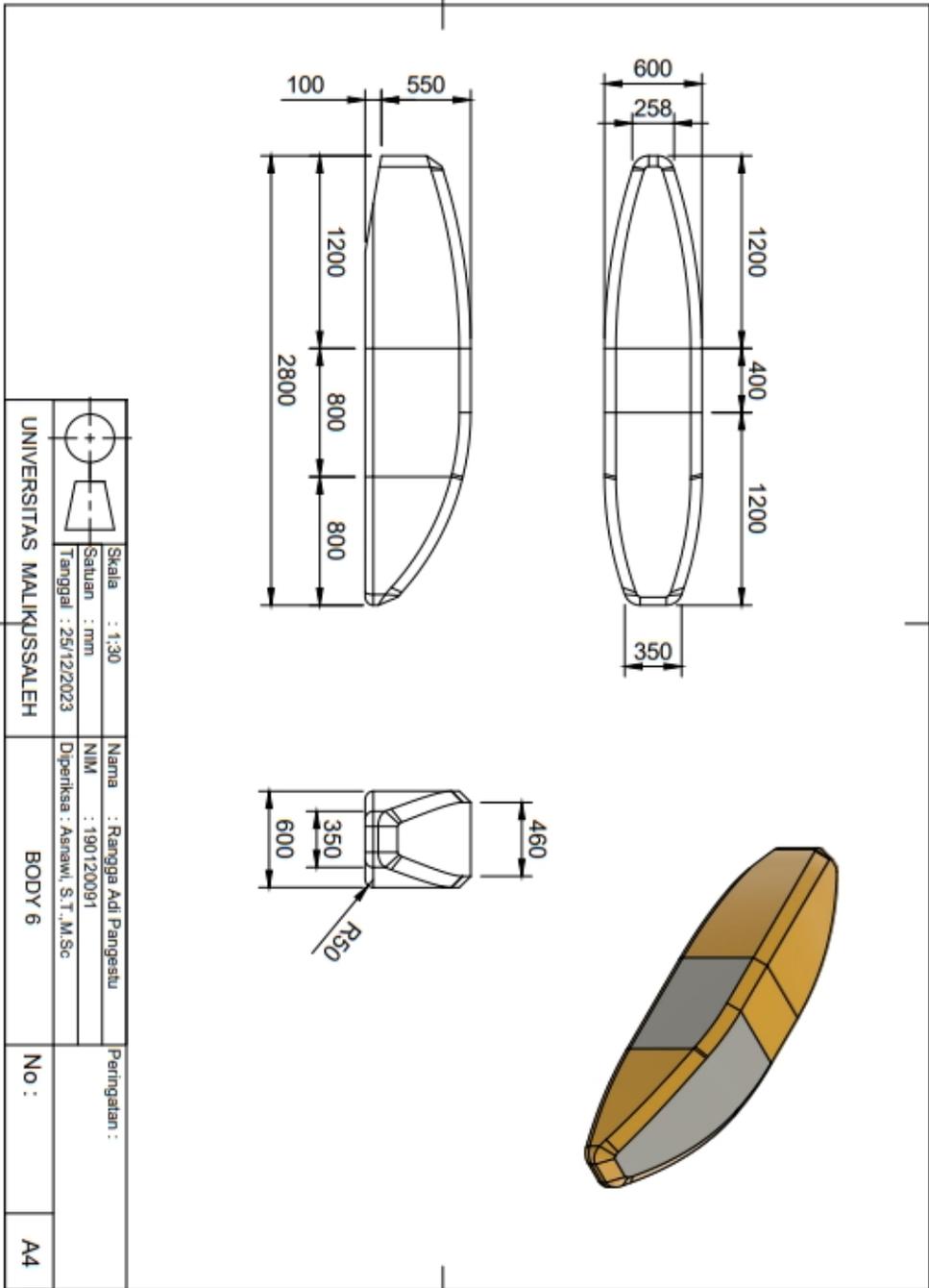




	Skala : 1:30	Nama : Rangga Adi Pangestu	Peringatan :
	Satuan : mm	NIM : 190120091	
	Tanggal : 25/12/2023	Diperiksa : Asnawi, S.T., M.Sc	
UNIVERSITAS MALIKUSSALEH		BODY 4	No :
			A4



	Skala : 1:30	Nama : Rangga Adli Pangestu	Peringatan :
	Satuan : mm	NIM : 190120091	
	Tanggal : 25/12/2023	Diperiksa : Asnawi S.T.,M.Sc	No :
	UNIVERSITAS MALIKUSSALEH		
BODY 5			



Lampiran 18 Curriculum Vitae



RANGGA ADI PANGESTU

+6282276871253 | ranggaadijpgstu@gmail.com | LinkedIn : Rangga Adi Pangestu

Saya merupakan lulusan baru dari Universitas Malikussaleh Program Studi Teknik Mesin konsentrasi Konversi Energi yang lulus dengan predikat sangat memuaskan. Selama menempuh perkuliahan saya aktif dalam organisasi akademik, non akademik dan sosial. Memiliki pengalaman internship pada perusahaan yang bergerak dibidang konversi energi. Mempunyai interpersonal yang baik, adaptif, bertanggung jawab, problem solving dan juga disiplin. Saya memiliki ketertarikan pada konversi energi, mechanical design, simulasi CFD dengan latar belakang yang kuat dalam teoritikal dan praktik.

PENDIDIKAN

Universitas Malikussaleh – Lhokseumawe, Aceh 09/2019 – 01/2024

Program Studi Teknik Mesin

IPK : 3.45 / 4.00

1. Konsentrasi : Konversi Energi
2. Tugas Akhir : "Analisis Aerodinamika Body Mobil Listrik Dengan Metode Computational Fluid Dynamic (CFD) Pada Variasi Frontal Area Dan Kecepatan Aliran Udara Menggunakan Software Ansys Fluent"

SMA Negeri 1 Peunaron – Peunaron, Aceh Timur

2016 – 2019

Program Studi Ilmu Pengetahuan Alam

PENGALAMAN PROFESIONAL

Universitas Malikussaleh – Lhokseumawe, Aceh

03/2023 – 11/2023

Devisi Aerodinamika Tim Mobil Listrik Hemat Energi

Riset dan Development Mobil Listrik Hemat Energi Universitas Malikussaleh

1. Menghitung aerodinamis body menggunakan software ansys fluent
2. Fabrikasi chassis mobil listrik hemat energi kategori prototype
3. Fabrikasi body menggunakan material fiberglass komposit

Universitas Malikussaleh – Lhokseumawe, Aceh

12/2023 – 01/2024

Asisten Laboratorium Konverai Energi

Laboratorium Teknik Mesin Universitas Malikussaleh

1. Mengoperasikan diesel engine
2. Mengoperasikan turbin jet engine
3. Membuat laporan pengujian

PT CDFEM Simulation Technology Indonesia – Jakarta

08/2022 – 12/2022

Mechanical Simulation

Program Magang Studi Independen Bersertifikat Kampus Merdeka Batch 3

1. What are fluids
2. Fluid Statics
3. Fluid Kinematics
4. Governing Equations of Fluids
5. Dimensional Analysis and Similarity
6. Simple Approximation of Fluids Flow
7. Viscous Laminar Flow

PT Asrindo Citraseni Satria – Duri, Riau

07/2022 – 08/2022

Asisten Mekanik

Praktek Kerja Industri Pengeboran Minyak

1. Perawatan berkala RIG engine Caterpillar
2. Analisis kerusakan RIG engine Caterpillar
3. Overhaul RIG engine

PENGALAMAN ORGANISASI

HIMPUNAN MAHASISWA TEKNIK MESIN FT-UNIMAL

04/2022 – 03/2023

Bidang Administrasi dan Kesekretariatan

1. Melakukan pengawasan administrasi kegiatan HIMPUNAN
2. Mengkoordinir administrasi kegiatan HIMPUNAN
3. Melakukan pengarsipan administrasi HIMPUNAN

- Melakukan pengarsipan aset HIMPUNAN

HIMPUNAN MAHASISWA TEKNIK MESIN FT-UNIMAL

02/2021 – 02/2022

Sekretaris Bidang Kewirausahaan

1. Membuat agenda rapat bidang kewirausahaan
2. Mengelola anggaran bidang kewirausahaan
3. Merancang penjualan merchandise HIMPUNAN

Ikatan Pemuda Mahasiswa Peunaron

03/2020 – 01/2021

Anggota

1. Media komunikasi antar mahasiswa
2. Membagikan informasi akademik kepada pemuda peunaron

KEAHLIAN

SOFTWARE

1. Ansys Fluent : **Computational Fluid Dynamic (CFD)**
2. Fusion 360 : 2D Drawing, 3D Modeling, Rendering (CAD)
3. Matlab : Coding Perhitungan
4. Microsoft Office : Word, Excel, Power Point

HARDSKILL

1. Design Mechanical
2. CFD Analysis Simulation
3. Kerja Bangku
4. Pengelasan SMAW
5. Oprasional mesin motor bakar

SOFTSKILL

1. Memiliki Jiwa Kepemimpinan
2. Bertanggung Jawab
3. Adaptif
4. Mampu Bekerja Dengan Tim
5. Komunikasi yang Baik
6. Problem Solving
7. Disiplin

REFERENSI

Universitas Malikussaleh

Wakil Dekan Bidang Kemahasiswaan Fakultas Teknik | Pembimbing Pendamping Tugas Akhir
Bapak Ahmad Nayan, S.T., M.T | nayan@unimal.ac.id

Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh | Pembimbing Utama Tugas Akhir
Bapak Asnawi, S.T., M.Sc | adis@unimal.ac.id

PT CDFEM Simulation Technology Indonesia

Mentor program magang

Bapak Gilang Pradhypa | gilang.p@cadfem.ac.id

Lampiran 19 Perhitungan analisis distribusi aliran

1) Menghitung bilangan reynold pada setiap kecepatan aliran udara

1. Reynolds Number *velocity* 2,7 m/s

$$R_e = \frac{\rho v L}{\mu}$$

$$R_e = \frac{(1,164 \text{ kg/m}^3)(2,7 \text{ m/s})(2,8 \text{ m})}{0,00001872}$$

$$R_e = 470.770$$

2. Reynolds Number *velocity* 5,5 m/s

$$R_e = \frac{\rho v L}{\mu}$$

$$R_e = \frac{(1,164 \text{ kg/m}^3)(5,5 \text{ m/s})(2,8 \text{ m})}{0,00001872}$$

$$R_e = 957.564$$

3. Reynolds Number *velocity* 8,3 m/s

$$R_e = \frac{\rho v L}{\mu}$$

$$R_e = \frac{(1,164 \text{ kg/m}^3)(8,3 \text{ m/s})(2,8 \text{ m})}{0,00001872}$$

$$R_e = 1.445.051$$

4. Reynolds Number *velocity* 11,1 m/s

$$R_e = \frac{\rho v L}{\mu}$$

$$R_e = \frac{(1,164 \text{ kg/m}^3)(11,1 \text{ m/s})(2,8 \text{ m})}{0,00001872}$$

$$R_e = 1.932.538$$

2) Jenis Klasifikasi Aliran berdasarkan bilangan Mach

$$Ma = \frac{V}{c}$$

Sebelum mencari nilai bilangan mach, maka perlu mencari nilai kecepatan suara terlebih dahulu.

$$c = \sqrt{KRT}$$

Dimana $K = 1,4$ $R = 287 \text{ KJ/Kg.K}$ $T = 303,15 \text{ K}$

$$c = \sqrt{(1,4)(287 \text{ KJ/Kg.K})(303,15 \text{ K})}$$

$$c = 348,9 \text{ m/s}$$

1. Bilangan mach pada kecepatan aliran udara 2,7 m/s

$$\text{Maka } Ma = \frac{2,7 \text{ m/s}}{348,9 \text{ m/s}}$$

$$Ma = 0,007$$

2. Bilangan mach pada kecepatan aliran udara 5,5 m/s

$$Ma = \frac{5,5 \text{ m/s}}{348,9 \text{ m/s}}$$

$$Ma = 0,0158$$

3. Bilangan mach pada kecepatan aliran udara 8,3 m/s

$$Ma = \frac{5,5 \text{ m/s}}{348,9 \text{ m/s}}$$

$$Ma = 0,0238$$

4. Bilangan mach pada kecepatan aliran udara 11,1 m/s

$$Ma = \frac{5,5 \text{ m/s}}{348,9 \text{ m/s}}$$

$$Ma = 0,0318$$